Informationskreis KernEnergie

Informationskreis KernEnergie

Der Reaktorunfall in Tschernobyl

Der Reaktorunfall in Tschernobyl

Informationskreis
KernEnergie

Der Reaktorunfall in Tschernobyl

- Unfallursachen
- Unfallfolgen und ihre Bewältigung
- Sicherung und Entsorgung des Kernkraftwerks Tschernobyl

Herausgeber: Informationskreis KernEnergie
Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Verantwortlich: Dipl.-Geogr. Volker Wasgindt

Text und Redaktion: Dipl.-Kfm. Martin Czakainski
Dr. Thomas Kinzelmann
Dr. Gunter Pretzsch
Dipl.-Geogr. Volker Wasgindt

Satz, Layout: Thomas Espey, Bonn

Druck: UbiaDruckKöln

ISBN: 3-926956-48-8

Der Reaktorunfall in Tschernobyl

		Seite
I.	Der Unfall	5
	1. Der Tschernobyl-Reaktor	5
	2. Unfallablauf, Ursachen und Hintergründe	7
	3. Zustand des Sarkophags und des Kraftwerksstandorts	12
II.	Strahlenexposition und gesundheitliche Auswirkungen	15
	1. Aktivitätsfreisetzung und weiträumige Kontamination	15
	2. Strahlenrisiko und Strahlenbelastung einzelner Gruppen	17
	3. Gesundheitliche Folgen	20
	4. Auswirkungen auf Deutschland	27
III.	Tschernobyl und die Folgen für den Energieträger Kernenergie	29
	1. Internationale Reaktionen	29
	2. Auswirkungen auf die öffentliche Meinung, die Energiepolitik und die Kernenergie in Deutschland	35
	3. Erkenntnisse und Lehren aus dem Unfall	40
IV.	Perspektiven für die Sicherung und Entsorgung des stillgelegten Kernkraftwerks in Tschernobyl	45
	1. Die Rolle der Kernenergie in Osteuropa	45
	2. Ökonomische und energiewirtschaftliche Ausgangslage der Ukraine	46
	3. Internationale Hilfsmaßnahmen für die Sicherung und die Entsorgung	55
V.	Kernenergie im globalen Energiemix	60
	Glossar	61
	Literatur	63

I. Der Unfall

Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl ist der folgenreichste Vorfall in der über 50jährigen Geschichte der Kernenergienutzung. Die beträchtliche Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten führte zu einer starken Belastung der Rettungsmannschaften und der Bevölkerung in der Nähe des Standorts. In vielen Ländern der Welt waren die Menschen in den Tagen nach dem Unfall besorgt über die ungewissen Folgen dieses Ereignisses, was durch die zögerliche Informationspolitik der sowjetischen Behörden noch verstärkt wurde. Ursachen, Hintergründe und Folgen des Unfalls sind seitdem von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen untersucht und bewertet worden. Mittlerweile ergibt sich ein weitgehend geschlossenes Bild.

1. Der Tschernobyl-Reaktor

Zusammenfassung

Bei den RBMK-Reaktoren handelt es sich um eine sowjetische Reaktorlinie, die ursprünglich entwickelt wurde, um nicht nur Strom, sondern auch Plutonium für militärische Zwecke zu gewinnen. Im Vergleich zu westlichen Kernkraftwerken weist die Konzeption dieser Reaktoren einige schwerwiegende Nachteile auf, die auch für den Unfall in Tschernobyl wesentlich mitverantwortlich waren. Die RBMK-Reaktoren haben keine druck- und gasdichte Hülle (Containment), die das Reaktorgebäude umschließt und weisen erhebliche Defizite bei den Sicherheitseinrichtungen und Notkühlsystemen auf. Obwohl die technischen Mängel der RBMK-Reaktoren einzelnen sowjetischen Fachleuten bekannt waren, wurden sie weder beseitigt noch in Form entsprechender Betriebsbeschränkungen den Betriebsmannschaften bewusst gemacht.

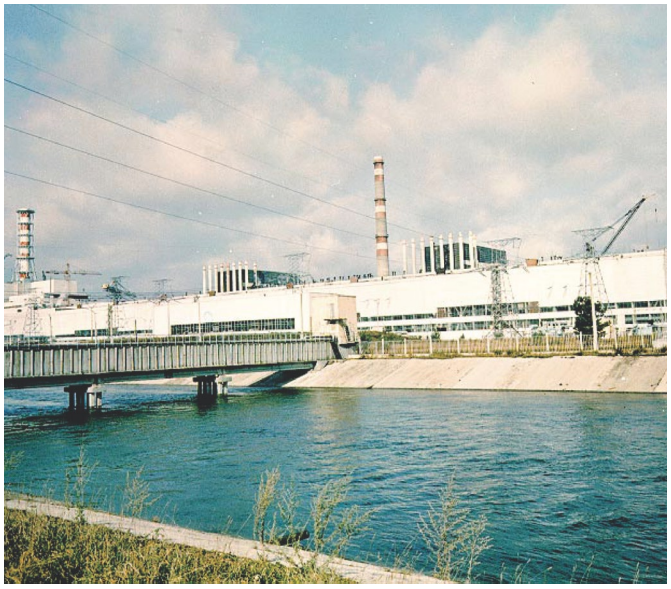


Bild 01: Das Kernkraftwerk Tschernobyl vor dem 26. April 1986

Konzept der RBMK-Reaktoren

Anfang der 1950er Jahre begann die UdSSR mit der Entwicklung eines Druckröhren-Reaktors mit Siedewasserkühlung und Graphitmoderator. Ende der 1960er Jahre waren mehrere kleine Anlagen in Betrieb. Danach ging man sogleich auf Blockleistungen von 1.000 Megawatt (MW) über (vgl. Tabelle 01). Da es sich um eine Reaktorlinie handelte, die auch zur Plutoniumgewinnung für militärische Zwecke genutzt werden konnte, wurden diese RBMK-Reaktoren nur auf dem Gebiet der damaligen Sowjetunion errichtet und nicht exportiert. Ihre Standorte liegen heute in Litauen, Russland und in der Ukraine. Die RBMK-Anlagen werden im Allgemeinen in drei Generationen eingeteilt. Der technischen Entwicklung entsprechend sind die Übergänge zwischen den Generationen jedoch fließend. Planungen für Einheiten bis zu Blockgrößen von 2.400 MW wurden inzwischen eingestellt.

Bei dem Tschernobyl-Reaktortyp ist der Reaktorkern ein Graphitblock mit einer Spaltzone von 11,8 m Durchmesser und 7 m Höhe, der in einem Betonquader von 22 x 22 x 26 m Größe untergebracht ist. Der Graphitblock dient der Moderation, d. h. die für den gewünschten Betrieb zu schnellen Neutronen werden durch den Graphit gebremst. Der Moderatorblock besteht aus rund 2.450 Säulen, die aus quadratischen Blöcken (250 x 250 mm) aufgebaut sind. Er wird vertikal von rund 1.700 Druckröhren durchzogen, in denen sich je ein Brennelement befindet. Das Wasser dient bei den RBMK-Reaktoren nur als Kühlmittel und nicht – wie bei den westlichen Reaktoren – gleichzeitig als Moderator. Während bei einem westlichen Reaktor durch Kühlwassermangel die Neutronenbremsung verringert und damit die Kettenreaktion automatisch gebremst oder gestoppt wird, sind bei den RBMK-Anlagen Kühlmittel- und Neutronen-„Bremsmittel" nicht identisch. Dadurch entsteht unter den beim Tschernobyl-Reaktor gegebenen Umständen ein Effekt, der in der Fachsprache als „positiver Dampfblasenkoeffizient" bezeichnet wird: Bei Leistungs- und Temperatursteigerung nimmt bei den RBMK-Reaktoren auch die Kettenreaktionsrate immer schneller zu. Dieser Effekt war u. a. eine der physikalischen Ursachen für den Unfall. Bei den RBMK-Anlagen ist zudem auf Grund der Größe des Reaktorkerns und des positiven Dampfblasenkoeffizienten im Vergleich zu westlichen Anlagen eine aufwendigere Überwachung und Regelung nötig.

Aus sowjetischer Sicht bieten die RBMK-Reaktoren folgende Vorteile:

- Die Anlagen werden in Modulbauweise errichtet, d. h. es sind keine Großschmiedestücke, wie z. B. Druckbehälter, herzustellen und zu transportieren. Folglich ist die Blockleistung nicht durch infrastrukturelle Gegebenheiten wie Transportwege etc. begrenzt. Die Gesamtleistung des Kraftwerkblockes lässt sich durch

Hinzufügen baugleicher Konstruktionselemente, d. h. weiterer Druckröhren, relativ einfach erhöhen.

- Nach sowjetischen Angaben haben sich die Anlagen im praktischen Betrieb bewährt. Ihre Verfügbarkeit und Auslastung lag über dem Durchschnitt anderer sowjetischer Anlagen und erreichte international übliche Werte.

Diesen betrieblichen und volkswirtschaftlichen Vorteilen stehen aus Sicht westlicher Reaktorfachleute folgende gravierende Nachteile gegenüber:

- Die beschriebene reaktorphysikalische Auslegung kann bei bestimmten Störfallsituationen zu einem unkontrollierten Anstieg der nuklearen Leistung führen.

- Der gasdichte Sicherheitsbehälter (Containment), der bei den westlichen Kernkraftwerken eine der wesentlichen Genehmigungsvoraussetzungen ist, fehlt bei den RBMK-Reaktoren, wie auch bei einem Teil der anderen russischen Anlagen.

- Im Vergleich zu westlichen Reaktoren sind einige Sicherheitseinrichtungen nicht vorhanden oder in zu geringer Redundanz (Mehrfachauslegung) ausgeführt.

- Die starke Verknüpfung der Systeme untereinander und insbesondere mit dem Notkühlsystem macht die Anlage störanfällig.

Die technischen Mängel blieben trotz Weiterentwicklung der RBMK-Anlagen über Jahrzehnte bestehen, obwohl sie einzelnen sowjetischen Fachleuten bekannt waren. Warum diese Kenntnisse nicht weitergegeben wurden, begründen westliche Fachleute mit organisatorischen Defiziten, die sich mit einem „Mangel an Sicherheitskultur" in der früheren Sowjetunion umschreiben lassen. Der RBMK-Reaktortyp wäre weder in der Bundesrepublik Deutschland noch in anderen westlichen Ländern genehmigt worden. Westliche Reaktorfachleute hatten bis 1986 praktisch keine Kenntnisse über die Funktionsweise und Sicherheitseigenschaften der RBMK-Anlagen. Erst nach dem Unfall wurden allmählich erste technische Einzelheiten bekannt.

Standort	Elektrische Leistung in MWe (netto)	Auftragserteilung	Kommerzieller Betriebsbeginn	Stilllegung
Litauen				
Ignalina 1-2	2 x 1.185	1974	1985/87	
Russland				
Obninsk	5	1951	1954	k. A.
Troitsk 1-6	6 x 90	1953	1958/63	k. A.
Beloyarsk 1	102	1958	1964	1983
Beloyarsk 2	146	1959	1969	1990
Bilibinsk 1-4	4 x 11	1965	1974/77	
Sosnowi Bor 1-2	2 x 925	1968	1974/76	
Kursk 1-2	2 x 925	1968/74	1977/79	
Smolensk 1-2	2 x 925	1971	1983/85	
Smolensk 3	925	1981	1990	
Kursk 3-4	2 x 925	1974	1984/86	
Sosnowi Bor 3-4	2 x 925	1975	1980/81	
Kursk 5	925	1985	2004	
Ukraine				
Tschernobyl 1-2	2 x 925	1971	1978/79	1996/91
Tschernobyl 3-4	2 x 925	1974	1982/84	1986/00*

* Block 4 nach Reaktorunfall stillgelegt, Block 3 im Dezember 2000 stillgelegt

Quelle: Nuclear Engineering International: World Nuclear Industry Handbook 1993,
zitiert nach: Karl Siegel: Graphitmoderierte Leichtwasserreaktoren, in: Handbuch der Kernenergie 1995, S. 75; atw 1/2004, S. 46 f.
Tabelle 01: RBMK-Reaktoren (Hochleistungs-Druckröhrenreaktoren)

2. Unfallablauf, Ursachen und Hintergründe

Zusammenfassung

Der Unfall ereignete sich während eines Tests, bei dem geprüft werden sollte, ob bei einem Stromausfall die Rotationsenergie der Turbine noch übergangsweise zur Stromerzeugung genutzt werden kann, bis die Notstromaggregate hochgelaufen sind. Etwa eine Minute nach Testbeginn gab es im Reaktor einen jähen Leistungsanstieg. Augenzeugen außerhalb des Reaktors beobachteten zu diesem Zeitpunkt zwei Explosionen mit Materialauswurf. Die Anlage wurde stark beschädigt. Die Feuerwehrleute und die Hilfsmannschaften mussten mangels Erfahrung mit derartigen Unfällen improvisieren. Durch Wassereinspeisung, Abwurf verschiedener Materialien aus Militärhubschraubern und Einblasen von Stickstoff gelang es, die Freisetzung der radioaktiven Schadstoffe allmählich zu verringern. Aus der Region um den havarierten Reaktor wurden in den ersten Tagen über 100.000 Menschen evakuiert. Nach ersten Untersuchungen ging man noch davon aus, dass menschliche Fehlhandlungen in Verbindung mit Systemschwächen der RBMK-Reaktorlinie den Unfall verursachten. Mittlerweile sieht man in den Systemschwächen die wesentlichen Ursachen.

Unfallablauf

Das Kernkraftwerk Tschernobyl liegt im weißrussisch-ukrainischen Waldgebiet am Ufer des Flusses Pripjet (auch Pripyat geschrieben), der in den Dnjepr mündet (vgl. Bild 02). Der Geländeverlauf ist meist flach. Die Bevölkerungsdichte ist in dieser Region mit durchschnittlich rund 70 Einwohnern pro km² im Vergleich zu mitteleuropäischen Ländern relativ gering. Am Standort des Kernkraftwerks Tschernobyl waren 1986 vier RBMK-1000-Blöcke in Betrieb, zwei weitere in Bau. Die Blöcke 1 und 2 gingen 1978 bzw. 1979 in Betrieb, die Blöcke 3 und 4 wurden 1982 bzw. 1984 ans Netz geschaltet. Die Blöcke 5 und 6 befanden sich in fortgeschrittenem Bauzustand und sollten 1986 und 1988 in Betrieb gehen. Das Kernkraftwerk Tschernobyl galt in der UdSSR als Musteranlage.

Der Unfall ereignete sich in der Nacht vom 25. auf den 26. April 1986 in Block 4 während eines Tests mit einem der beiden Turbinen-Generator-Sätze. Ziel dieses Tests war es, zu prüfen, ob bei einem Stromausfall und der damit verbundenen Abschaltung des Reaktors die mechanische Energie des Rotors im Turbinen-Generator-Satz beim Auslaufen solange für den Strom-Eigenbedarf von vier Hauptspeisepumpen ausreicht, bis die Notstromdieselaggregate hochgelaufen sind. Für das Hochlaufen bis zur vollen Leistung vergehen bei den in Tschernobyl installierten Aggregaten 40 bis 50 Sekunden.

Bereits im Jahr 1985 hatte man am Standort Tschernobyl einen gleichen Test in Block 3 durchgeführt. Damals war jedoch die Spannung am Generator zu schnell abgefallen, so dass der Test mit einem verbesserten Spannungsregler in Block 4 wiederholt werden sollte. Um bei einem möglichen Scheitern des ersten Versuchs eine sofortige Wiederholung zu ermöglichen, wurde der Test diesmal durchgeführt, während der Reaktor noch in Betrieb blieb. Eine derartige Versuchsanordnung verstieß gegen die Betriebsvorschriften. Die Versuchsanordnung alleine hätte den Unfall nicht herbeiführen können, doch kamen ungünstige reaktorphysikalische und sicherheitstechnische Eigenschaften der RBMK-Reaktoren sowie Bedienungsfehler hinzu.

Während des Tests wurde zur Erfassung von elektrischen Größen des geplanten Versuchs eine beträchtliche Anzahl von Dokumentations-Kanälen verwendet, auf denen sonst Betriebswerte (wie beispielsweise die Reaktorleistung) aufgezeichnet werden. Die dadurch fehlenden Werte erschwerten später die Ermittlung von Unfallablauf und -ursachen.

Bild 02: Lage des Kernkraftwerks Tschernobyl im Grenzgebiet Ukraine-Weißrussland

Der zeitliche Ablauf des Unfallgeschehens (Ortszeit)

Freitag, 25. April 1986

01.00 Uhr:
Der Reaktor wird zur jährlichen Revision und für den geplanten Versuch von voller Leistung „abgefahren", d. h. die Reaktorleistung wird systematisch reduziert.

13.05 Uhr:
Etwa 50 % Reaktorleistung werden erreicht. Eine der beiden zugeordneten Turbinen wird abgeschaltet.

14.00 Uhr:
Das Notkühlsystem wird isoliert. (Diese Maßnahme war in der Testprozedur vorgesehen. Man wollte vermeiden, dass bei Notkühlsignalen Wasser zur Kühlung eingespeist würde.) Zwischenzeitlich verlangt der Lastverteiler im ukrainischen Kiew den Weiterbetrieb mit einer Turbine, da im Elektrizitätsnetz entsprechender Bedarf besteht.

Das Betriebspersonal vergisst, die Notkühlsysteme wieder zu aktivieren.

23.10 Uhr:
Nachdem der Strombedarf gedeckt ist, wird mit dem weiteren Abfahren des Reaktors begonnen. Ziel ist es, eine Leistung von rund 25 % zu erreichen.

Samstag, 26. April 1986

00.28 Uhr:
Beim Abfahren fällt auf Grund einer Störung im Regelsystem oder einer Fehlhandlung die Leistung des Reaktors aus bisher ungeklärten Gründen auf unter 1 % der Nennleistung. (Da ein Leistungsbetrieb unter 20 % nicht zulässig war, hätte der Reaktor abgeschaltet und der Versuch verschoben werden müssen.) Statt dessen wurde die Leistung soweit wie möglich wieder angehoben, um den Versuch durchzuführen. Durch Ausfahren der Regelstäbe (im übertragenen Sinne: der „Bremsen des Reaktors") gelingt es, die Reaktorleistung auf etwa 7 % anzuheben.

00.43 Uhr:
Etwa 40 Minuten vor Versuchsbeginn wird ein wichtiges Signal, welches bei Einleitung des Versuchs zu einer automatischen Notabschaltung des Reaktors geführt hätte, unwirksam gemacht, um den Versuch eventuell wiederholen zu können.

01.00 Uhr:
Dem Operateur gelingt es, den Reaktor auf ca. 7 % der Nennleistung zu stabilisieren. (In diesem Leistungsbereich hätte der Reaktor nach heutiger Kenntnis nicht betrieben werden dürfen. Für den weiteren Ablauf ist von großer Bedeutung, dass der notwendige Spielraum zur Abschaltung des Reaktors wegen der vielen ausgefahrenen Regelstäbe nicht mehr vorhanden war.)

01.03 Uhr:
Jedem Kühlkreislauf werden gemäß Versuchsablauf die vier zugehörigen Pumpen zugeschaltet. Dadurch werden zur Stabilisierung der Leistung die Regelstäbe noch mehr herausgefahren. Die Reaktivitätsreserve sinkt weiter. Druck und Wasserspiegel in den relevanten Reaktorkomponenten schwanken heftig, die Anlage befindet sich in einem äußerst instabilen Zustand.

01.19 Uhr:
Der Operateur erhöht die Wasserzufuhr und überbrückt Warnsignale zum Stand von „Wasserspiegel" und „Druck", die zu einer Abschaltung geführt hätten. (Diese Vorgehensweise war laut Betriebsanleitung nicht verboten.)

01.22 Uhr:
Durch verschiedene Maßnahmen erreicht der Operateur, dass die Wasserzufuhr wieder auf zwei Drittel des notwendigen Wertes ansteigt. Die Regelung gestaltet sich sehr schwierig, da das Regelsystem nicht für derartige kleine Durchsätze ausgelegt ist. Kurze Zeit später stabilisiert sich die Wasserzufuhr. (Dennoch wäre zu diesem Zeitpunkt wegen der fehlenden Reaktivitätsreserve und der vielen ausgefahrenen Regelstäbe das sofortige Abschalten des Reaktors erforderlich gewesen.)

Bild 03: Der havarierte Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl nach dem Unfall aus südwestlicher Sicht

01.23 Uhr:
Der vorgesehene Test beginnt mit dem Schließen der Turbinenschnellschlussventile. Durch den steigenden Druck wird eine Gruppe der automatischen Regelstäbe ausgefahren. Die Verringerung des Durchsatzes und die Erwärmung des Wassers verursachen eine positive Reaktivitätszufuhr, die man dadurch zu kompensieren versucht, dass man zwei (von insgesamt drei) Gruppen der automatischen Regelstäbe wieder einfährt. Etwa 30 Sekunden nach Testbeginn steigt die Leistung weiter an. Das automatische Regelsystem kann die Leistungssteigerung nicht verhindern. 36 Sekunden nach Testbeginn gibt der Schichtleiter den Auftrag, den Reaktor abzuschalten. Der Notschalter wird betätigt. Sekunden später erfolgen Alarmmeldungen über hohe Reaktorleistung und ein jäher Leistungsanstieg. Innerhalb von rund 4 Sekunden schaukelt sich die Energieabgabe auf nahezu das 100fache der Nennleistung des Reaktors auf. Das Schnellabschaltsystem der Steuerstäbe dagegen benötigt für das Wirksamwerden („Bremsen") 18 - 20 Sekunden.

Außerhalb des Reaktorgebäudes werden zu diesem Zeitpunkt von Augenzeugen zwei Explosionen mit Materialauswurf beobachtet. Sie erfolgen im Abstand von 2 bis 3 Sekunden und führen zu starken Beschädigungen am Gebäude. Von diesem Zeitpunkt an begann die Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus dem beschädigten Reaktor, die erst nach 10 Tagen eingedämmt werden konnte.

Unfallursachen

Zur Erklärung des Unfallablaufs konnte man nicht auf Erfahrungen aus vergleichbaren Ereignissen oder auf eine ausführliche Dokumentation zurückgreifen. Man war auf die Augenzeugenberichte sowie auf nach dem Unfall durchgeführte Strahlenmessungen, nachgestellte Experimente und Analysen angewiesen. Alles zusammengenommen ergibt sich heute folgendes Bild: Durch die starke Leistungssteigerung im Reaktor kam es zum Aufheizen des Brennstoffs. Die Aufheizung von eingeschlossenem Gas und wahrscheinlich auch die Verdampfung von Brennstoff führten zu einem Druckaufbau, durch den ein Teil des Brennstoffs in winzige Bruchstücke zerrissen (fragmentiert) wurde. Die heißen Bruchstücke kamen mit Wasser in Berührung. Dadurch entstand Dampf. Dieser gesamte Vorgang erfolgte in etwa einer Zehntel Sekunde. Berechnungen von sowjetischen Reaktorfachleuten ergaben, dass rund 30 % des Kernvolumens diese erste Leistungssteigerung verursachten.

Die Brennelementkanäle konnten dem Druck und den Temperaturbelastungen nicht standhalten. Der Druck im Reaktorraum stieg. Durch diesen Druckaufbau wurde die obere, ca. 3.000 t schwere Reaktordeckplatte, angehoben und der obere Teil des 64 Meter hohen Reaktorgebäudes zerstört. Dabei rissen alle mit der Platte verbundenen Rohre ab. Gleichzeitig wurden die horizontalen Leitungen abgeschert und die Regelstäbe mit der Platte herausgezogen. Die Reaktorplatte befindet sich seitdem in einer nahezu vertikalen Position. Die Brennelementlademaschine fiel auf den Reaktorkern und zerstörte weitere Kühlkanäle.

Nach der Fragmentierung des Brennstoffs und der Wechselwirkung mit dem Wasser entstand Wasserstoff. Möglicherweise erfolgte etwas später im Rahmen der Wechselwirkung mit dem Material der Brennelementkanäle eine weitere Zirkon-/Wasser-Reaktion. Die Ursachen der bereits angesprochenen zweiten Explosion sind nicht bekannt. Man nimmt an, dass durch das Abreißen aller Rohre und durch die Druckabsenkung im Primärsystem des Reaktors eine zweite Leistungsexkursion möglich war. Ca. 2 % der Graphitblöcke wurden durch die Explosionen ausgeworfen. Sowjetische Quellen sprechen von bis zu 13 t Kernmaterial, die auf dem Dach des daneben liegenden Blockes 3 und dem Zwischengebäude mit Kamin nach dem Unfall gefunden wurden. Dieses Material wurde bei den Dekontaminierungsarbeiten in den havarierten, offenen Block 4 des Kernkraftwerks abgeworfen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wurde die Kettenreaktion während der Zerstörung des Reaktorkerns beendet.

Über den Unfallhergang und die Ursachen der aufgetretenen Explosionen werden in der Fachwelt verschiedene Hypothesen aufgestellt. Der wesentliche Unterschied liegt dabei in der Erklärung der nach Aussagen von Augenzeugen stärkeren zweiten Explosion, über die zwei Vermutungen bestehen: Zum einen die Hypothese, die von einer nicht-nuklearen Explosion in Form einer Dampfexplosion ausgeht, diese entweder mit stark exothermen Reaktionen oder mit einer Wasserstoffexplosion. Zum anderen die Hypothese, die eine nukleare Explosion innerhalb oder außerhalb des Reaktorschachtes zu Grunde legt.

Systemschwächen der RBMK-Reaktorlinie

Erste Analysen sahen die wesentlichen Ursachen für diesen Unfall sowohl im menschlichen Versagen als auch in der Unkenntnis der speziellen Auslegung des Reaktors seitens der Operateure. Die Betriebsmannschaft stand im Vorfeld des Unfalls unter beträchtlichem Zeitdruck. Der Test sollte während der jährlichen Routinerevision, die im April anstand, tagsüber durchgeführt werden. Da der Reaktor zwischenzeitlich zur Stromerzeugung benötigt wurde, entstand ein Zeitverzug von 9 Stunden, so dass der Test in der Nacht gefahren werden musste. Der Zeitdruck auf die Betriebsmannschaft wurde dadurch noch verstärkt.

Nach den ersten Untersuchungen war man im Westen (auf Grund von sowjetischen Aussagen) noch der Auffassung, dass überwiegend menschliche Fehlhandlungen in Verbindung mit verschiedenen Systemschwächen den Unfall verursacht hatten. Diese Einschätzung wurde jedoch auf Grund neuerer Bewertungen von russischen Experten revidiert. Sie kannten die Sensibilität des Reaktors in diesem Leistungsbereich, die unzureichende Instrumentierung und die Leistungssteigerung durch das Einfahren vorher zu hoch ausgefahrener Regelstäbe. Der zuletzt genannte Effekt beeinflusste offensichtlich den Unfallbeginn.

Es gilt heute als sicher, dass die den Leistungszuwachs auslösende Reaktivitätszufuhr durch das Einfahren der Abschalt- und Regelstäbe hervorgerufen wurde, denn die Regelstäbe des RBMK-Reaktortyps reduzieren auf Grund ihrer fehlerhaften Konzeption beim Einfahren aus dem völlig gezogenen Zustand die Reaktivität nicht, sondern erhöhen sie zunächst, d. h. die Kettenreaktion wird nicht beendet, sondern für kurze Zeit beschleunigt. Auf diese Weise wurde der Unfall paradoxerweise durch die Aktivierung der Reaktorabschaltung durch den Operateur ausgelöst (im übertragenen Sinne: Der Operateur betätigte die „Bremsen des Reaktors". Auf Grund ihrer falschen Konstruktion führte dies zu einem kurzzeitigen „Gasgeben"). Diesen Effekt stellte man bereits 1983 bei der Inbetriebnahme der Anlage von Ignalina (Litauen) fest, gab ihn aber nicht als Erfahrungswert an die Betriebsmannschaften anderer Anlagen weiter, was nach 1986 von sowjetischer Seite lange Zeit geleugnet wurde.

Die Konzeptmängel an den Steuerstäben und in der gesamten Kernauslegung (stark positive Reaktivitätseffekte infolge des Verdampfens des Reaktorkühlmittels und des Regelstabkühlwassers) sowie die möglichen Folgen für das Reaktorverhalten, insbesondere bei niedriger Leistung, waren dem Betriebspersonal weder bekannt noch in den Betriebs- und Störfallprozeduren eindeutig dargestellt. Trotzdem schob die sowjetische Seite die Schuld an dem Unfall weitgehend dem Bedienungspersonal zu. Der Schichtleiter, der sich nicht vorstellen konnte, dass durch eine Abschaltung ein Leistungsanstieg ausgelöst werden könnte, wurde mit Gefängnis bestraft.

Bild 04: Hubschrauberansicht des zerstörten Reaktorschachtes des 4. Blockes und das beschädigte Dach des Maschinenraumes (September 1986)

Erste Schutzmaßnahmen

Da keine Katastrophen- und Notfallpläne existierten und auch keine Erfahrungen mit derartigen Unfällen vorlagen, mussten die Fachleute vor Ort über die Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenbelastungen des Personals und der Umwelt entscheiden. Man konzentrierte sich auf vier Gefahrenschwerpunkte:

- Verhinderung einer erneuten Kettenreaktion;
- Verhinderung eines weiteren Aufheizens der Brennelemente;
- ausreichende Abschirmung der Direktstrahlung;
- Minimierung der Freisetzung von radioaktiven Stoffen.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgte schwerpunktmäßig in der Zeit vom 26. April bis 02. Mai 1986. Um die Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus dem beschädigten Reaktor zu begrenzen, versuchte man zunächst, Kühlwasser in den zerstörten Reaktorkern zu pumpen. Angesichts des zerstörten Kühlwassersystems musste die Feuerwehr improvisieren. Sie schaffte es bereits kurz nach dem Unfall, Wasser in der Größenordnung von 200 bis 300 t pro Stunde mittels der Notpumpen einzuspeisen. Das Wasser wurde dem Vorratstank zur Kühlung des intakten Blockes entnommen. Nach 10 Stunden beendete man die Einspeisung, da die beabsichtigte Kühlung der Graphitblöcke nicht gelang. Zudem floss kontaminiertes Wasser aus der Anlage heraus.

Abwurf von Schutzmaterialien aus Hubschraubern

Schnellstmöglich begann man mit über 30 Militärhubschraubern folgende Materialien in den Reaktor zu werfen, in dem zwischenzeitlich als Folge der hohen Temperatur ein Graphitbrand entstanden war:

- ca. 40 t Borkarbid, um eine erneute Kettenreaktion zu verhindern;
- ca. 800 t Dolomit, dessen Zersetzung die Wärmeentwicklung auffangen sollte; gleichzeitig sollte mit Hilfe des entstehenden Kohlendioxids der mehrere Tage andauernde Graphitbrand erstickt werden;

- ca. 2.400 t Blei, um durch den Schmelzvorgang die Hitze zu absorbieren und eine gewisse Abschirmung der Gamma-Strahlung zu erreichen;

- ca. 1.800 t Sand und Lehm als Filtermaterial für die aus dem Brennstoff freigesetzten radioaktiven Stoffe.

Am 04. oder 05. Mai wurde gasförmiger Stickstoff in den unteren Bereich der Anlage eingeblasen. Die aus der Luft abgeworfene Abdeckung erhöhte zunächst die Temperatur und somit die Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Dieser Zustand änderte sich erst, als es am 06. Mai gelang, ein Stickstoffkühlsystem unterhalb der Reaktorgrube zu installieren. Dadurch stabilisierte sich die Temperatur und die Freisetzung ging zurück. Weiterhin grub man einen Tunnel, der unterhalb des Reaktorkerns endete, um dort eine Betonplatte einzubauen. Diese Maßnahme sollte verhindern, dass geschmolzene Teile das Grundwasser kontaminieren.

Wieviel des radioaktiven Inventars (ursprünglich bestand die Kernladung aus 1.659 Brennstoffkassetten, die insgesamt 190,2 t Kernbrennstoff enthielten) in den Reaktortrümmern blieb, konnte durch Messungen und später durch Bohrungen näherungsweise ermittelt werden. Verschiedene Untersuchungen, Messungen und Berechnungen ukrainischer und russischer Fachleute, auch unabhängiger westlicher Expertengruppen sowie internationaler Teams weisen aus, dass etwa 96 % des Kernbrennstoffs in verschiedenen Modifikationen und an verschiedenen Stellen im Sarkophag verblieben sind. Die gasförmigen radioaktiven Spaltprodukte (Edelgase wie Krypton und Xenon) wurden gänzlich und die leicht flüchtigen (wie Jod und Cäsium) wurden zu großen Teilen freigesetzt. Die Bilanz des Kernbrennstoffs wurde sowohl durch Messung der freigesetzten Radioaktivität und der Kontaminationen nach dem Unfall als auch durch Messungen innerhalb des Sarkophags ermittelt.

Während der aktiven Phase des Unfalls wurden einerseits die gasförmigen und luftgetragenen radioaktiven Freisetzungen gemessen und unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse ausgewertet. Andererseits wurden die großflächig abgelagerten radioaktiven Kontaminationen mit internationaler Beteiligung bestimmt. Hieraus lässt sich mit Hilfe wissenschaftlich abgesicherter Modelle ableiten, dass insgesamt etwa 3 - 4 % an radioaktivem Material freigesetzt wurde. Durch vielfältige Messungen und Berechnungen russischer, ukrainischer und weißrussischer Fachleute wurde zudem die im Sarkophag verbliebene Menge an abgebranntem Brennstoff abgeschätzt. Die in den letzten Jahren im Rahmen der „Deutsch-Französischen Initiative für Tschernobyl“ durchgeführten Überprüfungen dieser Informationen weisen aus, dass im Inneren des Sarkophags rund 150 t Kernbrennstoff nachgewiesen werden können. Weitere 30 t Kernbrennstoff werden dort vermutet. Ein Vordringen dorthin ist jedoch auf Grund von Verschüttungen und extrem hoher Strahlenpegel bisher nicht möglich.

4 % des Kernbrennstoffs wurden freigesetzt

Auch diese Abschätzung der im Sarkophag enthaltenen Kernbrennstoffmasse stützt die Aussage, dass etwa 96 % des abgebrannten Kernbrennstoffs dort verblieben sind. In dem im Jahr 2001 überarbeiteten Sicherheitsbericht des Sarkophags, der von der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH begutachtet wurde (Peer Review), werden diese Freisetzungsanteile erneut bestätigt.

Die Vorstellung, der Kernbrennstoff und die sonstigen radioaktiven Materialien ließen sich wieder zu einem Ganzen zusammenfügen, entspricht nicht den realen Bedingungen im Sarkophag. Während und nach der Explosion des Reaktors entstanden aus dem Kernbrennstoff auf Grund physikalischer und thermo-chemischer Prozesse verschiedene Modifikationen, vor allem Fragmente der Brennelemente, lavaartige Massen, die mit anderen Materialien verschmolzen oder vermischt sind, und Staub. Dadurch wurden ursprünglich nicht-radioaktive Materialien (Bautrümmer, Schutt) kontaminiert. Das Volumen an radioaktiven Materialien im Sarkophag hat sich dementsprechend drastisch vergrößert. Diese Materialien zählen zu den Stoffen, die entsprechend entsorgt werden müssen.

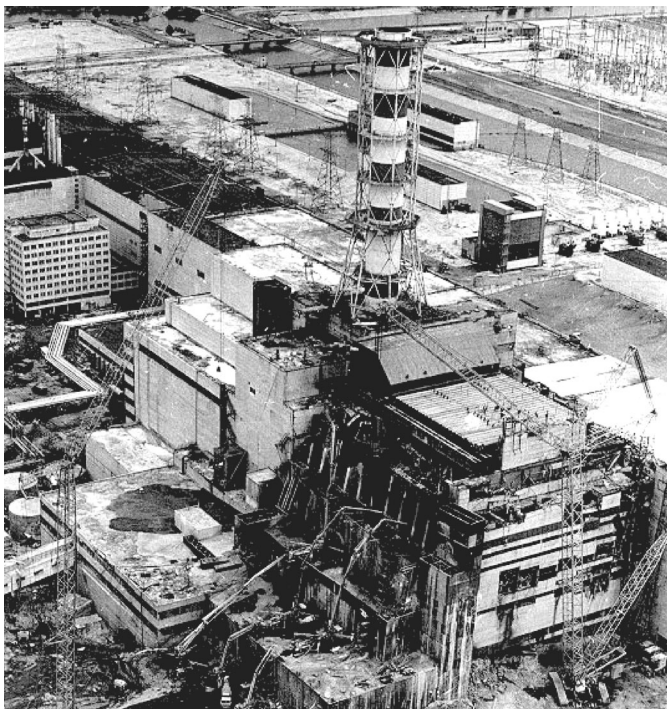


Bild 05: Der havarierte Block 4 nach dem Unfall aus nordwestlicher Sicht

Die Aufschüttungen aus Sand, Kies und Beton, die nach der Explosion mit Hubschraubern in den offenen Reaktor abgeworfen wurden, konnten die vorhandenen Hohlräume nicht komplett ausfüllen. Daher muss bei der Abschätzung des Volumens der radioaktiven Materialien die Aktivitätskonzentration, d. h. die pro m³ enthaltene Radioaktivität, mit berücksichtigt werden, da dies Einfluss auf Art und Technologie einer möglichen späteren Bergung des radioaktiven Materials und deren Entsorgung haben kann. Demzufolge ist eine Angabe des Volumens in m³ nahezu unmöglich. Das Volumen der radioaktiven Materialien, die entsorgt werden müssen, wird insgesamt auf mehrere 100.000 m³ geschätzt.

3. Zustand des Sarkophags und des Kraftwerksstandorts

Zusammenfassung

Durch den großen Einsatz von Menschen und Material gelang es sowjetischen Spezialeinheiten innerhalb weniger Monate, einen Sarkophag um den beschädigten Block 4 zu errichten. Diese Gebäudehülle und umfangreiche Maßnahmen zur Dekontaminierung haben die Strahlung in der Umgebung erheblich reduziert. Über die Standsicherheit des Sarkophags liegen nur unvollständige Informationen vor. Derzeit werden umfangreiche Arbeiten zur Stabilisierung des Sarkophags und zur Errichtung eines zweiten Sarkophags im Rahmen des Shelter Implementation Plan (SIP) durchgeführt. Weiterhin sind komplexe Entsorgungsfragen zu lösen. Nach dem Unfall wurde radioaktives Material in zahlreichen provisorischen Zwischenlagern auf dem Kraftwerksgelände und in größeren Entfernungen deponiert. Von dem engeren Gebiet um den havarierten Reaktor herum werden noch für sehr lange Zeiträume Gefährdungen ausgehen. Die ukrainische Regierung hat ein Konzept für die Zukunft der Schutzzone erarbeitet. Am 15. Dezember 2000 wurde auch der zuletzt noch betriebene Block 3 abgeschaltet und das Kernkraftwerk Tschernobyl endgültig stillgelegt.

Um die Freisetzung von Strahlung und radioaktiven Stoffen aus dem zerstörten Reaktor so schnell wie möglich zu reduzieren, wurde in wenigen Monaten eine Gebäudehülle (Sarkophag oder Shelter) um den zerstörten Block 4 unter Verwendung von Teilen des stark beschädigten Reaktorgebäudes und des Maschinenhauses errichtet. Die Wände haben eine Höhe von über 50 m. Auf Grund der Strahlungssituation und der Dringlichkeit war die erforderliche Zeit für die Bewertung der Standortbedingungen sowie für die bei solchen komplizierten Bauten übliche Projektierung der technischen Maßnahmen nicht vorhanden.

Beim Bau des Sarkophags wurden teilweise Reste des zerstörten Reaktorgebäudes genutzt, sofern diese nach dem Unfall noch brauchbar erschienen. Ein Teil der neu errichteten Baustrukturen stützt sich sogar auf Trümmern des zerstörten Blockes ab, über deren Zustand wenig bekannt ist. Viele Konstruktionsteile mussten fernbedient montiert werden, wobei die Bauteile nicht immer präzise in den vorgesehenen Positionen abgesetzt wurden. Auch konnten einige wesentliche Bauteile nicht verschraubt oder verschweißt, sondern nur aufgesetzt werden. Der jetzige Einschluss des Blockes 4 war ohnehin als Sofortmaßnahme für eine begrenzte Zeit von 20 - 30 Jahren bis zur endgültigen Lösung konzipiert, wobei die Errichtung des Sarkophags angesichts des damals bestehenden Zeitdrucks eine große technische und logistische Leistung war.

Für die Bewältigung der Unfallfolgen sehen Fachleute es als günstig an, dass die Sowjetunion damals noch bestand. Wäre der Unfall nach dem politischen Zerfall geschehen, hätte es wohl an einer wirkungsvollen Organisation gemangelt, um die Probleme vergleichbar zu meistern. Am 30. November 1986, nach knapp sechs Monaten Bauzeit, stand der Sarkophag. Das sowohl für zivile als auch für militärische Aufgaben zuständige Ministerium für Mittleren Maschinenbau, das über eigene militärische Einheiten verfügte, hatte den Bau erstellt. Noch heute wird ständig am Sarkophag gearbeitet – vornehmlich zur Instandhaltung, Kontrolle und Verbesserung der Stabilität. Die Gebäudehülle und die Dekontaminationsmaßnahmen führten zu einer drastischen Reduzierung der Strahlung.

Bild 06: Der Sarkophag um den Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl nach der Fertigstellung

Unvollständige Informationen über den Bauzustand

Fernbediente Montagevorgänge, der große Zeitdruck und neu auftretende Probleme sind die Ursachen dafür, dass heute die Informationen über die einzelnen Bauvorgänge lückenhaft sind. Es gibt viele unterschiedliche Informationen über den baulichen Zustand und davon möglicherweise ausgehende Gefährdungen, die zum Teil widersprüchlich sind. Unumstritten ist, dass die Standsicherheit des Sarkophags langfristig gefährdet ist. Naturereignisse wie Erdbeben, große Schneelasten oder Überflutungen könnten zu weiteren schädlichen Auswirkungen auf die Umgebung führen. Auch gegen Brände und Austritt radioaktiver Flüssigkeiten aus dem Sarkophag müssen Vorkehrungen getroffen werden. Derartige Ereignisse könnten lokal zu erheblichen zusätzlichen Strahlenexpositionen führen. Gravierende Auswirkungen wären aber selbst bei einem Einsturz des Sarkophags auf Entfernungen von weniger als 10 bis 20 km begrenzt.

Verschiedentlich wurden Befürchtungen geäußert, dass es zu einer erneuten Explosion des im Sarkophag verbliebenen Kernbrennstoffs kommen könnte. Die über viele Stellen im Sarkophag verteilten brennstoffhaltigen Materialien sind derzeit jedoch in einem deutlich unterkritischen Zustand, d. h. ein Wiederaufleben einer nuklearen Kettenreaktion ist auch unter ungünstigen Bedingungen sehr unwahrscheinlich. Zur Überwachung des unterkritischen Zustandes wird die radioaktive Strahlung im Inneren, insbesondere die Neutronenstrahlung, gemessen. Mitte der 1990er Jahre gab es auf Grund von Messanzeigen der im Inneren des Sarkophags installierten Neutronenüberwachungsdetektoren wiederholte Befürchtungen, dass durch eintretendes Regenwasser lokal möglicherweise ein kritischer Zustand erreicht werden könnte. Diese haben sich mittlerweile auf Grund der genauen Messergebnisse und Berechnungen als unbegründet erwiesen.

Bild 07: Brennstoffhaltige Materialien im Inneren des havarierten Blockes 4

Allerdings können im Sarkophag verbliebene kernbrennstoffhaltige Aerosolpartikel, z. B. durch Öffnungen im Sarkophag und auch über den Abluftkamin des Lüftungssystems, in die Umgebung gelangen. Die gesamte freiwerdende Radioaktivität wird durch ein umfangreiches Messprogramm erfasst und dokumentiert. Danach unterschreiten die Emissionswerte für die luftgetragenen radioaktiven Ableitungen seit mehreren Jahren die für den Standort genehmigten Grenzwerte. Signifikante flüssige Ableitungen aus dem Sarkophag in die Umgebung, z. B. hervorgerufen durch Auswaschungen infolge eingedrungenen Regenwassers, konnten bisher nicht nachgewiesen werden. Die radioaktive Kontamination des Grundwassers am Standort in Folge des ausgeworfenen radioaktiven Materials sanken in den letzten Jahren stark ab und befinden sich derzeit auf einem geringen Niveau.

Planungen für einen neuen Sarkophag

Bei den Planungen über die Zukunft des Sarkophags standen drei Varianten zur Debatte: Verfüllung mit Beton, Stabilisierung der bestehenden Konstruktion sowie ein neues Schutzbauwerk. 1992 schrieb die Ukraine auf internationaler Ebene einen Konzeptwettbewerb zur Überführung des Blockes 4 in einen sichereren Zustand aus. Im Rahmen dieses Wettbewerbs, der von einer französischen Firma gewonnen wurde, favorisierte man die Variante eines neuen Schutzbauwerkes. Die Europäische Kommission vergab 1994 eine Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Konstruktion und zur Errichtung eines neuen Schutzbauwerkes an das Konsortium „Alliance" unter Leitung dieser Firma. Im Ergebnis dieser Studie entstand ein Vorschlag, der vorsah, den zerstörten Block 4 sowie den unmittelbar angrenzenden und damals noch laufenden Block 3 einzuhüllen. Die Kosten nur für dieses Bauwerk „Sarkophag 2" wurden auf 3 bis 4 Milliarden US$ geschätzt. Voraussetzung für die Realisierung wäre die Stilllegung des Blockes 3 gewesen.

Aus diesen Gründen wurde das Projekt von der Ukraine abgelehnt und nicht weiter verfolgt. Statt dessen wurde von der Europäischen Kommission gemeinsam mit der Ukraine ein anderer Ansatz gewählt. In einer Studie, an der auch die GRS mitwirkte, definierte man die Anforderungen für die Kurzzeitsicherheit im Zeitraum der nächsten ca. 15 Jahre sowie für die Langzeitsicherheit im Zeitraum der nächsten ca. 100 Jahre. In einer weiteren Studie wurden parallel dazu praktische Maßnahmen untersucht und konzipiert, die diese Anforderungen erfüllen sollten.

Die zweite Studie führte durch Unterstützung der G7-Staaten zur Entwicklung des Shelter Implementation Plan (SIP) mit 22 Aufgaben, die in vier Aufgabenpakete unterteilt wurden. Die Realisierung erfolgt über den Cher-

nobyl Shelter Fund (CSF), der von der European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) verwaltet wird und durch zwei Geberkonferenzen auf ursprünglich 760 Millionen US$ festgesetzt war. Anfang 2004 wurde die Summe auf 1,3 Mrd. US$ erhöht und eine Verschiebung des Abschlusses von 2007 auf mindestens 2008 beschlossen. Die Bergung und Entsorgung des im Inneren des Sarkophags verbliebenen Brennstoffs ist im SIP nicht vorgesehen.

Ein weiteres Problem sind die kurz nach dem Unfall vergrabenen Auswürfe, die langfristig die Gefahr einer Grundwasserbelastung mit sich bringen. Das Risiko liegt in der Verschleppung kontaminierter Sedimente aus der Sperrzone bei Flusshochwasser. Insgesamt sind am Standort des Kernkraftwerks Tschernobyl komplexe Entsorgungsfragen zu lösen. Radioaktive Trümmer, verseuchter Boden und radioaktives Material wurden nach dem Unfall in mehreren „stationären" und rund 300 „provisorischen" Zwischenlagern auf dem Gelände des Kernkraftwerks und in größerer Entfernung deponiert. Zudem wird am Standort dringend neue Zwischenlagerkapazität benötigt, da die abgebrannten Brennelemente der Blöcke 1, 2 und 3 von Russland nicht zurückgenommen werden und die vorhandenen Zwischenlager in der Ukraine praktisch voll sind.

Von dem Gebiet um Tschernobyl werden noch für sehr lange Zeiträume lokale Gefährdungen ausgehen. Im Auftrag der ukrainischen Regierung haben deshalb Fachleute des „Tschernobyl-Ministeriums" (mittlerweile „Ministerium für außergewöhnliche Situationen", verantwortlich für die Untersuchung und Bewältigung der Unfallfolgen einschließlich der medizinischen und sozialen Fragen der betroffenen Bevölkerung), und der Akademie der Wissenschaften ein Konzept für die Zukunft der Schutzzone erarbeitet, das folgende Aufteilungen vorsieht:

- Eine Wirtschaftszone, in der die gesamte wirtschaftliche Tätigkeit einschließlich der erforderlichen Infrastruktur konzentriert wird. Dazu gehören u. a. die Stilllegung aller Blöcke des Kernkraftwerks, was mittlerweile geschehen ist, denn der letzte noch laufende Block 3 wurde im Dezember 2000 abgeschaltet. Weiterhin die Maßnahmen zur Sicherung des ersten Sarkophags, zur Errichtung des Sarkophags 2 sowie die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle vom Standort.

- Ein Gebiet, in dem jede Tätigkeit, die Einfluss auf das Ökosystem hat, verboten ist. In diesem Gebiet soll die eigenständige Regeneration der Natur verfolgt werden.

- Ein Gebiet der begrenzten Nutzung, in dem Arbeiten zur Wiederherstellung des Ökosystems, insbesondere forstwirtschaftliche Tätigkeiten, sowie wissenschaftliche Arbeiten zugelassen sind.

- Eine Pufferzone, in der die radioaktive Belastung gering ist. Die Planung sah vor, dass in dieser Zone nach entsprechender Regeneration der Ökosysteme wieder eine wirtschaftliche Nutzung, insbesondere für Land- und Forstwirtschaft, zugelassen werden sollte.

In der Wirtschaftszone sollen leistungsfähige Kapazitäten vor allem für die Verarbeitung der radioaktiven Abfälle geschaffen werden. Dabei rechnet die Ukraine mit internationaler Unterstützung in Form von modernen Technologien und finanziellen Mitteln.

Durch umfangreiche Arbeiten zur Bewältigung der Folgen des Unfalls am Block 4, insbesondere durch intensive Dekontaminierungsarbeiten, waren 1986/87 aus ukrainischer Sicht die Voraussetzungen für einen Weiterbetrieb der Blöcke 1, 2 und 3 geschaffen worden. Für das Personal des Kraftwerks wurde die neue Siedlung Slavutich außerhalb der 30 km-Sperrzone errichtet. Nachdem 1991 durch einen Brand im Maschinenhaus der Block 2 schwer beschädigt wurde, fasste das Ukrainische Parlament den Beschluss, die in Betrieb befindlichen Blöcke 1 und 3 nach 1993 abzuschalten und den Block 2 in „Warteposition" zu halten. Am 20. Oktober 1993 revidierte die Ukraine allerdings auf Grund der angespannten Energiesituation des Landes diesen Beschluss und führte den Betrieb des Blockes 1 für drei weitere Jahre, den des Blockes 3 für sieben weitere Jahre fort. Erst im September 2000 verfügte der Präsident der Ukraine durch einen Erlass, nicht zuletzt auch wegen des großen internationalen Drucks, die endgültige Schließung des Kernkraftwerks.

Ende 2003 hatten die Stilllegungsarbeiten an den vier Blöcken des Kernkraftwerks Tschernobyl folgenden Stand: Bei dem durch den Unfall völlig zerstörten Block 4 wird an der Schaffung eines ökologisch sicheren Einschlusses gearbeitet. Block 1 wurde im November 1996 endgültig stillgelegt. Ende 1998 wurde die Genehmigung für die Beendigung des Betriebes und die Entladung des Kernbrennstoffs erteilt, die Entladung ist inzwischen erfolgt. Es laufen Arbeiten zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Block 2 ist seit dem Brand im Maschinenhaus im Oktober 1991 außer Betrieb. Im März 1999 fasste die Regierung der Ukraine den Beschluss zur Beendigung des Betriebes. Der Brennstoff wurde vollständig in die Abklingbecken entladen. Block 3 ist seit dem 06. Dezember 2000 durch Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (Leck im Kontrollbereich) außer Betrieb. Am 15. Dezember 2000 erfolgte die offizielle Beendigung des Betriebes und damit der Gesamtanlage durch den Erlass. Die Entsorgung des Kernbrennstoffs aus den Abklingbecken der Blöcke 1, 2 und 3 soll nach ukrainischen Einschätzungen erst 2008 abgeschlossen sein. Bis dahin befinden sich die drei Blöcke in der Nachbetriebsphase.

II. Strahlenexposition und gesundheitliche Auswirkungen

1. Aktivitätsfreisetzung und weiträumige Kontamination

Zusammenfassung

Nach dem Unfall am 26. April 1986 in Tschernobyl in der nördlichen Ukraine wurden in den ersten zehn Tagen große Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt. Durch die Hitze des Graphitbrandes gelangten vor allem gasförmige und leichtflüchtige radioaktive Stoffe in eine Höhe von über 1.500 Metern und verteilten sich in weiten Teilen Europas. Sofern Regen zeitlich mit der Ankunft der Luft aus Tschernobyl zusammenfiel, kam es zu hohen, oft fleckenförmigen Ablagerungen radioaktiver Stoffe am Boden. Besonders betroffen waren Weißrussland, die westlichen Gebiete Russlands und die nördliche Ukraine. Außerhalb der damaligen UdSSR wurden Gebiete in Skandinavien, Süddeutschland und Teile des Balkans stärker belastet. Die betroffenen Gebiete der ehemaligen Sowjetunion wurden anhand der Ablagerung von radioaktivem Cäsium-137 eingeteilt in Zonen mit 37 bis 185 kBq/m², 185 bis 555 kBq/m², 555 bis 1.480 kBq/m² und über 1.480 kBq/m². Gebiete mit Cäsium-137-Ablagerungen unter 37 kBq/m² – dies entspricht in etwa den Cäsium-137-Ablagerungen in Bayern – galten dort als unbelastet.

Aktivitätsfreisetzung: Ablauf und Verteilung

Auf Grund der schweren Beschädigung am Reaktor gelangten die radioaktiven Edelgase und ein Großteil der leichtflüchtigen Nuklide Jod und Cäsium sowie in geringerem Maße auch andere Spaltprodukte in die Atmosphäre. Durch die Hitze des Graphitbrandes wurden vor allem gasförmige und leichtflüchtige radioaktive Stoffe in Höhen von mehr als 1.500 Metern getragen und – abhängig von den Wetterverhältnissen – großflächig verteilt. Die Gesamtaktivität der freigesetzten radioaktiven Stoffe wird auf rund 12 x 10^{18}-Becquerel geschätzt.

Entsprechend der vorherrschenden Windrichtung wurden die freigesetzten radioaktiven Stoffe zunächst über Weißrussland und Polen in Richtung Schweden und Finnland verfrachtet. Nach der Drehung der Windrichtung erreichte ein Teil der Aktivität am 30. April und am 01. Mai auch Deutschland, insbesondere Bayern. Mit dieser Wolke wurden neben dem längerlebigen Cäsium-134 und -137 auch kurzlebigere radioaktive Stoffe wie Radiojod, Ruthen und Tellur verfrachtet. Radioaktives Strontium und Bestandteile des Reaktorbrennstoffes, insbesondere auch Plutonium, waren in Westeuropa nur in radioökologisch nicht relevanten Spuren messbar.

Es lassen sich vier Phasen der Aktivitätsfreisetzung unterscheiden:

(1) Durch die Explosion am 26. April wurden neben den Edelgasen auch nicht edelgasförmige Spaltprodukte und Brennstoffanteile aus dem Reaktorgebäude geschleudert. Wegen des starken thermischen Auftriebes gelangten sie z.T. in große Höhen.

(2) Die zweite Phase der Freisetzung dauerte vom 27. April bis zum 01. Mai. Durch die ersten Schutzmaßnahmen ging die Freisetzungsrate zunächst zurück. Die aus Hubschraubern abgeworfenen Abdeckungsmaterialien reduzierten den thermischen Auftrieb.

(3) In der Zeit vom 02. bis 05. Mai erhöhte sich auf Grund der Abdeckung die Temperatur im zerstörten Reaktor, was zu einem erneuten Anstieg der Schadstofffreisetzung führte.

(4) Mit der Inbetriebnahme eines Stickstoffkühlsystems sank die Freisetzung gegenüber der dritten Phase ab dem 05. Mai erheblich und nahm in der Folge kontinuierlich weiter ab.

Der Transport freigesetzter Schadstoffe wird durch die Strömungen bestimmt, die sich aus der großräumigen Luftdruckverteilung, den Windverhältnissen und den Niederschlägen ergeben. In den ersten Tagen wehte der Wind in Richtung Norden und Nordwest. Am 30. April schwenkte die Windrichtung nach Süden und Osten. In der Zeit vom 26. April bis zum 30. Mai fiel in der Unfallregion kein starker Niederschlag, da Regenwolken, die sich in diese Richtung bewegten, künstlich vorzeitig abgeregnet wurden. Insgesamt ergab sich dadurch eine komplexe Situation des atmosphärischen Transports der radioaktiven Stoffe und ihrer Ablagerung am Boden.

Betroffene Regionen

Die am Unfalltag freigesetzten Schadstoffe gelangten durch den vorherrschenden Nordwestwind über Weißrussland in den skandinavischen Raum und erreichten am 28. April das Baltikum, Schweden und Finnland. Die Emissionen des 27. April zogen zunächst über Polen nach Osten, wo sie wetterbedingt nach Süd- und Westdeutschland umgelenkt wurden. Im weiteren Verlauf überquerte diese Wolke dann Nordfrankreich und Großbritannien. Am 28. April und in der ersten Hälfte des Folgetages wurden die Emissionen in die östlich des Reaktors gelegenen sowjetischen Landesteile transportiert. Danach änderten sich die Wetterbedingungen erneut: Für rund 36 Stunden zog die radioaktive Wolke über den Balkan und Italien in den Südosten und Norden Deutschlands. Ab dem 01. Mai gelangten die Emissionen zunehmend in südliche Richtungen und erreichten den Balkan und Vorderasien. Am

03. Mai wurde die Wolke in Japan, ab dem 05. Mai in Kanada und in den USA gemessen. Anzeichen für das zweite Eintreffen der Wolke nach einmaligem Erdumlauf wurden in Deutschland am 25. Mai auf dem Schauinsland bei Freiburg beobachtet. In den Folgemonaten sank die Aktivitätskonzentration in der Luft kontinuierlich und war in Deutschland zum Jahresende 1986 auf einem Niveau wie vor dem Unfall. Auf der südlichen Erdhalbkugel wurden keine radioaktiven Stoffe aus dem Unfall gemessen.

Bedingt durch verschiedene Wettersituationen traten höchst unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen in der Luft, auf dem Boden sowie sekundär in den verschiedenen Umweltbereichen und Lebensmitteln auf. Sofern Regen zeitlich mit der Ankunft der kontaminierten Luft aus Tschernobyl zusammenfiel, kam es zu hohen Jod- und Cäsiumablagerungen. Die Zusammensetzung der radioaktiven Stoffe im Niederschlag ist dabei anders als im Reaktor. Bei der Freisetzung und bei der Ausbreitung kam es in Abhängigkeit von der Flüchtigkeit der betreffenden chemischen Elemente und ihrer Verbindungen zu einer Fraktionierung. Die Strahlenbelastung wird nach der Anfangsphase, in der das radioaktive Jod im Vordergrund stand, durch das Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren bestimmt. Ablagerungen von radioaktivem Strontium sind außerhalb der 30 km-Zone nur in der russischen Region Bryansk sowie in Weißrussland im Süden und Osten von Gomel, im Norden von Minsk und in der Region Orel nennenswert nachzuweisen. Bezüglich einer Strahlenexposition durch andere Brennstoffanteile, insbesondere auch bezüglich des Plutoniums, sieht man in den noch bewohnten Gebieten außerhalb der 30 km-Zone um den zerstörten Reaktor keine mit Cäsium vergleichbaren Probleme.

Die betroffenen Gebiete der ehemaligen Sowjetunion wurden anhand der Bodenablagerung von Cäsium-137 in Zonen mit 37 bis 185 kBq/m², 185 bis 555 kBq/m², 555 bis 1.480 kBq/m² und über 1.480 kBq/m² eingeteilt. Gebiete mit unter 37 kBq/m² galten dort als nahezu unbelastet.

Land Region	Höhe der Belastung in kBq m^{-2} / Belastete Fläche in km^2				
	37 - 185	185 - 555	555 - 1.480	> 1.480	Gesamt
Weißrussland					
Gomel	16.900	6.700	2.800	1.625	
Mogilev	5.500	2.900	1.400	525	
Brest	3.800	500			
Grodno	1.700	12			
Minsk	2.000	48			
Vitebsk	35				
Gesamt	29.900	10.200	4.200	2.200	46.500
Russland					
Bryansk	6.750	2.630	2.130	310	
Kaluga	3.500	1.420			
Tula	10.320	1.270			
Orel	8.840	130			
Andere	20.350				
Gesamt	49.760	5.450	2.130	310	57.650
Ukraine	37.200	3.200	900	600	41.900
Andere	60				60
Gesamt km^2	116.920	18.850	7.230	3.110	146.110

Quelle: The atlas of CS 137 contamination of Europe, 1996

Tabelle 02: Ablagerung von radioaktivem Cäsium-137 in Gebieten der ehemaligen Sowjetunion

In Deutschland kam es durch heftige lokale Niederschläge im Bayerischen Wald und südlich der Donau zu den höchsten Aktivitätsablagerungen. Mit Werten von bis zu über 100 kBq/m² Cäsium-137 waren auf Boden und Bewuchs südlich der Donau großflächig 10 - 50 kBq/m² Cäsium-137 und bis zu mehrere 100 kBq/m² Jod-131 messbar. Nördlich der Donau erreichten die gemessenen Werte selten mehr als 4 kBq/m² Cäsium-137 und maximal etwa 20 kBq/m² Jod-131.

Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung

Längerfristige Restriktionen für Bauern und Bewohner ergaben sich in Gebieten mit Cäsiumablagerungen von über 185 kBq/m². Dies betrifft in Weißrussland 16.600 km², in der russischen Föderation 8.000 km² und in der Ukraine 4.700 km². Über 555 kBq/m² Cäsium-137 war in allen Republiken zusammen auf etwa 10.000 km² mit 800 Siedlungen und etwa 270.000 Einwohnern messbar (s. Tabelle 02). In Gebieten mit einer Kontamination von ursprünglich über 37 kBq/m² Cäsium-137 leben derzeit etwa 6 Millionen Menschen, davon 1,4 Millionen in Gebieten mit zunächst mehr als 185 kBq/m² Cäsium-137. Ein Fünftel bis Sechstel der Bevölkerung sind Kinder.

Gebiete mit einer Cäsium-137-Ablagerung über 555 kBq/m² wurden in der Ukraine, Russland und Weißrussland zu „Zonen strikter Kontrolle" erklärt. Neben Evakuierungen, die wohl nur in der 30 km-Zone um den zerstörten Reaktor zwangsweise erfolgten, wurden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenbelastung durchgeführt. Am Wichtigsten waren Aufenthaltsempfehlungen (möglichst Aufenthalt in geschlossenen Räumen) und Verbrauchseinschränkungen von lokal erzeugten Nahrungsmitteln. Ferner wurden Maßnahmen zur Reduzierung des Transfers von radioaktiven Stoffen in Nahrungsmitteln (Stilllegen von landwirtschaftlichen Flächen, Unterpflügen sowie der verstärkte Anbau von Produkten, die nicht zur Ernährung dienen) angeordnet. In einigen Dörfern wurde die obere Erdschicht abgetragen sowie Plätze und Straßen asphaltiert oder mit Kunststoff beschichtet. Über 500 Brunnen wurden neu gebohrt. Zum Schutz des Kiew-Wasserreservoirs wurden Dämme errichtet. In der Ukraine wurde einige Jahre der Schulbesuch in der Woche auf sechs Tage mit je neun Stunden verlängert, was die äußere Bestrahlung der Schulkinder rechnerisch um 40 Prozent verminderte.

Zur Risikoreduktion und zur Entscheidung über Umsiedlungen haben die Behörden das sogenannte „350-mSv-Konzept" aufgestellt. Durch administrative Maßnahmen, Aufenthalts- und Verbrauchsbeschränkungen, Nahrungsmittelimporte und ggf. auch durch Umsiedlungen sollte die Strahlenbelastung der Bevölkerung soweit begrenzt werden, dass die Strahlenexposition im gesamten Leben bei keinem Betroffenen den Wert von 350 mSv überschreitet. Nach der derzeitigen Risikoabschätzung geht man davon aus, dass eine Belastung von 350 mSv das Krebssterblichkeitsrisiko von (spontan, ohne Strahlung) 20 - 25 % um etwa 2 % auf 22 - 27 % erhöht. Dies entspricht einem durchschnittlichen Lebenszeitverlust von zwei bis drei Monaten.

2. Strahlenrisiko und Strahlenbelastung einzelner Gruppen

Zusammenfassung

Bezüglich der Strahlenbelastung und der daraus resultierenden Gefährdung kann zwischen Helfern am Unfallort selbst und Bewohnern in der Nah- und Fernumgebung des zerstörten Reaktors unterschieden werden. Knapp 500 Mitglieder von Betriebspersonal und Feuerwehren, die in den ersten Stunden und Tagen direkt in der Nähe des offenen Reaktors gearbeitet haben, erhielten sehr hohe, z.T. tödliche Strahlendosen. Ferner wurde ein Teil der Liquidatoren (Begriff für Aufräumarbeiter) in den ersten beiden Jahren (1986 und 1987) stark belastet.

Bei der Strahlenexposition der Bevölkerung muss die anfänglich hohe Belastung mit radioaktivem Jod und die Kontamination der Böden mit Cäsium-137 berücksichtigt werden. In den ersten Wochen kam es durch Einatmung des radioaktiven Jods und durch den Genuss jodverseuchter Nahrungsmittel zu einer hohen Strahlenbelastung der Schilddrüse. Dies gilt insbesondere für zehntausende Kinder aus den stark vom radioaktiven Niederschlag betroffenen Regionen Weißrusslands, der nördlichen Ukraine und des westlichen Anteils der russischen Föderation, für die sinnvolle Schutzmaßnahmen – wie das Verkaufsverbot kontaminierter Milch und die Schilddrüsenblockade mit stabilem Jod – oft zu spät oder überhaupt nicht durchgeführt wurden.

Für die langfristige Exposition hat das radioaktive Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren eine größere Bedeutung. Die Kontamination der Böden führt zu einer anhaltenden äußeren Bestrahlung und zu einer inneren Exposition durch den Verzehr belasteter Nahrungsmittel.

Aktuelle Abschätzung des Strahlenrisikos

Akute Strahlenschäden treten nur nach hohen Strahlenbelastungen auf. Hierbei kommt es durch die Schädigung von Blutbildung, Magen-Darm-System, Gehirn oder durch strahlenbedingte Verbrennungen zu sehr schweren akuten Krankheitsbildern. Kleinere Strahlendosen, die keine akuten Krankheitssymptome auslösen, werden wegen

der Auslösung zusätzlicher Krebs- und Leukämieerkrankungen und als Ursache von ererbten angeborenen Missbildungen gefürchtet.

Auf der Grundlage langfristiger epidemiologischer Untersuchungen, insbesondere der Untersuchungen an den Atombomben-Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, wurden Risikowerte für die strahlenbedingte Krankheitsentstehung ermittelt. Für Strahlenbelastungen unter 100 mSv = 0,1 Sv können allerdings, wegen der dabei relativ geringen, bisher nicht sicher beobachteten strahlenbedingten Veränderungen der Erkrankungsraten, lediglich Abschätzungen durchgeführt werden. Dabei wird eine lineare Beziehung zwischen Strahlenbelastung und dem Auftreten von Erkrankungen angenommen. Diese Annahme ist bisher naturwissenschaftlich nicht bewiesen und wurde zunächst aus Vorsorgegründen für den Strahlenschutz getroffen.

Eine Strahlenbelastung von einem Sievert (Sv) führt zu einer Erhöhung des Risikos, an Krebs einschließlich Leukämie zu sterben, um 5 bis 10 Prozent. Der niedrigere Wert (5% je Sv) gilt für eine Belastung, die wie in Tschernobyl über eine längere Zeit verteilt auftritt. Der höhere Wert (10% je Sv) trifft für eine kurzzeitige Bestrahlung wie bei den Atombombenexplosionen in Hiroshima oder Nagasaki zu. Das Risiko für eine strahlenbedingte Missbildung in einer der nachfolgenden Generationen wird auf etwa einen Fall je 100 Sv (Kollektivdosis = Summe der Einzeldosen) abgeschätzt. Diese Angaben zum strahlenbedingten Krebssterblichkeitsrisiko beschreiben das mittlere Risiko für die Gesamtbevölkerung. Für Kinder ist im Vergleich zu Erwachsenen eine um den Faktor 2 höhere und für Kleinkinder eine bis zu 5-fach höhere Strahlenempfindlichkeit anzunehmen. Bei einer Belastung mit 100 mSv lässt sich (unter der Annahme einer linearen Beziehung zwischen der Strahlung und Risiko) eine zusätzliche Krebssterblichkeitsrisiko von 0,5 - 1 % berechnen.

Bezogen auf den Verlust an Lebenszeit bedeuten 100 mSv statistisch einen durchschnittlichen Lebenszeitverlust von knapp einem Monat. Zum Risikovergleich kann der Lebenszeitverlust durch Autounfälle (207 Tage), 15 %-iges Übergewicht (777 Tage) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen (2.043 Tage) herangezogen werden. Der höchste Lebenszeitverlust ist bei selbstgewählten Risiken (Rauchen bei Männern: 2.405 Tage, Alkoholismus > 4.000 Tage) zu beobachten.

Strahlenrisiko und Strahlenbelastung einzelner Gruppen

Die höchste Strahlenbelastung erhielten Mitglieder der Betriebsmannschaft und Feuerwehrleute, die sich während und unmittelbar im Anschluss an den Unfall im Reaktorblock aufhielten. Ferner war ein Teil der 800.000 so genannten „Liquidatoren", die in der 30 km-Zone um den Reaktor für Aufräumarbeiten eingesetzt wurden, hohen Strahlenexpositionen ausgesetzt.

Liquidatoren

Neben Mitarbeitern des Kraftwerks und „Notfall-Freiwilligen" wie den Feuerwehrleuten kamen im Laufe der Jahre bis zu 800.000 Personen, darunter knapp 300.000 Armeeangehörige, in der Nah- und Fernumgebung des Reaktors bei „Aufräumarbeiten" zum Einsatz. Diese Personengruppe wurde unter dem aus dem russischen abgeleiteten Wort als „Liquidatoren" bekannt. In den jetzt national-geführten Registern sind etwa 400.000 Personen erfasst.

Bei den „Liquidatoren" handelt es sich also um Feuerwehrleute, Soldaten, Techniker, Arbeiter, Ingenieure sowie Mediziner und Wissenschaftler, die teils in den ersten Wochen, Monaten oder zum Teil auch erst Jahre nach dem Unfall zum Einsatz gekommen sind. Der Begriff Liquidator schließt Personen ein, die mit hoher Strahlenbelastung direkt an Reinigungsarbeiten und am Bau des Sarkophags teilnahmen sowie viele andere, wie z. B. Ärzte, Köche und Dolmetscher, die in den kontaminierten Gebieten arbeiteten, aber nur wenig mit Strahlung belastet wurden.

Unter dem Gesichtspunkt einer Strahlenwirkung interessieren vor allem die 226.242 im zentralen Register erfassten Liquidatoren, die von 1986 bis 1987 in der 30 km-Zone eingesetzt wurden. Deren durchschnittliche Strahlenexposition wird für 1986 mit 170 mSv (nationale Register) bzw. 80 mSv (Zentralregister) und für 1987 mit 130 mSv (nationale Register) bzw. 50 mSv (Zentralregister) angegeben. Eine genaue individuelle Dosis ist oft nicht bekannt. Auf Grund der in den ersten Monaten nur mit Stichproben durchgeführten Strahlenüberwachung dürfte die Strahlenbelastung bei einigen tausend Personen oberhalb des von staatlicher Seite bei 250 mSv gesetzten Limits (bei bis zu etwa 500 mSv) liegen. Bei einem kleinen Teil der Liquidatoren kann es durch Einatmen radioaktiver Stoffe und durch Kontamination von Haut und Augen zusätzlich zu höheren Teilkörperdosen gekommen sein.

Evakuierte aus der 30 km-Zone

Wegen der hohen Strahlenbelastung in der Nahumgebung wurden etwa 135.000 Einwohner aus einer Zone mit einem Radius von 30 km um den zerstörten Reaktor umgesiedelt. Die 49.000 Einwohner der drei Kilometer vom Reaktor entfernten Stadt Pripyat wurden 36 Stunden nach Beginn der Katastrophe evakuiert, die restliche 30 km-Zone wurde nach acht bis zehn Tagen geräumt.

Auch in Pripyat hatten die Menschen bis zur Evakuierung bereits in größerem Umfang radioaktives Jod-131 eingeatmet, das sich in der Schilddrüse anreichert und so vor allem zu einer Strahlenbelastung der Schilddrüse führt. Kaliumjodidtabletten zum Schutz der Schilddrüse erhielten selbst in Pripyat nur etwa 2/3 der Einwohner, davon weniger als die Hälfte die Tabletten am ersten Tag, an dem sie erforderlich gewesen wären. Für die Bewohner der Stadt Pripyat wird bis zur Evakuierung in den ersten 36 Stunden eine Ganzkörperbelastung zwischen 15 und 50 mSv, eine Hautbelastung von 100 bis 200 mSv sowie eine Schilddrüsendosis durch Jodinhalation zwischen 15 und 300 mSv abgeschätzt. Genaue Daten für die Strahlenbelastung der Schilddrüse sind nicht verfügbar, da nur etwa 10 % der Betroffenen im Mai und Juni 1986 „ausgemessen" wurden und retrospektiv nur etwa die Hälfte dieser Messungen verwertbar waren.

Die Ganzkörperbelastung der anderen Bewohner der 30 km-Zone, die zwischen dem 03. und 05. Mai 1986 evakuiert wurden, betrug in der Regel weniger als 250 mSv, in Einzelfällen kann es jedoch sicher auch zu Dosen von bis zu 400 mSv gekommen sein. Als Kollektivdosis wurden für alle aus der 30 km-Zone evakuierten 135.000 Personen bis zur Evakuierung 16.000 Man-Sv abgeschätzt. Die Schilddrüsendosen für Kinder lagen bei bis zu 3 Sv, der Durchschnittswert bei etwa 0,3 Sv. Die derzeitige Strahlenexposition in der 30 km-Zone ist in Abhängigkeit von der Belastung der Böden und der durchgeführten Maßnahmen lokal sehr unterschiedlich. Auch fast 20 Jahre nach dem Unfall ist eine Rückbesiedelung nur eingeschränkt möglich und bisher nicht angedacht.

Bewohner hoch belasteter Gebiete außerhalb der 30 Km-Zone

Die Schilddrüsenbelastungen der Menschen in den hoch belasteten Gebieten außerhalb der 30 km-Zone sind vergleichbar mit den der Evakuierten.

Im Gegensatz zur aus der 30 km-Zone evakuierten Bevölkerung nahmen die Bewohner der hoch belasteten Gebiete das radioaktive Jod dort überwiegend durch den Verzehr verseuchter Milch und über einen deutlich längeren Zeitraum auf. Ein Großteil der Schilddrüsenbelastungen hätte durch rechtzeitige Information, Verzehrbeschränkungen und Import weniger belasteter Nahrungsmittel vermieden werden können.

Für die Ganzkörperbestrahlung ist neben der anfänglichen Belastung durch radioaktives Jod auf lange Sicht die Verseuchung der Böden mit Cäsium-137 entscheidend. Die Abschätzung der individuellen Strahlenbelastung auf Grund der Verseuchung der Böden wird anhand komplexer Modelle errechnet, die sowohl die äußere Bestrahlung und die innere Bestrahlung durch Aufnahme belasteter Nahrungsmittel berücksichtigt. Kinder erhalten bei gleicher Bodenverseuchung wegen ihrer geringeren Größe und ihrer anders zusammengesetzten Ernährung (mit einem größeren Milchanteil) eine höhere Strahlendosis.

Tabelle 04 gibt einen Überblick über die seit 1986 bis 1995 aufgetretenen Strahlenbelastungen in den vom radioaktiven Niederschlag betroffenen Gebieten Weiß-

Register Periode	Anzahl erfasster Arbeiter	Anteil in % mit bekannter Dosis	Strahlenbelastung, effektive Dosis in mSv			
			Mittelwert	Median	75 % Durchschnittswert	95 % Durchschnittswert
Weißrussland						
1986 - 1987	31.000	28	39	20	67	111
1986 - 1989	63.000	14	43	24	67	119
Russland						
1986	69.000	51	169	194	220	250
1987	53.000	71	92	92	100	208
1988	20.500	83	34	26	45	94
1989	6.000	73	32	30	48	52
1986 - 1989	148.000	63	107	92	180	240
Ukraine						
1986	98.000	41	185	190	237	326
1987	43.000	72	112	105	142	236
1988	18.000	79	47	33	50	134
1989	11.000	86	35	28	42	107
1986 - 1989	170.000	56	126	112	192	293

Quelle: UNSCEAR 2000

Tabelle 03: In den nationalen Registern erfasste Liquidatoren (Aufräumarbeiter) und deren Strahlenbelastung

^{137}Cs Ablagerung (kBq m^{-2})	Bevölkerung (Personen)		Kollektivdosis (man Sv)					
			äußere Bestrahlung		Bestrahlung der Nahrungsmittel		Gesamt	
Weißrussland								
37 - 185	1.543.514		3.682		2.409		6.091	
185 - 555	239.505		2.521		1.945		4.466	
Ø > 555	97.593		3.433		1.150		4.583	
Total	1.880.612		9.636		5.504		15.140	
Russland								
37 - 185	1.654.175		3.778		3.009		6.787	
185 - 555	233.626		2.065		1.183		3.248	
Ø > 555	95.474		2.611		799		3.410	
Total	1.983.275		8.454		4.991		13.445	
Ukraine								
	Land	Stadt	Land	Stadt	Land	Stadt	Land	Stadt
37 - 185	881.800	306.800	3.715	999	6.610	717	10.330	1.717
185 - 555	40.400	66.300	610	769	375	140	986	909
Ø >555	300		11		13,8		24,8	
Total	922.500	373.100	4.336	1.768	7.000	857	11.340	2.626

Quelle: UNSCEAR 2000

Tabelle 04: Strahlenbelastung der Bevölkerung (Kollektivdosis) 1986 - 1995 (ohne Schilddrüsendosis)

russlands, der Ukraine und Russlands. Bedingt durch die physikalische, biologische und ökologische Halbwertszeit der radioaktiven Stoffe, vorwiegend des Cäsiums-137, wurden in den ersten 10 Jahren (also bis 1995) bereits über 90 % der möglichen Lebenszeitdosen aufgenommen.

Die durchschnittliche Strahlenbelastung (Ganzkörperdosis) lässt sich aus der o. g. Tabelle mit der Formel Kollektivdosis / Zahl der Personen einfach errechnen. Der Durchschnittswert liegt auch in den sehr hoch belasteten Zonen (mit Cäsiumablagerungen über 555 kBq/m²) deutlich unter 100 mSv. Bei Einzelpersonen mit besonderen Ernährungsgewohnheiten (z. B. viel Pilze) oder besonderen Tätigkeiten (z. B. Waldarbeiter) kann es allerdings zu Dosen über 100 mSv gekommen sein.

Die Kollektivdosis der Bevölkerung im gesamten europäischen Teil der UdSSR (75 Mio. Einwohner, einschließlich Ukraine und Weißrussland) wurde von sowjetischer Seite zunächst mit bis zu 2 Mio. Man-Sv abgeschätzt. Die von russischer Seite zunächst getroffenen Abschätzungen waren insbesondere bezüglich der Belastung durch den Verzehr von Nahrungsmitteln etwas zu hoch, wurden aber prinzipiell im Rahmen vieler internationaler Messprojekte bestätigt.

3. Gesundheitliche Folgen

Zusammenfassung

Neben den direkt durch die Strahlenwirkung erklärbaren Gefahren eines vermehrten Auftretens von Krebserkrankungen und Missbildungen führte die Katastrophe und der nahezu zeitgleich erfolgende Zusammenbruch der UdSSR zu massiven sozialen und psychischen Belastungen. Mit dem Zusammenbruch des politischen und sozialen Systems war zudem eine massive Verschlechterung der gesundheitlichen Versorgung verbunden. In nahezu allen Folgestaaten der Sowjetunion wurde nach 1985 ein Absinken der Lebenserwartung bei Männern beobachtet.

Neben den wirtschaftlichen Folgen des Unfalls führte vor allem der Mangel an glaubwürdigen Informationen (mit dem Versuch der sowjetischen Propaganda, die Gefahr herunterzuspielen einerseits und übertriebenen Schreckensszenarien andererseits) zur Auslösung von massiven Ängsten und Sorgen. Der wiederholt berichtete Anstieg von nicht strahlenbedingten Allgemeinerkrankungen, Alkoholismus, Selbstmord und psychosomatischen Erkrankungen ist daher auch im Zusammenhang mit dem Unfall und seinen indirekten Folgen zu betrachten.

Juri M. Schtscherbak, Wissenschaftler in Kiew, Gründungsmitglied der ukrainischen „Grünen Partei" und späterer Botschafter der Ukraine in den USA beschrieb 1996 eindrucksvoll die gravierenden Auswirkungen der Kontamination, die durch den Unfall entstandenen wirtschaftlichen Folgen und die Folgen der Umsiedlungen mit Zerstörung sozialer und ethnischer Kulturen, „was noch in Generationen Nachwirkungen haben wird". Als Augenzeuge berichtet er auch über menschlich durchaus verständliche, radiologisch retrospektiv aber sicher nicht gerechtfertigte Panikreaktionen im – eher mit Bayern vergleichbaren – kaum strahlenbelasteten Kiew.

Wenn heute gelegentlich psychosomatische Erkrankungen, Alkoholismus und Selbstmord in Zusammenhang mit Strahlenwirkungen genannt werden und massenhaft auftretende, neue Strahlenkrankheiten („Tschernobyl-AIDS") postuliert werden, fehlt hierfür die wissenschaftliche Grundlage. Sorgen bezüglich möglicher Strahlenfolgen sind berechtigt. Übertriebene Ängste, die sich dann selbst wieder auf die Gesundheit auswirken können, lassen sich nicht durch Beschwichtigung und Totschweigen, sondern nur durch glaubhafte Information bewältigen. Die journalistische Wahrnehmung und die nachfolgende Information durch die Medien wurde dieser wichtigen Aufgabe leider oft nicht gerecht.

Akute Strahlenkrankheit bei Helfern der ersten Stunden und Tage

Es ist offensichtlich, dass die Mitglieder der Betriebsmannschaften und die Feuerwehrleute, die sich zum Zeitpunkt des Unfalls bzw. unmittelbar im Anschluss daran im Reaktorblock aufhielten, die größte Strahlenbelastung erhielten. Nach russischen Angaben wurden 237 Personen wegen des Verdachts auf eine akute Strahlenerkrankung behandelt. Bei 134 Personen bestätigte sich die Diagnose, 28 Betroffene verstarben. Drei weitere frühe Todesfälle sind Verbrennungen und Herzversagen zuzuschreiben. Bis 1998 sind weitere 11 Überlebende mit einer Dosis zwischen 1,3 und 5,2 Gray verstorben. In einem Teil der Fälle ist ein direkter Zusammenhang mit der Strahlenbelastung offensichtlich. Als Todesursache wird in drei Fällen eine Herzerkrankung, in zwei Fällen ein myelodysplastisches Syndrom, sowie in zwei weiteren Fällen eine Leberzirrhose und in je einem Fall eine Lungentuberkulose, eine Lungengangrän, eine Fettembolie sowie eine myeloische Leukämie angegeben. Ferner wird bei diesem Personenkreis im Zusammenhang mit Strahlung über akute Hautverbrennungen mit Vernarbungen und vermehrten Trübungen der Augenlinsen (Strahlenkatarakt) berichtet. Die akuten Erkrankungen waren Folge der hohen Strahlenbelastung des ganzen Körpers mit einer strahlenbedingten Schädigung des Knochenmarks und eines strahlenbedingten Versagens des Magen-Darm-Traktes. Die Hoffnungen auf eine lebensrettende Wirkung von Knochenmarktransplantationen haben sich leider nicht bewahrheitet. Soweit bekannt, bestehen bei einem Großteil der Betroffenen unverändert erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigungen. Das Krebssterblichkeitsrisiko ist durch die Strahlung um etwa 5 - 10 % je Sievert bzw. Gray erhöht.

Liquidatoren

Die Überwachung des Schicksals der Liquidatoren ist schwierig, da diese Menschen inzwischen wieder in ihre Heimatländer (Ukraine, Russland, Weißrussland und baltische Staaten) zurückgekehrt oder gar nach Aserbaidschan, Armenien und Israel emigriert sind. Die ärztliche Überwachung wird auch dadurch erschwert, dass die zunächst zentral geführte Kartei nach Auflösung der UdSSR in nationale Karteien aufgeteilt wurde und mit Fehlregistrierungen zu rechnen ist, da in manchen Staaten Personen mit Liquidatorstatus in den Genuss verschiedener Vorteile (zu denen im Prinzip auch die regelmäßige ärztliche Untersuchung gehört) kamen.

Bezüglich des Krankenstandes berichten die meisten Autoren von einem erheblichen Übermaß an kardiovaskulären Erkrankungen, Magen-Darm-Problemen, Lungenfunktionsstörungen und neuropsychologischen Gesundheitsstörungen. Diese werden zumeist im Zusammenhang mit der psychischen Belastung, Ängsten und der allgemein schlechten wirtschaftlichen Lage diskutiert. Da bei einem Teil der Liquidatoren, vor allem aber bei den Helfern der ersten Stunden, hohe Teilkörperdosen aufge-

Schweregrad	Dosis (Gray)	Behandlungsfälle in		Todesfälle	Überlebende
		Moskau	Kiew		
leicht	0,8 - 2,1	23	18	0 (0%)	41
mittel	2,2 - 4,1	44	6	1 (2%)	49
schwer	4,2 - 6,4	21	1	7 (32%)	15
sehr schwer	6,5 - 16	20	1	20 (95%)	1
gesamt	0,8 - 16	108	26	28	106

Quelle: Ilyin, L.A. Realities and Mythos of Chernobyl, Moscow, 1994

Tabelle 05: Helfer der ersten Stunden mit akutem Strahlensyndrom, Strahlenbelastung in Gray

treten sein könnten, sind Einzelfallberichte über strahlenbedingte Augenlinsentrübungen, chronische Lungen- und Schleimhautveränderungen glaubhaft.

Zwischenzeitlich bemühten sich neben den nationalen Gesundheitseinrichtungen mehrere supranationale Projekte um die Nachverfolgung des Gesundheitszustandes der Liquidatoren. Bisher war – so das UNO-Wissenschaftskomitee für Strahlenwirkungen (UNSCEAR 2000) – überwiegend keine generelle Erhöhung von Gesamt- und Krebssterblichkeit und Leukämieerkrankungsrate auffällig. Einzelne Berichte zeigen jedoch davon abweichend eine erhöhte Selbstmordrate, eine überhöhte allgemeine Sterblichkeit, eine verstärkte Krankheitsanfälligkeit und bei der Untergruppe in der Ukraine auch eine erhöhte Leukämierate.

Im April 1995 veröffentlichte der ukrainische Gesundheitsminister Serdjuk eine Statistik, nach der seit dem Unfall 6.000 der Liquidatoren an den Strahlenfolgen verstorben seien. Eine Überprüfung dieser Abschätzung erwies sich als schwierig, da weder die Gesamtzahl der Liquidatoren in der Ukraine noch deren Altersverteilung bekannt waren. Ob die angegebene Zahl über der normalerweise zu erwartenden Sterberate liegt, ist daher ungewiss. Die in den Medien 1995/96 immer wieder genannte Zahl von 7.000 Todesfällen unter allen Liquidatoren entsprach in etwa der natürlichen Sterblichkeit (nimmt man zum Vergleich deutsche Sterblichkeitsstatistiken, dann ergäbe sich für eine Gruppe von 600.000 Männern im Alter zwischen 25 und 35 im entsprechenden Zeitraum eine Zahl von 7.680 Sterbefällen) und lässt sich nach heutigem Wissen nicht mit der Strahlenbelastung in Verbindung bringen. Es gibt jedoch einige Hinweise darauf, dass möglicherweise auf Grund der psychischen Belastungen Alkoholismusfolgen und Selbstmorde unter den ehemaligen Liquidatoren deutlich zugenommen haben. Auch wenn solche Erkrankungen mit Sicherheit nicht durch Strahlung verursacht werden, so sind sie doch zum Teil dem Reaktorunglück und seinen Auswirkungen auf die Lebensbedingungen zuzuschreiben.

Erkrankungen bei der Bevölkerung

Die Strahlenbelastungen durch den Unfall waren weder in der 30 km-Zone noch in den hoch belasteten Gebieten intensiv genug, um akute strahlenbedingte Erkrankungen auszulösen.

Völlig unabhängig von Cäsiumablagerungen, Nahrungsmittelkontamination und der Strahlenbelastung stellte man wiederholt einen Anstieg von Allgemeinerkrankungen fest, die nach heutigem Kenntnisstand der Medizin sicher nicht durch Strahlen verursacht werden. Die Ursachen für einen Anstieg von Allgemeinerkrankungen sehen Experten in sekundären Folgen des Unfalls, in den wirtschaftlichen Auswirkungen des Unfalls und des Zerfalls der Sowjetunion. Aus medizinischer Sicht sind die Folgen einer nicht ausreichenden Lebensmittelversorgung und auch die Folgen von psychischem Stress, bedingt durch berechtigte Ängste und unbegründete Befürchtungen, zu berücksichtigen. Fehlende glaubhafte Informationen und das Gefühl im Stich gelassen zu werden, waren mit Sicherheit auch eine Ursache für Krankheiten.

Über öffentliche Medien bereits kurz nach dem Unfall verbreitete Meldungen, die auf eine allgemeine Zunahme von Leukämien und Krebserkrankungen in den betroffenen Gebieten hinweisen, sind – mit Ausnahme der Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern – spekulativ.

Berichte über regionale Häufungen bestimmter Krankheitsbilder können – völlig unabhängig von der Ursache – durchaus zutreffend sein. Neben einem Zusammenhang mit der Strahlenbelastung müssen immer die Art der Erfassung, die Qualität der Diagnosen, die gravierenden Einflüsse der Altersstruktur und sekundäre Auswirkungen des Unfalls berücksichtigt werden.

In den meisten Folgestaaten der Sowjetunion wurde nach 1985 ein zum Teil rapides Absinken der Lebenserwartung bei Männern beobachtet. Dies erschwert alle statistischen Untersuchungen im Hinblick auf die Folgen von Tschernobyl. Im Gegensatz dazu sind bei der Lebenserwartung der weiblichen Bevölkerung (73 Jahre) und bei der Säuglingssterblichkeit keine großen Veränderungen sichtbar. Die erhöhte Sterblichkeit, besonders der mittleren männlichen Erwachsenenjahrgänge, wird auf eine Zunahme von nichtnatürlichen Todesursachen (Unfälle, Suizide) sowie auf eine Zunahme von Herzkreislauferkrankungen und Alkoholfolgen zurückgeführt. Die Lebenserwartung für männliche Neugeborene in der Russischen Föderation betrug im Jahr 2000 lediglich 61 Jahre. Dies sind vier Jahre weniger als 1985 und entspricht sogar einer geringeren Lebenserwartung als 1950.

Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern

Die Häufigkeit von Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern hat ab 1990 deutlich zugenommen. Während die relative altersbezogene Neuerkrankungsrate je 100.000 Kinder und Jahr zwischen 1986 und 1989 noch bei 0,1 bis 0,3 Erkrankungen lag, stieg sie 1990 bereits deutlich an. Der Anstieg war zunächst in Weißrussland deutlich. Besonders betroffen war hier die Umgebung der Stadt Gomel. Die Neuerkrankungsrate erreichte (mit Berücksichtigung der Fälle bei Jugendlichen im Alter von 15 - 18 Jahren) 1995 ihr Maximum. Beim Blick auf das Alter wird die besondere Empfindlichkeit von Kleinkindern deutlich. Bis 1998 sind, soweit bekannt, drei der zwischenzeitlich über 1.000 erkrankten Kinder an der Erkrankung verstorben.

Berichte über eine Zunahme der Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern im 300 km von Tschernobyl entfernten Landkreis Gomel erreichten die westliche Welt bereits Ende 1990. Sie wurden zunächst mit sehr viel Skepsis betrachtet. Die Latenzzeit von nur 4 bis 5 Jahren schien vielen Experten zu kurz zu sein. Den Anstieg der Erkrankungen hielt man zunächst (in Anbetracht der guten Datenlage für sehr niedrige Langzeitrisiken nach Radiojodtherapie beim Erwachsenen) für nicht glaubhaft. Oft wurde argumentiert, dass den bisherigen Erfahrungen nach zunächst die Leukämieerkrankungen zunehmen müssten.

Die scheinbare Diskrepanz zwischen den nicht vermehrt aufgetretenen Leukämieerkrankungen und der deutlichen Zunahme von Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern lässt sich mit der stoffwechselbedingten Ansammlung des radioaktiven Jods in der Schilddrüse erklären, das dort zu sehr hohen Strahlenbelastungen führte, die im Knochenmark (dem sensiblen Organ für die Leukämieerkrankung) nicht angefallen sind. Ob neben dem Alter der Kinder und der Strahlenbelastung weitere Faktoren bei der Entstehung der auch sehr aggressiv wachsenden Schilddrüsenkrebserkrankungen eine Rolle spielen, muss offen bleiben. Gesichert ist, dass die häufig viel zu spät erfolgte Gabe hochdosierter Jodtabletten die Schilddrüsenbelastungen erhöhen kann und vermutlich auch erhöht hat. Die in Polen durchgeführte rechtzeitige Gabe der Jodtabletten hat dort eine Zunahme von Schilddrüsenkrebserkankungen erfolgreich verhindert.

Eine Übersicht über eine Vielzahl von Untersuchungen zur Thematik Schilddrüsenkarzinome nach Tschernobyl findet sich in „Radiation and Thyroid cancer“ von 1999. Nach genauerer Bewertung der Literatur ist auch die kurze Latenzzeit bei Kindern nicht ungewöhnlich. Entsprechend einer aktuellen Übersichtsarbeit unter Berücksichtigung der nach Tschernobyl beobachteten Erkrankungsrate ist die Schilddrüse bei Kindern, insbesondere bei Kleinkindern, das strahlenempfindlichste Organ (noch vor dem Knochenmark). Das beim Erwachsenen durch radioaktives Jod-131 verursachte Schilddrüsenkrebsrisiko wird unverändert deutlich niedriger eingeschätzt. Bei der weiteren Beobachtung muss auf die Neuerkrankungsrate geachtet werden. Eine starke Zunahme der Sterblichkeit ist bei rechtzeitiger Diagnosestellung nicht zu erwarten; auch im Spätstadium sind vermutlich über 80 % der Schilddrüsenkrebserkrankungen heilbar.

Seit der Bestätigung des Krankheitsanstieges bemühen sich neben den betroffenen Staaten mehrere internationale Projekte um Frühdiagnostik und Behandlung von Schilddrüsenkrebserkrankungen. So wurden in Zusammenarbeit mit dem von Prof. Dr. E. P. Demidchik geleiteten weißrussischen Zentrum in Minsk seit 1993 über 100 Kinder, die eine besonders schwere, in Weißrussland damals nicht ausreichend behandelbare Erkrankung hatten, in Deutschland nachbehandelt. Die erforderliche nuklearmedizinische Therapie, die mit Jod-131 durchgeführt wird, erfolgte unter Leitung von Prof. Reiners in den Universitätskliniken Essen und Würzburg mit finanzieller Unterstützung durch alle westdeutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen.

Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Erwachsenen

Mehrfach wurde im Zusammenhang mit der Strahlenbelastung auch über eine Zunahme von Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Erwachsenen berichtet. In Anlehnung an aktuelle Risikoabschätzungen wäre bei Erwachsenen der maximale Risikoanstieg 10 bis 15 Jahre nach Exposition zu erwarten. Trotz mehrfach berichteter Zunahme entdeckter Schilddrüsenkrebserkrankungen (Anstieg entdeckter Neuerkrankungen um etwa das 2- bis 3-fache) ist der Zusammenhang mit einer Strahleneinwirkung nicht klar belegt.

Die Problematik des fehlenden Dosisbezuges und mögliche andere Ursachen eines scheinbaren Anstiegs der Erkrankungshäufigkeit (z. B. auch durch eine häufigere

Land Region	Zahl der Neuerkrankungen												
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Weißrussland (ges.)	3	4	6	5	31	62	62	87	77	82	67	73	48
Gomel	1	2	2	2	15	38	28	34	38	41	37	33	14
Mogilev	-	-	-	-	2	1	1	6	4	5	3	4	3
Brest	-	-	1	-	8	7	9	28	19	20	16	17	16
Minsk City	-	-	1	-	4	5	7	9	3	9	1	4	7
Russland (ges.)	-	1	-	-	1	1	3	1	6	7	2	5	-
Ukraine (ges.)	8	7	8	11	26	22	49	44	44	47	56	36	44
Kiew	2	-	-	2	4	4	10	10	3	9	18	8	7
Kiew City	1	-	1	1	2	3	9	5	5	9	4	4	6

Quelle: UNSCEAR 2000

Tabelle 06: Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern (< 15 J.) in Weißrussland, Russland und Ukraine

und genauere medizinische Untersuchung) wurden und werden ausführlich (u.a. in UNSCEAR 2000) diskutiert. Neuere Beobachtungen an strahlentherapeutisch mit Jod-131 behandelten Patienten zeigen (im Gegensatz zu früheren Beobachtungen und im Gegensatz zu den Überlebenden der Atombombenabwürfe) auch für eine Strahlenbelastung der Schilddrüse im Erwachsenenalter ein erhöhtes (aber im Vergleich zu Kindern sehr viel geringeres) Risiko. In Anbetracht der Zunahme der Erkrankungen bei Kindern ist allerdings in den höher belasteten Gebieten bei jungen Erwachsenen eine strahlenbedingte Ursache für eine Zunahme der Schilddrüsenkrebshäufigkeit mehr als wahrscheinlich. Angeblich von der WHO finanzierte Hochrechnungen, die für die höchst belastete Region Gomel prognostizieren, dass ein Drittel der zum Unfallzeitpunkt dort 0-4 jährigen Kinder im Laufe Ihres Lebens an einem Schilddrüsenkarzinom erkranken, sind jedoch ungesicherte Spekulationen.

Andere Krebserkrankungen und ausgebliebene Leukämieerkrankungen

Bezüglich anderer Krebserkrankungen und Leukämien liegen bisher keine Nachweise über einen altersunabhängigen oder gar mit der Strahlenbelastung einhergehenden Anstieg von Erkrankungen vor. Berichte über einzelne lokale Häufungen und mit der relativen Überalterung der Bevölkerung verbundenen Erkrankungszunahmen sind ohne einen entsprechenden Bezug zum Alter der Bevölkerung und zur Strahlenbelastung wissenschaftlich nicht aussagekräftig. Die wirtschaftliche Not, die breite Dosisverteilung, die mit Jahrzehnten sehr lange Latenzzeit solider Tumoren und die relativ geringe Wirkung kleinerer Strahlendosen werden – mit Ausnahme von Erkrankungen bei höher exponierten, gut erfassten Aufräumarbeitern – vermutlich auch in Zukunft weder einen klaren Nachweis noch einen eindeutigen Ausschluss einer strahlenbedingten Zunahme von Erkrankungen gestatten.

International kaum mehr umstritten ist der anfangs befürchtete, erfreulicherweise jedoch ausgebliebene, starke Anstieg von strahlenbedingten hämatologischen Systemerkrankungen einschließlich der kindlichen Leukämien. Wie im UNSCEAR-Bericht referiert wurden zur Entwicklung der Leukämieerkrankungsrate eine Vielzahl von Studien (mit unterschiedlichem Aufwand und höchst unterschiedlicher Aussagekraft) durchgeführt. Der Blick auf die Leukämien ist sinnvoll, da hier (neben den Schilddrüsenkrebserkrankungen) mit dem ausgeprägtesten Anstieg der Krankheitshäufigkeit und noch relativ kurzen Latenzzeiten (durchschnittlich weniger als 10 Jahre bei Kindern und unter 15 Jahren bei Erwachsenen) zu rechnen ist.

In einer aktuellen, vom deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Arbeit werden auf der Basis des jetzt sehr vollständigen Datenmaterials die Leukämieerkrankungsraten bei Kindern in den betroffenen Staaten mit unauffälligem Ergebnis referiert. In den belasteten Gebieten wären von 1986 bis 1995 etwa 11 zusätzliche strahlenbedingte Fälle zu erwarten gewesen. Dieses „statistisch unauffällige" Ergebnis schließt einzelne zusätzliche Fälle nicht aus, bestätigt jedoch das in Anbetracht der durchschnittlich deutlich unter 100 mSv liegenden Strahlenbelastung eher geringe Risiko. Ängste, die in Bezug auf die Strahlenbelastung durch den Unfall entstanden sind bzw. aus verschiedenen Interessen auch verstärkt wurden (und werden), werden relativiert. Das Gesamterkrankungsrisiko, bis zum 15. Lebensjahr an einer Leukämie zu erkranken, lag in den belasteten und unbelasteten Gebieten mit 61,48 Fällen je 100.000 Kinder sogar geringfügig unterhalb des in Deutschland beobach-

Land Region	Neuerkrankungsrate je 100.000 Kinder												
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Weißrussland	0,2	0,3	0,4	0,3	1,9	3,9	3,9	5,5	5,1	5,6	4,8	5,6	3,9
Gomel	0,4	0,7	0,7	0,7	5,6	15,0	11,2	13,9	15,9	17,9	16,9	16,0	7,1
Mogilev	-	-	-	-	1,0	0,5	0,5	3,2	2,2	2,9	1,8	2,6	2,0
Brest	-	-	0,4	-	3,3	2,9	3,7	11,6	8,1	8,8	7,3	8,2	8,0
Minsk City	-	-	0,4	-	1,5	1,9	2,7	3,5	1,2	3,9	0,5	2,0	3,7
Russland	-	0,3	-	-	0,3	0,3	0,9	0,3	2,8	2,5	0,6	2,2	-
Krasnogorsky	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,8	-	-	-
Navlinsky	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	-
Karachevsky	-	-	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	10,5	-
Ukraine	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5
Kiew	0,5	-	-	0,5	1,0	1,0	2,5	2,5	0,8	2,4	4,9	2,2	2,0
Kiew City	0,2	-	0,2	0,2	0,4	0,6	1,7	1,0	1,0	1,8	0,8	0,9	1,4

Quelle: UNSCEAR 2000

Tabelle 07: Neuerkrankungsrate, jährliche Inzidenz von Schilddrüsenkrebs je 100.000 Kinder (< 15 J.)

teten Risikos (Deutschland: 66,60 je 100.000 Kinder). Unabhängig von der fehlenden epidemiologischen Nachweisbarkeit besteht jedoch (eine lineare Beziehung zwischen Strahlung und Risiko angenommen) ein Risiko (etwa 0,5 % je 100 mSv) für eine spätere Krebserkrankung.

Andere möglicherweise strahlenbedingte Effekte

Im Zusammenhang mit Tschernobyl wurden in den stark betroffenen Staaten und in Westeuropa strahlenbedingte Auswirkungen auf den Schwangerschaftsausgang, also auf Neugeborenensterblichkeit, Fehlgeburten und Missbildungsrate, diskutiert. Ein negativer strahlenbedingter Einfluss ist prinzipiell möglich, bei den gegebenen Strahlenbelastungen jedoch nur bei sehr wenigen hoch belasteten Schwangerschaften anzunehmen. Viele der geführten Diskussionen beruhen auf Einzelbeobachtungen ohne Bezug zur Strahlenbelastung.

Von der Mehrheit der Strahlenforscher wird die Situation so bewertet, dass oft völlig unabhängig von der Strahlenbelastung gesundheitliche Veränderungen einschließlich negativem Schwangerschaftsausgang nachgewiesen wurden. Eine direkte Strahlenwirkung ist in den meisten Fällen unwahrscheinlich. Die durchgeführten Untersuchungen (s. Tabelle 08) zeigen einen deutlichen Rückgang der Geburtenrate in betroffenen und nicht betroffenen Gebieten. Es sind keine einheitlichen Tendenzen erkennbar, die mit der Strahlenbelastung in Zusammenhang stehen könnten.

Psychosoziale Folgen

Unabhängig von Cäsiumablagerungen, Nahrungsmittelkontamination und der Strahlenbelastung stellte man wiederholt einen Anstieg von Erkrankungen fest, die – nach heutigem Kenntnisstand der Medizin – nicht durch Strahlen verursacht werden. Dazu zählen Krankheiten wie Bluthochdruck, Herzkranzgefäß-Erkrankungen, Zuckerkrankheit, Nervenkrankheiten und chronische Erkrankungen der Atemwege sowie Entzündungen des Mund-, Rachen- und Nasenbereichs. Angesichts der durchgeführten Ganzkörpermessungen in den betroffenen Regionen, die die eher niedrigen Strahlenbelastungen bestätigten, kann die Strahlung nach dem heutigen Wissensstand nicht Ursache dieser Erkrankungen sein. Die Ursachen für einen Anstieg von Allgemeinerkrankungen sehen Experten auch in der besseren Erfassung von Erkrankungen vor allem aber in sekundären Folgen des Unfalls und in den wirtschaftlichen Auswirkungen des Zerfalls der Sowjetunion.

Die mit dem Unfall und dem Zerfall der Sowjetunion verbundene Verschlechterung der allgemeinen wirtschaftlichen Lage mit drastisch ansteigender Arbeitslosigkeit führte auch zu einer medizinischen Unterversorgung. Die Umsiedlungen großer Bevölkerungsgruppen zerstörte soziale und ethnische Bindungen. Aus medizinischer Sicht sind die Auswirkungen einer nicht ausreichenden Lebensmittelversorgung, einer vitaminarmen Ernährung und vor allen Dingen die Auswirkungen durch psychischen und sozialen Stress, bedingt durch berechtigte Ängste und unbegründete Befürchtungen, zu berücksichtigen. Man kennt die gravierenden Auswirkungen von Angst, Unsicherheit und Verzweiflung auf die Gesundheit auch von anderen nicht nuklearen Katastrophen.

Fehlende und unglaubwürdige Informationen über die Situation, das Gefühl, im Stich gelassen zu werden, das fehlende Vertrauen in die behördliche Kontrolle und damit letztendlich auch das fehlende Vertrauen in die Durchführbarkeit und die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen sowie die zahlreichen Einschränkungen im täglichen Leben können mit Sicherheit als Auslöser von Ängsten und als Basis manch aufgetretener Krankheit gewertet werden. Die psychosozialen und ökonomischen Folgen des Unfalls sind unumstritten. Neben der Einschränkung der landwirtschaftlichen Produktion kam es zu einer Umsiedlung von über 250.000 Menschen,

Effekt *	Bryansk			Tula			Ryazan	
	< 37 kBq m^{-2}	37 - 185 kBq m^{-2}	>185 - 555 kBq m^{-2}	< 37 kBq m^{-2}	37 - 185 kBq m^{-2}	>185 - 555 kBq m^{-2}	< 37 kBq m^{-2}	37 - 185 kBq m^{-2}
Geburtenrate	0,81	0,83	0,75	0,87	0,73	0,69	1,00	0,90
Spontane Aborte	1,27	1,34	1,34	0,90	1,03	1,18	1,22	0,91
Frühgeburten	0,66	1,39	1,29	1,50	0,93	1,41	0,90	0,97
Congenitale Anomalien	0,66	1,41	1,67	1,32	1,28	0,91	1,43	0,91
Perinatale Mortalität	1,18	1,13	0,91	0,77	1,57	1,21	1,13	1,00
* Effekt: Verhältniss nach und vor dem Reaktorunfall								

Quelle: nach UNSCEAR 2000

Tabelle 08: Vergleich Reproduktiver Effekte in Regionen der Russischen Föderation (1980 - 1993)

die aus ihrer Sicht zuerst belogen, zum Teil dann zwangsdeportiert und danach vergessen wurden. Als Folge derartiger Ereignisse können dann in einem Teufelskreis zwischen (in diesem Fall) radioaktiver Kontamination, wirtschaftlicher Depression, Fehlinformation und einem gravierenden Vertrauensverlust Gesundheitsstörungen auftreten, bei denen möglicherweise dann die Angst vor der Strahlung mehr Schaden verursacht als die Strahlung selbst.

Der Bericht des UNO-Wissenschaftskomitees für Strahlenwirkungen (UNSCEAR 2000) zeigt in sehr differenzierter Art die in Zusammenhang mit Strahlung eindeutig nachgewiesenen Gesundheitseffekte, fraglich strahlenbedingte Erkrankungshäufungen und die nicht mit Strahlung in Verbindung stehenden gesundheitlichen Entwicklungen und Einzelbeobachtungen.

Falschmeldungen über Strahlentodesfälle in der Ukraine

Für die Beurteilung der Folgen des Unfalls müssen den oft völlig abwegigen Zahlenangaben einzelner Massenmedien die bisher bekannten Fakten gegenübergestellt werden. Das Spektrum reicht von offensichtlich unsinnigen „Schätzungen" oder „Befürchtungen" von Opfern im Millionenbereich bis hin zu der von den sowjetischen Behörden nach dem Unfall angegebenen offiziellen Zahl von 31 Opfern, darunter 28 Strahlentoten. Zu den Motiven für abwegige Zahlenangaben gehören u.a. Bestrebungen, möglichst viel internationale Hilfe in die betroffenen Gebiete zu lenken, ferner der Versuch Dienstleistungen, Geräte und Studien zu verkaufen sowie der Versuch (u.a. mit Hochrechnungen auf der Basis von Annahmen über die Wirkungen sehr kleiner Strahlenbelastungen) weltanschauliche und politische Entscheidungen zu erzwingen.

Große Aufmerksamkeit erregte eine Aussage des ukrainischen Gesundheitsministers Serdjuk, der im April 1995 in fast allen deutschen Nachrichtenmedien mit der Meldung zitiert wurde, seit 1986 seien in der Ukraine 125.000 Menschen sowie 6.000 der „Liquidatoren" an Strahlenfolgen gestorben. Diese Zahlen schienen die schlimmsten Erwartungen zu übertreffen und erregten entsprechend Aufsehen. Nach einer Untersuchung der WHO wurde hier eine missverständliche Verlautbarung des Gesundheitsministeriums aufgegriffen und ungeprüft übernommen. Der Originaltext der Verlautbarung stellt fest: „Die Gesamtzahl der Todesfälle unter der am meisten vom Unfall betroffenen Bevölkerung war mehr als 125.000 in den Jahren 1988 bis 1994". In der Meldung heißt es weiter, dass die meisten der Todesfälle alte Menschen betrafen.

Die Meldung des Gesundheitsministeriums wurde allgemein so interpretiert, als beziehe sich die Zahl auf strahlenbedingte Todesfälle. Tatsächlich bezog sie sich jedoch auf alle Todesfälle unter der am stärksten von der Katastrophe betroffenen Bevölkerung. Wie viele Menschen mit den am „stärksten Betroffenen" gemeint waren, wurde von den Behörden in der Ukraine nicht ausdrücklich gesagt. Offiziell werden jedoch etwa 2,2 Mio. der mehr als 50 Mio. Einwohner der Ukraine denjenigen zugerechnet, die entweder nach dem Unfall evakuiert wurden oder in belasteten Gebieten leben. Westliche Mediziner legten dazu folgenden Vergleich vor: In der Bundesrepublik ist die Sterberate etwas höher als 1 % pro Jahr. Nimmt man für die etwas jüngere Bevölkerung der Ukraine eine Rate von 0,9 % an, so kann man erwarten, dass in der Zeit von 1988 bis 1994 jährlich etwa 20.000 Todesfälle, gesamt also 140.000 anzunehmen sind.

Kritik an der sowjetischen Informationspolitik

Am 28. April 1986 wurde in Finnland und Schweden erhöhte Radioaktivität in der Luft und am Boden gemessen. Erste Vermutungen über einen Kernwaffenversuch oder einen Störfall in einem skandinavischen Kernkraftwerk erwiesen sich als falsch. Alles deutete darauf hin, dass diese Radioaktivität mit der zu dieser Zeit vorherrschenden Windströmung aus der Sowjetunion herangetragen worden war. Die UdSSR gab den Reaktorunfall jedoch erst am späten Abend bekannt. Erst später wurde mitgeteilt, dass es zu einer „Explosion und einer Kernschmelze" gekommen sei, bei der große Mengen an radioaktiven Stoffen freigesetzt wurden.

Selbst einige Wochen nach dem Unfall ließ sich der Ablauf der Ereignisse von Fachleuten nur vorläufig schätzen. Trotz des weltweiten Informationsbedürfnisses lieferte die UdSSR zunächst nur sehr lückenhafte Mitteilungen über den Unfall. Erst auf einer Konferenz, die anlässlich dieses Unfalls Ende August 1986 in Wien stattfand, wurde von sowjetischer Seite berichtet. Man legte umfangreiches Material über den Unfallhergang und den Reaktortyp vor.

Nach dem Unfall versuchten die sowjetischen Behörden zwei Jahre lang, der eigenen Bevölkerung Informationen über die Strahlenbelastung vorzuenthalten, da man glaubte, sie könne damit nicht umgehen und würde nur mit Panik reagieren. Die Politik der Informationssperre scheiterte jedoch, weil sie zu einer Reihe offensichtlicher Widersprüche führte. Auf internationalen Konferenzen wurden schon bald nach dem Reaktorunfall von sowjetischen Wissenschaftlern Daten über die Strahlenaktivität und ihre Verteilung sowie über Belastungswerte bekannt gegeben. In besonders belasteten Gebieten führte man aufwendige Reinigungsmaßnahmen durch. Dies konnte der Bevölkerung nicht verborgen bleiben und widerlegte alle Beteuerungen gegenüber der Öffentlichkeit, Informationen über die Kontaminations- und Dosiswerte seien nicht nötig, da die Situation unter Kontrolle sei.

Zu einem besonders gravierenden Problem für die in den betroffenen Gebieten vorwiegend ländliche Bevölkerung wurden die Einschränkungen in der Erzeugung und Nutzung landwirtschaftlicher Produkte sowie die Engpässe bei der Nahrungsversorgung. Noch während der Periode der Informationssperre erhielt die Bevölkerung in höher belasteten Gebieten zusätzlich 30 Rubel pro Monat als Ausgleich für die erhöhten Kosten der Nahrungsmittelbeschaffung. Es bestand eine offensichtliche Diskrepanz zwischen dieser im Vergleich zu den monatlichen Einkommen nicht unbeträchtlichen Zusatzzahlung – die von der Bevölkerung bald „Sarggeld" genannt wurde – und den Behauptungen, alle Probleme seien gelöst. Die vielen Widersprüchlichkeiten verdeutlichten schon bald die Unhaltbarkeit dieser Informationspolitik. Es dauerte jedoch fast zwei Jahre, bis im März 1988 der öffentliche Druck in Weißrussland so groß wurde, dass man die Informationssperre dort als erstes aufhob. Seitdem werden in den betroffenen Republiken die Ergebnisse von Messungen in den Medien veröffentlicht.

Eine Fülle widersprüchlicher Informationen strömte seitdem auf die Bevölkerung ein und erzeugte ein Chaos unterschiedlicher Meinungen. Dieses Informationschaos wird als ein schlimmer Begleitumstand des Unfalls gewertet, da es die Lebensbedingungen in den betroffenen Gebieten bestimmt und gezielte Hilfe erschwert oder unmöglich macht. Die Freigabe der Informationen war überfällig und notwendig, geschah aber so spät, dass sie das Klima des Misstrauens nicht mehr beseitigen konnte. Die verständliche Verwirrung und Verunsicherung wird überlagert von den Problemen des politischen Umbruchs und des wirtschaftlichen Niedergangs, die sich wiederum von den Folgen des Reaktorunfalls nicht trennen lassen.

4. Auswirkungen auf Deutschland

Zusammenfassung

Über Deutschland zog die radioaktive Wolke in der Zeit vom 30. April bis zum 03. Mai 1986. Je nach lokaler Wettersituation und Stärke von Regenfällen kam es zu sehr unterschiedlichen Strahlenbelastungen, die in Süddeutschland erheblich höher waren als beispielsweise in Berlin. Addiert über 50 Jahre nach dem Unfall ergibt sich eine durchschnittliche zusätzliche Belastung von 0,7 mSv je Bundesbürger – knapp 0,5 Prozent der in 50 Jahren im Mittel anfallenden natürlichen Strahlenbelastung. Die unterschiedlichen Grenzwertfestlegungen in einzelnen Bundesländern führten zur Verwirrung und Verunsicherung. Durch einige auf Effekthascherei abzielende Medienberichte kam es teilweise zu einer regelrechten Strahlenhysterie.

In Süddeutschland wurden am Vormittag des 30. April 1986 die ersten erhöhten Werte der Luftradioaktivität gemessen. Die radioaktive Wolke breitete sich in den Tagen bis zum 03. Mai unter Verdünnung über das gesamte Bundesgebiet und die damalige DDR aus, wobei die Radioaktivität in der Luft nach Norden hin relativ schnell abnahm. Durch heftige Niederschläge wurden südlich der Donau und dem Bayerischen Wald relativ hohe Aktivitäten mit lokalen Spitzenwerten von bis zu 100 kBq/m² Cäsium-137 und bis zu einigen 100 kBq Jod-131 auf Boden und Bewuchs abgelagert. Nördlich der Donau betrug die Aktivitätsablagerung selten mehr als 4 kBq Cäsium-137 und 20 kBq Jod-131. Insgesamt war die Bodenkontamination in Süddeutschland etwa 100mal höher als beispielsweise in Berlin und lag in Süddeutschland in etwa in der Größenordnung der 1963/64 gemessenen Aktivitäten aus den Kernwaffenversuchen.

Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) setzte am 02. Mai 1986 Richtwerte für die maximale Aktivitätskonzentration in Frischmilch und auf Blattgemüse fest. Diese Grenzwerte wurden von den meisten Bundesländern als verbindlich übernommen. In einigen Bundesländern (z. B. in Hessen) wurden jedoch deutlich niedrigere Grenzwerte festgelegt.

Den regionalen Belastungen entsprechend waren die Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion unterschiedlich. Während die Richtwerte der SSK im Norden der Bundesrepublik in der Regel bei weitem nicht erreicht wurden, führten sie im Süden zu erheblichen Verbrauchseinschränkungen. In Süddeutschland mussten große Mengen an Frischgemüse und Salat vernichtet bzw. untergepflügt werden. Durch die ergriffenen Maßnahmen betrug die Aktivitätskonzentration in der verkauften Molkereimilch

Gebiet	Effektive Dosis im 1. Jahr (mSv)		Gesamte effektive Dosis für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre (mSv)	
	SSK96	SSK87	SSK96	SSK87
Voralpengebiet	0,65	1,2	2,2	3,8
Südlich der Donau	0,35	0,6	1,3	1,9
Nördlich der Donau	0,17	0,2	0,55	0,6

Quelle: Strahlenschutzkommission, Heft 4, 1996

Tabelle 09: Vergleich der 1996 berechneten Dosen mit der Abschätzung der SSK von 1987

durchschnittlich weniger als ein Fünftel der SSK-Richtwerte. Bei Waldpilzen und Wildbret lagen die Belastungen in den Folgejahren erheblich höher und dauern in rückläufigem aber noch gut messbarem Umfang bis heute an.

Die infolge des Reaktorunfalls nach Deutschland transportierten radioaktiven Stoffe konnten durch direkte Bestrahlung aus der Luft, Inhalation, Bestrahlung durch auf dem Boden abgelagerte Stoffe und durch Verzehr belasteter Nahrungsmittel zu einer Strahlenbelastung führen. Die Bodenstrahlung und der Verzehr belasteter Nahrungsmittel verursachten den Hauptanteil. In der Tabelle 09 findet sich ein Vergleich der 1987 abgeschätzten und der 1996 in Kenntnis aller Messwerte berechneten Ganzkörperbelastungen. Für einzelne Personen mit Lebens- und Ernährungsgewohnheiten, die stark von den bei den angenommen Durchschnittswerten abweichen, kann die Strahlenbelastung um Faktor 2 bis 3 über oder unter den Mittelwerten liegen. Im Mittel ergibt sich eine unfallbedingte Strahlenbelastung von 0,7 mSv je Bundesbürger, davon entfallen 0,2 mSv auf das erste Jahr. Die Schilddrüsendosis wird südlich der Donau für Kleinkinder mit bis zu 1,2 mSv und für Erwachsene mit bis zu 0,7 mSv angegeben.

Zur Diskussion über strahlenbedingte Effekte in Deutschland und Westeuropa

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Bevölkerung in Deutschland die Strahlenbelastung durch den Unfall bereits im ersten Jahr nach dem Unfall deutlich kleiner war als die in Deutschland zu beobachtende Schwankung der jährlichen natürlichen Strahlenbelastung (Mittelwert 2,1 mSv mit einer regionalen Schwankungsbreite zwischen 1 und 10 mSv). Auch über die gesamte Lebenszeit eines deutschen Bürgers ergibt sich mit 0,7 mSv ein Mittelwert, der weit unter der mittleren natürlichen Belastung in Deutschland (2,1 mSv im Jahr) liegt.

In Anbetracht der strahlenbiologischen Kenntnisse war eine starke Häufung von Missbildungen oder anderen strahlenbedingten Erkrankungen in Deutschland nicht zu erwarten. Unter Annahme der Gültigkeit einer linearen Beziehung zwischen Strahlenbelastung und Krebsrisiko kann bei einer zusätzlichen Lebenszeitexposition von 1 mSv ein zusätzliches Krebssterblichkeitsrisiko von 0,005 % abgeschätzt werden. Im Vergleich zu diesem Risiko sind die regionalen und zeitlichen Schwankungen der „Spontankrebs-Todesrate“ erheblich höher. Diese lagen nach der amtlichen Todesscheinstatistik der „mittleren kumulativen Krebssterblichkeit“ von 1970 bis 1991 in der alten BRD bei 20,5 ± 0,2 % und z. B. in Schleswig-Holstein bei 19,8 ± 0,9 %. Die statistische Schwankungsbreite (Angabe hier für den 95 %-Vertrauensbereich) liegt erheblich höher als der mögliche Effekt durch 1 mSv. Mit epidemiologischen Methoden kann daher ein derartiger Effekt nicht nachgewiesen werden.

Nach dem Unfall von Tschernobyl wurden zahlreiche Einzelbeobachtungen im Zusammenhang mit Strahlung diskutiert. Besondere Aufmerksamkeiten erregten zunächst Häufungen von Neugeborenen mit Trisomie 21 (Down-Syndrom) in Berlin und Hamburg. Obwohl der zeitliche Bezug zum Unfallgeschehen durchaus auffällig ist, kann die Hypothese, es habe sich um Folgen der Strahlenexposition gehandelt, nicht gestützt werden. Aus den gemessenen Werten folgt z. B. für Berlin eine Schilddrüsendosis von deutlich unter 1 mSv. Die Strahlenbelastung der Eierstöcke, die hier entscheidend sein könnte, liegt um eine Größenordnung niedriger und ist kleiner als die Belastung, die durch die natürliche Strahlung dort jede Stunde auftritt. Eine strahlenbedingte Ursache wurde daher u. a. von der SSK verneint.

Trotz der – im Vergleich zu den hochkontaminierten Gebieten der UdSSR – in Deutschland und Westeuropa eher geringen Strahlenbelastung wurden besonders in Deutschland viele Einzelbeobachtungen im Zusammenhang mit der unfallbedingten Strahlenbelastung diskutiert. Die Art der Risikodiskussion war hierbei auch das Werkzeug von politischen Überzeugungen. Allein die unterschiedliche Darstellung formal gleichartiger Risiken kann dabei die Wahrnehmung und die Bewertung einer Gefährdung erheblich beeinflussen.

Eine beobachtbare direkte Strahlenwirkung des Tschernobylunfalls in Deutschland war und ist auf Grund des derzeitigen Wissens über die Wirkungsstärke der Strahlung höchst unwahrscheinlich. Erklärungsmöglichkeiten für lokale Erkrankungshäufungen sind neben dem Zufall und vermuteten Einflüssen von Virusinfektionen im Fall von Tschernobyl auch unfallbedingte Sekundäreffekte. So könnte z. B. eine freiwillige Nahrungsmitteleinschränkung aus Angst vor belastetem Gemüse in einigen Fällen zu einem Vitamin E-Mangel mit nachfolgender Häufung von Missbildungen geführt haben. Eine Häufung von Missbildungen wurde allerdings für das am stärksten belastete Bundesland Bayern definitiv ausgeschlossen. Der immer wieder in die Diskussion eingebrachte Nachweis einer Trendunterbrechung in der jährlichen Abnahme der Neugeborenensterblichkeit für Deutschland und Teile von Bayern wird bezüglich des Nachweises selbst und der Ursachen kontrovers diskutiert. Unabhängig von der eher geringen Strahlenbelastung und der damit verbundenen eher geringen Wirkung waren auch in Deutschland neben berechtigten Sorgen nahezu hysterische Ängste, Panikreaktionen und psychosomatische Störungen offensichtlich. Ursächlich für diese Gesundheitsstörungen waren bereits vorhandene Ängste, weltanschauliche Befürchtungen, einzelne auf Effekthascherei ausgelegte Medienberichte und die Praxis der unterschiedlichen Grenzwertfestlegungen, was nachvollziehbar zur Verunsicherung führte.

III. Tschernobyl und die Folgen für den Energieträger Kernenergie

Zusammenfassung

Die politischen und psychologischen Auswirkungen des Unfalls in Tschernobyl waren international unterschiedlich. Naturgemäß wurde insbesondere in Staaten mit eigenen Kernkraftwerken darüber debattiert, welche Richtung die nationale Kernenergiepolitik zukünftig haben sollte. Der Unfall erhöhte aber auch in Ost und West die Bereitschaft zu verstärkter internationaler Kooperation bei der Reaktorsicherheit. In einigen Ländern wurde unter dem Eindruck des Unfalls der Ausbau der Kernenergie zunächst eingestellt oder reduziert. In Frankreich, Japan und einigen asiatischen Staaten ging der Ausbau der Kernenergie weiter. Auf die ohnehin relativ kleinen Kernenergieprogramme einzelner Schwellen- und Entwicklungsländer hatte der Unfall keinen wesentlichen Einfluss. Die Vorteile der Kernenergie – Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung sowie eine umwelt- und klimaschonende Stromerzeugung – führten in den 1990er Jahren zu ihrer Neubewertung. Finnlands Entscheidung für den Bau eines ersten Europäischen Druckwasserreaktors (EPR) gilt als ein Signal für eine Trendwende.

1. Internationale Reaktionen

Der Unfall in Tschernobyl war nicht nur ein regionales Ereignis mit gravierenden Folgeproblemen für die betroffenen sowjetischen Gebiete, sondern er hatte auf Grund der psychologischen und politischen Auswirkungen auch erhebliche Bedeutung für die Energiepolitik vieler Länder. Die seit Jahren in einigen Ländern andauernde Kernenergiekontroverse verstärkte sich.

Die Reaktionen waren in den 29 Staaten, die 1986 eine eigene Kernenergiewirtschaft betrieben, allerdings unterschiedlich. In einigen Ländern wurden emotionsgeladene Debatten geführt, andere diskutierten den Unfall relativ sachlich. Obwohl westliche Reaktoren mit dem havarierten RBMK-Reaktor von Tschernobyl nicht vergleichbar sind, ließen einige Regierungen die eigenen Anlagen daraufhin überprüfen, ob auf Grund der ersten Erkenntnisse aus dem Unfall Maßnahmen zu ergreifen seien.

Anstoß für verstärkte Kooperationen

Durch den Unfall erhielt die Bereitschaft zu internationaler Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheit und beim Austausch von Betriebserfahrungen starke Impulse. Bereits 1989 wurde die World Association of Nuclear Operators (WANO) gegründet. Ihr Ziel ist die Zusammenarbeit zwischen den Reaktorbetreibern, wie sie beispielsweise im Bereich der zivilen Luftfahrt schon seit einigen Jahrzehnten zum Nutzen aller Beteiligten praktiziert wird.

Die vier regionalen Zentralen der WANO in Atlanta, Moskau, Paris und Tokio sowie das Koordinierungszentrum in London sind durch ein computergestütztes Datennetz miteinander verbunden, wodurch auch ein schneller Daten- und Erfahrungsaustausch gewährleistet wird. Besonderen Wert legt man bei diesen Kooperationen auf den Erfahrungsaustausch und den persönlichen Kontakt zwischen westlichen und östlichen Reaktorfachleuten. So besuchten bereits Anfang der 1990er Jahre alle Betriebsleiter oder Chefingenieure der osteuropäischen Nuklearanlagen Kernkraftwerke im Westen und studierten die dort üblichen Verfahrensweisen. Der Unfall in Tschernobyl stärkte die Einsicht, dass nur der offene Dialog und ein internationaler Erfahrungsaustausch die Sicherheit und damit die Akzeptanz der Kernenergie auf Dauer verbessern kann.

Die westlichen Industrieländer betrieben in der Vergangenheit großen Aufwand für die Entwicklung einer umfassenden und wirksamen Sicherheitstechnik in ihren kerntechnischen Anlagen, sowohl auf nationaler Ebene als auch durch intensive internationale Kooperationen, beispielsweise im Rahmen der Sicherheitsforschung der OECD. Dadurch wurde in der Reaktorsicherheit eine Führungsrolle erarbeitet. Allerdings sind in den meisten westlichen Ländern die staatlichen Budgets für die Kernenergieforschung gesunken, wovon auch die Sicherheitsforschung betroffen ist. Leider führte dieser Rückgang staatlicher Mittel bisher kaum dazu, die Reaktorsicherheitsforschung durch verstärkte internationale Kooperationen zu rationalisieren.

Demgegenüber brachte die Stagnation der Kernenergienutzung in westlichen Ländern eine internationale Bündelung der industriellen Aktivitäten. Amerikanische und japanische Unternehmen begannen gemeinsam mit der Entwicklung neuer Leichtwasserreaktoren. Französische und deutsche Hersteller erarbeiteten seit Anfang der 1990er Jahre in Kooperation den „Europäischen Druckwasserreaktor" (EPR), der erstmals Ende 2003 in Finnland bestellt wurde. Auch in die deutsche Entwicklung des fortschrittlichen Siedewasserreaktors SWR 1000 waren ausländische Partner eingebunden. Durch die Liberalisierung kam es in den 1990er Jahren bei der Herstellerindustrie zu einem Konsolidierungsprozess und zum Zusammenschluss wettbewerbsstarker Unternehmen, die Großprojekte wie die Entwicklung und den Bau neuer Kernkraftwerke bewältigen können. Mittlerweile gibt es weltweit in der Kerntechnik nur noch drei große Hersteller: BNFL/Westinghouse/ABB, die General Electric Gruppe sowie seit Anfang 2001 Framatome ANP, als Unternehmen von AREVA und Siemens der einzige europäische Anbieter.

Die Zusammenlegung des deutschen und französischen Nukleargeschäftes verbessert die Kostenbasis der beteiligten Unternehmen, erbringt ein größeres Geschäftsvolumen und die Nutzung komplementärer Stärken. Sie-

jeweils Ende	in Betrieb	in Bau
1969	14.000	57.000
1976	85.000	k.A.
1983	203.000	212.000
1990	339.000	69.000
1997	368.000	48.000
2003	380.000	26.000

Quellen: Handbuch der Kernenergie 1995, S. 357 und 1990, S. 69 ff.; atw 3/96, S. 212 und 4/04, S. 270
Tabelle 10: Entwicklung der Welt-Kernkraftleistung in MWe Brutto (Werte gerundet)

mens hat seine hohe Kompetenz in der Technologie von Druckwasser- und Siedewasserreaktoren, bei der Elektro- und Leittechnik sowie beim schlüsselfertigen Bau von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren eingebracht. Die französische Seite (die ehemalige Framatome) demgegenüber verfügt in Frankreich über einen großen Inlandsmarkt, ist größter Brennelemente-Hersteller und hat eine starke Position beim Bau von Komponenten für Kernkraftwerke.

Der Einfluss von Tschernobyl auf den weltweiten Ausbau der Kernenergie

In der Zeit nach dem ersten Ölpreisschub von 1973 konnte man davon ausgehen, dass die damit verbundene Schockwirkung in vielen Ländern zu einem nachhaltigen Ausbau der Kernenergie führen würde. Das war auch zunächst der Fall. Die Pläne der Staaten mit Kernenergieprogrammen sahen Ende 1973 einen Zubau von Kernenergieleistung im Umfang von 260.000 MW vor, das entsprach dem Sechsfachen der damals installierten Leistung. Diese Zieldaten wurden in den Folgejahren aus mehreren Gründen nicht umgesetzt (vgl. Tabelle 10) und zwar wegen

- der Verringerung des Wirtschaftswachstums und den damit verbundenen verminderten Erwartungen über den Stromverbrauchszuwachs;
- der Schwierigkeiten, die Finanzmittel für die kapitalintensiven Nuklearanlagen bereitzustellen sowie
- der Akzeptanzkrise, in die die Kernenergie in den 1970er Jahren geriet.

Diese Entwicklungen schlugen sich in den Folgejahren auch deutlich in rückläufigen Zahlen an Neubestellungen von Kernkraftwerken sowie, vor allem in den USA, in Auftragsstornierungen nieder. Die politischen Auswirkungen des Unfalls in Tschernobyl beeinflussten diesen rückläufigen Trend vor allem in den ersten Jahren nach dem Unfall stark.

Entwicklungen in einzelnen westlichen Ländern

USA

In den USA, das unter allen Ländern der Welt über die mit Abstand größte Kernenergieleistung verfügt (vgl. Tabelle 11), schlugen sich die rückläufigen Entwicklungen am deutlichsten nieder. Allerdings sind hierbei besondere Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Anfang der 1980er Jahre rechnete das Department of Energy (DOE) für das Jahr 2000 für die USA noch mit einer Kernenergieleistung von über 200.000 MW. Diese ursprünglichen Erwartungen mussten in der Folgezeit immer weiter reduziert werden. Mitte der 1980er Jahre wurden in den USA zahlreiche Kernkraftwerksprojekte storniert, im Wesentlichen wegen des rückläufigen Strombedarfs sowie auf Grund von Kostensteigerungen beim Kraftwerksbau. Während in der Zeit von 1965 bis 1974 den 224 Kraftwerksneuaufträgen nur 14 Stornierungen gegenüberstanden, nahmen diese Mitte der 1970er Jahre mit 83 Stornierungen bei nur 13 Neubestellungen sprunghaft zu. Allerdings waren in der gleichen Zeit auch rund 40 fossil befeuerte Kraftwerke von den Stornierungen betroffen.

1990 wurde mit 112 Kernkraftwerksblöcken der Scheitelwert der in Betrieb befindlichen Anlagen bei einer Leistung von insgesamt 99.600 MW erreicht. Danach kam es aus wirtschaftlichen Gründen zur Stilllegung einzelner Anlagen, und das DOE prognostizierte ein fortschreitendes Abbröckeln des Kernkraftwerksparks als Folge des verschärften Wettbewerbs, der durch die nach und nach in den meisten Bundesstaaten in Gang kommende Deregulierung des Strommarktes einsetzte. Diese Prognose traf nicht ein, da es den Betreibern gelang, durch Fusionen von Unternehmen und Konzentrationen des Kernkraftwerksbetriebs sowie verbessertes Management und Leistungserhöhungen die Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit der Anlagen entscheidend zu verbessern, so dass sich der Kernkraftwerkspark seit 1998 bei 104 Anlagen mit einer Gesamtleistung von knapp 104.000 MW stabilisierte (Stand Anfang 2004).

Land	in Betrieb			in Bau			Kern-energie-erzeugung [10^6 MWh]	Anteil Gesamt-erzeugung [%]
	Anzahl	Leistung		Anzahl	Leistung			
		Brutto [MWe]	Netto [MWe]		Brutto [MWe]	Netto [MWe]		
Argentinien	2	1.005	935	1	745	692	7,0	9
Armenien	1	408	376	-	-	-	1,8	35
Belgien	7	6.050	5.757	-	-	-	47,4	56
Brasilien	2	2.013	1.900	-	-	-	13,3	3,6
Bulgarien	4	2.880	2.722	-	-	-	17,3	40
China	8	6.258	5.939	3	2.620	2.475	nicht bekannt	nicht bekannt
Deutschland	18	21.693	20.643	-	-	-	165,1	29
Finnland	4	2.760	2.656	-	-	-	22,0	25,8
Frankreich	59	65.952	63.183	-	-	-	449,0	77
Großbritannien	27	13.083	12.020	-	-	-	88,6	25
Indien	14	2.720	2.503	8	3.880	3.614	16,4	3,3
Iran	-	-	-	1	1.000	953	-	-
Japan	53	46.022	44.145	4	4.485	4.361	230,0	25
Kanada	16	11.985	11.268	-	-	-	75,8	13
Korea (Rep.)	19	16.715	15.810	1	1.000	960	123,3	40
Korea (VR)	-	-	-	2	2.080	2.000	-	-
Litauen	2	2.600	2.370	-	-	-	15,5	80,6
Mexiko	2	1.364	1.310	-	-	-	10,5	4
Niederlande	1	481	449	-	-	-	3,8	4,5
Pakistan	2	462	425	-	-	-	1,8	2,3
Rumänien	1	706	650	1	700	650	4,5	9,3
Russland	30	22.242	20.817	4	4.000	3.784	148,6	16,5
Schweden	11	9.813	9.427	-	-	-	65,0	49,2
Schweiz	5	3.352	3.200	-	-	-	27,3	40
Slowakische Republik	6	2.640	2.448	2	880	816	18,0	57,8
Slowenien	1	707	676	-	-	-	5,3	nicht bekannt
Spanien	9	7.876	7.574	-	-	-	61,9	23,6
Südafrika	2	1.930	1.844	-	-	-	13,3	6
Taiwan	6	5.144	4.884	2	2.712	2.630	37,4	21,5
Tschechische Republik	6	3.744	3.494	-	-	-	25,9	30,5
Ukraine	13	11.818	11.190	2	2.000	1.900	81,5	45,1
Ungarn	4	1.866	1.755	-	-	-	11,0	32,7
USA	104	104.200	99.096	-	-	-	799,0	20
Summe	439	380.489	361.466	31	26.102	24.835	2.587,3	-

Quellen: Betreiberangaben, IAEO, nucnet, veröffentlicht in atw 4/04, S. 270

Tabelle 11: Kernkraftwerksblöcke (Stichtag 31.12.2003), nukleare Stromerzeugung und Anteil der Kernenergie an der Gesamtstromerzeugung 2003 weltweit (vorläufige Angaben),

Der kräftige Einschnitt in die amerikanischen Kernenergie-Ausbaupläne hat vielfältige Ursachen, die von dem „Tschernobyl-Einfluss" zu trennen sind. Ein wesentlicher Faktor ist das Verfahren, nach dem in den USA die Strompreise genehmigt werden bzw. bis zur Deregulierung wurden. Dabei werden Kraftwerkstypen mit hohen Anlage- und niedrigen Betriebskosten (Wasserkraft- und Kernkraftwerke) gegenüber solchen mit niedrigen Anlage- und hohen Betriebskosten (fossil befeuerte Kraftwerke) benachteiligt. Betriebskosten können direkt zur Bemessung der Stromtarife zu Grunde gelegt werden, während Finanzierungskosten bis zum Bauabschluss eines Kraftwerks vorgehalten werden müssen. In den USA wurden auch Kernkraftwerksprojekte in fortgeschrittenem Bauzustand storniert, da dies als Bauabschluss zählt. Folglich konnten die bis dahin aufgelaufenen Finanzierungskosten sofort in die Bemessung der Stromtarife einfließen.

Weitere Faktoren sind lange Bauzeiten, schleppende Genehmigungsverfahren und teilweise auch ein hohes Zinsniveau. Sie verschlechterten die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie gegenüber der preiswerten amerikanischen Kohle in einigen Bundesstaaten der USA. In Abhängigkeit von den aktuellen Kohlepreisen bestehen in einigen Bundesstaaten mal Kostenvorteile für die Kohle, mal für die Kernenergie. In den anderen Bundesstaaten kann man weitgehend von Kostengleichheit sprechen.

Die Grundeinstellung der US-Bürger zur Kernenergie war bis Ende der 1970er Jahre positiv, rund 60 % sprachen sich damals für die Kernenergie aus. Nach dem Störfall in Harrisburg (1979) kippte die Stimmung und erreichte nach dem Unfall in Tschernobyl einen Tiefstand. Die aufkommende Klimadiskussion sowie die Dürre in den USA im Jahr 1988 wurden damals als wesentliche Ursachen für eine erneute Zunahme der Zustimmung zur Kernenergie gewertet.

Mittlerweile spricht man wieder von einer Renaissance der Kernenergie in den USA. Rasch steigende Erdgaspreise und die Stromversorgungskrise in Kalifornien haben das öffentliche Interesse verstärkt auf die aktuellen Probleme der Energieversorgung des Landes gelenkt und die Bedeutung der Energiepreise für wirtschaftliches Wachstum und Lebensstandard ins Bewusstsein gerufen. Durch die Terroranschläge vom 11. September 2001 sowie die Kriege in Afghanistan und im Irak rückte die Frage nach der Energieversorgungssicherheit und der verstärkten Nutzung heimischer Energieträger wieder in den Vordergrund. Gegenwärtig sprechen sich über 70 % der US-Bürger für den Weiterbetrieb der Kernkraftwerke aus; die Zustimmung für den Bau neuer Anlagen wiederum stieg von ehemals 40 auf mittlerweile 70 %. Bemerkenswert ist dabei auch die relativ hohe Akzeptanz bei den ökologischen Gruppierungen in den USA.

Japan

Als Industrienation mit der stärksten Einfuhrabhängigkeit im Energiebereich – Japan muss über 80 % seiner Primärenergie importieren – räumt man der Kernenergie einen hohen Stellenwert ein. Die Planungen der japanischen Regierung hatten das Ziel, mit Kernenergie den hohen Anteil an importiertem Öl in der Stromerzeugung zu substituieren. Dies ist mittlerweile gelungen, Kernenergie deckt derzeit 40 % des Strombedarfs. Im internationalen Vergleich ist Japan nach den USA und Frankreich der drittgrößte Produzent an Nuklearstrom (vgl. Tabelle 11).

In Japan war der zügige Ausbau der Kernenergie in den vergangenen Jahrzehnten nur möglich, weil Staat und Betreiber dem aus historischen Gründen besonders stark entwickelten nuklearen Sicherheitsbegehren der japanischen Bevölkerung Rechnung trugen. Mit Behutsamkeit und pragmatischen Argumenten warb man bei der Bevölkerung um die Akzeptanz der Kernenergie. Die Nukleardebatte verlief in Japan daher meist sachlich und konzentrierte sich auf konkrete Fragen der Sicherheit kerntechnischer Anlagen, deren Klärung im Rahmen von Bürgerdialogen gesucht wurde. Auch nach 1986 war in Japan eine insgesamt positive Einstellung zur Kernenergie zu verzeichnen.

Die japanischen Betreiber von Kernkraftwerken unternehmen große Anstrengungen, um mit öffentlicher Darlegung ihrer Planungen Vertrauen zu schaffen und die Bevölkerung davon zu überzeugen, dass bei kerntechnischen Investitionen die Sicherheit Vorrang hat. In Japan spielt bei der Sorge um die Sicherheit der Kernkraftwerke die Erdbebengefahr eine besondere Rolle. Durch einen Kritikalitätsunfall in der experimentellen Urankonversionsanlage von Tokaimura im September 1999 erlitt die Akzeptanz der Kernenergie einen Rückschlag. Einen zusätzlichen Vertrauensverlust erlitt sie im Jahre 2003 durch die Aufdeckung von Unkorrektheiten bei der Dokumentation von Prüfergebnissen bei den Anlagen eines Betreibers.

Frankreich

Auch in Frankreich war die hohe Importabhängigkeit im Energiesektor ein wesentlicher Grund für den raschen Ausbau der Kernenergie. Weitere strategische Ziele waren die Entlastung der Handelsbilanz, sowohl durch Importsubstitution als auch durch Stromexporte. Gleichzeitig sollten für die französische Industrie und die privaten Verbraucher die Stromkosten gesenkt und damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der französischen Unternehmen verbessert werden. Nach den USA hat Frankreich das zweitgrößte Kernenergieprogramm (vgl. Tabelle 11). Die französischen Kernkraftwerke decken rund 75 % des Strombedarfs. Durch die Kernenergie stieg die Selbstversorgungsquote der Energiewirtschaft zwischen

1973 und heute von 23 % auf 50 %. Dagegen sank der Anteil des Öls bei der Stromerzeugung in diesem Zeitraum von 39 % auf unter 3 %. Der Unfall in Tschernobyl beeinflusste die Einstellung der französischen Bevölkerung zur Kernenergie nicht wesentlich. Die breite Mehrheit der Bevölkerung glaubt an die Zukunft der Kernenergie in Frankreich. Nur durch Ereignisse wie den 10. Jahrestag des Unfalls in Tschernobyl (1996) und die französischen Atomtests im Pazifik verlor die Kernenergie in der Bevölkerung vorübergehend leicht an Unterstützung.

Nach Abschluss des Ausbaus des französischen Kernenergieprogramms rückt jetzt die Frage in den Vordergrund, mit welcher Strategie vom nächsten Jahrzehnt an die Anlagen ersetzt werden sollen, die an das Ende ihrer Lebensdauer kommen. Anfang des Jahres 2003 wurde auf Veranlassung der Regierung eine öffentliche „Nationale Energiedebatte" zur Energieversorgung geführt. Sie soll den Input für die Festlegung des Energiemixes für die nächsten 30 Jahre liefern. Ein neues Energiegesetz ist in Vorbereitung. Man rechnet mit einem parlamentarischen Beschluss, der den Bau eines ersten EPR in Frankreich als Referenz für den späteren Serienbau zum Ersatz älterer Kernkraftwerke ermöglicht.

Volksabstimmungen in Schweden, Österreich, Italien und der Schweiz

In Schweden gab es 1980 eine Volksabstimmung und einen Parlamentsbeschluss, nach dem bis zum Jahr 2010 alle 12 Kernkraftwerke, die derzeit rund 50 % des Strombedarfs decken, abzuschalten sind. Verschiedene Untersuchungen ergaben, dass die volkswirtschaftlichen Kosten eines Kernenergieausstiegs für das Land zu hoch sein würden. Zudem sind Ersatzkraftwerke nur auf fossiler Basis möglich, da die im eigenen Land vorhandenen Wasserkraftpotentiale aus Gründen des Naturschutzes nicht weiter erschlossen werden sollen. Fossile Ersatzkraftwerke würden jedoch die CO_2-Bilanz des Landes erheblich verschlechtern.

Bisher wurde nur einer der zwölf Reaktoren, Barsebäck 1, abgeschaltet und die Betreiberfirma dafür vom schwedischen Staat entschädigt. Da die Regierung für den zweiten Reaktor die Erfüllung der genannten Bedingungen nicht nachweisen kann, hat sich der Ausstieg festgefahren. Derzeit versucht man, den Ausstieg mit den Betreiberfirmen zu verhandeln, wobei auch Laufzeiten der Kernkraftwerke von deutlich über 40 Jahre in Aussicht gestellt werden. Bei der Standortfrage für ein Endlager ist Schweden in einer komfortablen Situation, da sich zwei Gemeinden um dieses Projekt bewerben.

Ähnlich wie in Schweden machten auch Österreich, Italien und die Schweiz ihre Kernenergiepolitik von Volksabstimmungen abhängig. In Österreich entschieden sich 1978 exakt 50,47 % der Wahlberechtigten gegen ein betriebsbereites Kernkraftwerk am Standort Zwentendorf, was den Ausstieg des Landes aus der Kernenergie bedeutete. Auch in den 1980er und 1990er Jahren wurde das Thema Kernenergie phasenweise sehr emotional in den österreichischen Medien und in der Politik diskutiert, jetzt in Bezug auf Kernkraftwerke in den Nachbarländern, vor allem Tschechien und der Slowakei. Die Mehrheit der Bevölkerung ist gegen die Kernenergie eingestellt. Damit nimmt sie in der EU eine Sonderstellung ein. Im „Eurobarometer" der EU vom Dezember 2002 sprach sich die Mehrheit der europäischen Bevölkerung für den Weiterbetrieb der bestehenden und auch den Neubau von Kernkraftwerken aus unter der Voraussetzung, dass Endlager für den radioaktiven Abfall existieren.

Italien führte im November 1987 einen Volksentscheid durch, aus dem ein Moratorium hinsichtlich der Kernenergie resultierte. Daraufhin wurden die drei laufenden Kernkraftwerke abgeschaltet und die Arbeiten an fünf in Bau befindlichen Anlagen eingestellt. Bis heute zeichnet sich in Italien keine Wiederaufnahme des Kernenergieprogramms ab, obwohl das Moratorium inzwischen abgelaufen ist. Mittlerweile dürfen sich italienische EVU an Kernkraftwerksbetreibern im Ausland beteiligen. Derzeit deckt Italien rund ein Sechstel seines Strombedarfs mit Nuklearstromimporten überwiegend aus Frankreich.

In der Schweiz stimmte die Bevölkerung im Jahr 1990 (nach 1979 und 1984) zum dritten Mal über die Zukunft der Kernenergie ab. Eine der Vorlagen sah ein zehnjähriges Moratorium für den Bau von Kernkraftwerken vor, die derzeit rund 40 % des Strombedarfs decken. Diese Initiative billigten 54,6 % der Wähler. Im Mai 2003 fand eine weitere Abstimmung statt. Dabei haben die Schweizer Bürger den beiden auf den Ausstieg aus der Kernenergie gerichteten Volksinitiativen „Strom ohne Atom" und „MoratoriumPlus" eine Absage erteilt. Den Ausschlag gaben dabei überwiegend wirtschaftliche Argumente. Mit dieser Abstimmung wurde auch der Forderung nach einer Erneuerung des im Jahr 2000 ausgelaufenen Moratoriums für den Bau neuer Kernkraftwerke eine Absage erteilt.

Spanien, Belgien und die Niederlande

In Spanien erging 1983 ein Moratorium gegen den weiteren Ausbau der Kernenergie. Die Arbeiten an fünf zum Teil bereits weitgehend fertig gestellten Anlagen wurden daraufhin eingestellt. Die neun laufenden Anlagen, die rund 28 % des Strombedarfs decken, werden weiter betrieben.

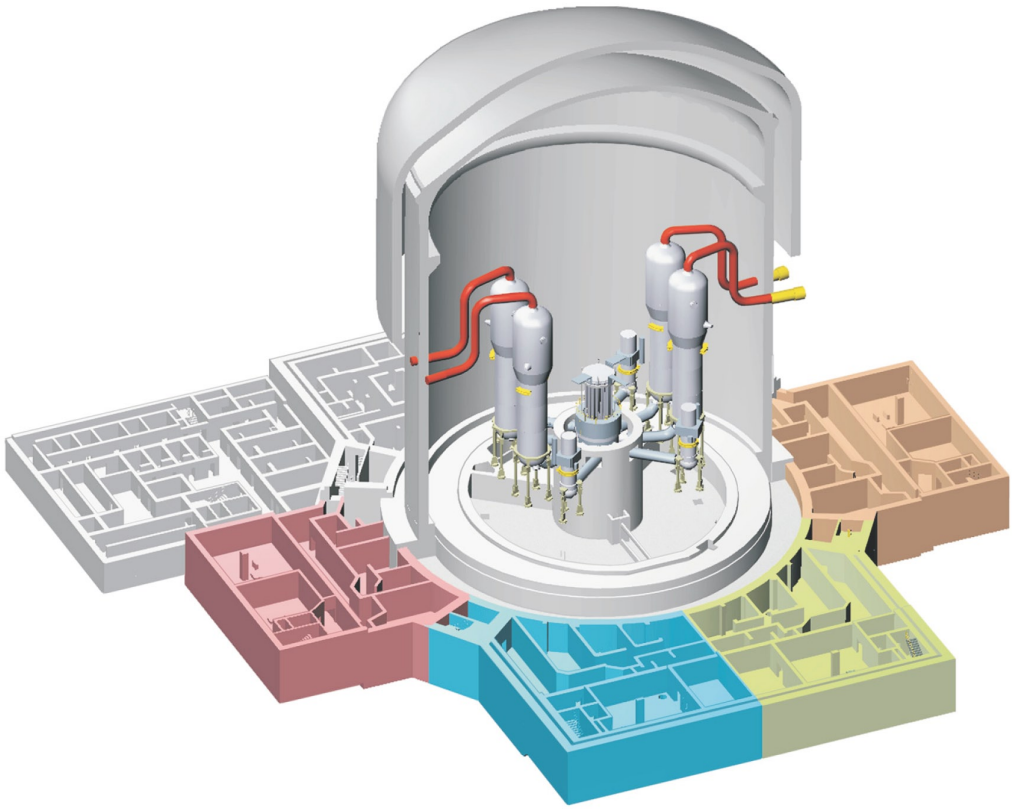


Bild 08: Querschnitt durch den EPR (European Pressurized Water Reactor)

Die belgische Energiepolitik war nach 1973 durch den schnellstmöglichen Abbau der Ölimportabhängigkeit gekennzeichnet. Das bereits begonnene Kernenergieprogramm wurde damals forciert. Derzeit decken die sieben Kernkraftwerke in Belgien knapp 60 % des Strombedarfs. Ende der 1980er Jahre stoppte die belgische Regierung die geplante Errichtung einer achten Anlage. Im Jahr 2002 folgte die damalige Regierung der Entscheidung in Deutschland und beschloss ein Gesetz zum Ausstieg aus der Kernenergie. Dieses Gesetz erlaubt allerdings einen 40jährigen Betrieb der Anlagen und ist mit einer Klausel versehen, die bei entsprechendem Strombedarf den Weiterbetrieb durch ein Dekret, also ohne ein neues Gesetz, ermöglicht.

Die Niederlande standen nach 1986 der weiteren Kernenergienutzung reserviert gegenüber. Auf Grund des Tschernobyl-Unfalls wurden 1987 die Planungen für zwei weitere Kernkraftwerke verschoben. Obwohl das Land über genügend kostengünstige Erdgasreserven verfügt, diskutierte man in den 1990er Jahren erneut die Frage, ob auf den Ausbau der Kernenergie verzichtet werden soll. Eine Nachfolgeregierung hatte vergeblich versucht, das einzige niederländische Kernkraftwerk Borssele erst durch Änderung der Betriebsgenehmigung, dann durch Zivilklage gegen den Betreiber, abzuschalten. Die derzeitige Regierung hat zugesichert, dass die Anlage bis zum Erreichen der Auslegungslebensdauer von 40 Jahren im Jahr 2013 betrieben werden darf.

Trendsetter Finnland

In Finnland wiederum, wo 1979 Meinungsumfragen in der Bevölkerung eine eher ablehnende Haltung zur Kernenergie zum Ergebnis hatten, sprach sich das finnische Parlament noch im gleichen Jahr für die weitere Nutzung der Kernenergie aus. Nach dem Unfall in Tschernobyl einigten sich die politischen Parteien darauf, bis zum Jahr 1991 keine neuen Kernkraftwerke zu bauen. Im Jahr 2002 billigte die finnische Regierung mit Zustimmung des Reichstags angesichts des steigenden Strombedarfs den Bau eines fünften Kernkraftwerks, wobei Versorgungssicherheit, Klimaschutzpolitik und Wirtschaftlichkeit als ausschlaggebende Gründe genannt wurden. 1993 war ein entsprechender Antrag noch gescheitert.

Im Vergleich zu anderen Industrieländern hat Finnland auf Grund seiner energie- und stromintensiven Industriestruktur einen hohen Energiebedarf pro Kopf der Bevölkerung. Hinzu kommt das kalte Klima und die großen Entfernungen im dünn besiedelten Land. Elektrische Energie spielt in Finnland eine noch größere Rolle als in anderen Industrieländern. Etwa die Hälfte der Primärenergie wird in Finnland zur Stromerzeugung eingesetzt (in Deutschland etwa ein Drittel). Finnland hat keine Vorkommen an Kohle, Erdöl und Erdgas und muss daher 70 % seines Energiebedarfes importieren.

Auf der Basis einer internationalen Ausschreibung hat der finnische Stromversorger TVO im Dezember 2003 bei einem Konsortium aus dem deutsch-französischen

Unternehmen Framatome ANP und Siemens ein fünftes Kernkraftwerk bestellt. Dabei wird erstmalig der neue europäische Druckwasserreaktor EPR mit einer Leistung von rund 1.600 MW errichtet. Die Anlage soll 2009 den Betrieb aufnehmen.

Schwellen- und Entwicklungsländer

Der Unfall in Tschernobyl hat sich auf die Energiepolitik der wenigen Schwellen- und Entwicklungsländer, die damals eine eigene Kernenergiewirtschaft aufbauten, kaum ausgewirkt. Anfang 1986 waren in sieben Staaten dieser Ländergruppe 29 Anlagen in Betrieb und 22 in Bau. Mittlerweile sind in neun Staaten 55 Kernkraftwerke in Betrieb und 17 Anlagen in Bau (vgl. Tabelle 11). Der weit überwiegende Anteil dieser Standorte konzentriert sich auf China, Indien, Südkorea und Taiwan. Die Nutzung der Kernenergie wird in den Schwellen- und Entwicklungsländern durch die limitierenden Kriterien für ihren kommerziellen Einsatz (insbesondere Finanzierung, Know-how, nukleare Infrastruktur und Stromnetzkapazität) auf wenige beschränkt bleiben.

Neubewertung der Kernenergie

Diese Bilanz der Reaktionen einzelner Länder zeigt, dass der Unfall in Tschernobyl den Ausbau der Kernenergie in den westlichen Industrieländern etwas gebremst, aber nur einzelne Länder zu einem Verzicht auf Kernenergie bzw. ihren weiteren Ausbau bewegt hat. Bei der Bewertung von Vor- und Nachteilen einzelner Stromerzeugungsarten erlitt die Kernenergie im Vergleich mit anderen Energieträgern allerdings Rückschläge. Insbesondere durch die Sorgen um den Klimaschutz und die hohe Abhängigkeit vieler Länder von Energieimporten hat sie, beginnend in den 1990er Jahren, international jedoch eine Neubewertung erfahren. Besonders ins Gewicht fällt dabei, dass Kernkraftwerke beim Betrieb kein CO_2 ausstoßen und derzeit die kostengünstigste Option zur Klimaschonung sind. Nach wie vor spricht für die Kernenergie die Versorgungssicherheit, da sie eine „quasi-heimische" Energiequelle ist, sowie die Wettbewerbsfähigkeit des Nuklearstroms aus den derzeitigen Anlagen.

Mit der Berücksichtigung des Klimaschutzes wird das nachvollzogen, was der gerade von Umweltpolitikern besonders geachtete „Club of Rome" bereits 1988 in seinem Bericht „Jenseits der Grenzen des Wachstums" zur Güterabwägung angeregt hatte: „Die Katastrophe von Tschernobyl hat die Furcht der Öffentlichkeit vor der Kernenergie verstärkt. Die Zukunft mag jedoch zeigen, dass in der Konsequenz des Treibhauseffektes sich das Verbrennen von Kohle und Öl als gefährlicher erweist als der Einsatz von Kernenergie. Somit wird der Übergang in das nicht-fossile Energie-Zeitalter eine zwingende Notwendigkeit, in welchem die umfassende Nutzung der Sonnenenergie und eine akzeptable Anwendung der Kernenergie zur Erzeugung von Wärme, Treibstoffen, Elektrizität und Wasserstoff stattfinden werden."

In ihrem Abschlussbericht über das Grünbuch („Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit") hat die EU-Kommission für die EU-15 festgestellt: „Die Wahlmöglichkeiten der Mitgliedstaaten müssen möglichst umfassend sein und ohne Voreingenommenheit hinsichtlich ihrer Souveränität in diesen Fragen. Die Option Kernenergie steht den Staaten der EU, die dies wünschen, offen".

In den USA wiederum haben mittlerweile 23 Kernkraftwerksblöcke Lizenzverlängerungen für einen Betriebszeitraum von insgesamt 60 Jahren erhalten. 10 Verfahren laufen aktuell, 21 weitere sollen bis zum Jahre 2006 eingeleitet werden. Kanada hat kürzlich vorübergehend stillgelegte Reaktoren wieder reaktiviert, um den wachsenden Strombedarf zu decken. In den aufstrebenden rohstoffarmen asiatischen Staaten Südkorea, Taiwan, China und Indien sind derzeit 14 neue Anlagen in Bau. Anfang 2004 sind insgesamt 439 Kernkraftwerke in Betrieb, sie decken rund ein Sechstel des globalen Strombedarfs. Nuklearstrom versorgt damit weltweit rechnerisch rund eine Milliarde Menschen.

2. Auswirkungen auf die öffentliche Meinung, die Energiepolitik und die Kernenergie in Deutschland

Zusammenfassung

In keinem westlichen Land wurde der Unfall in Tschernobyl derart intensiv und emotional diskutiert wie in Deutschland. Durch die widersprüchlichen Informationen über den Unfall und seine möglichen Folgen war dem einzelnen Bürger die eigene Meinungsbildung erheblich erschwert. Über die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen hinaus kam es in diesem Umfeld teilweise zu stark überzogenen Reaktionen, wie beispielsweise der überflüssigen Entsorgung der sogenannten „Strahlenmolke". In der öffentlichen Meinung zur Kernenergie hinterließ der Unfall tiefe Spuren und entfachte innerhalb der politischen Parteien eine lang anhaltende Kontroverse. Bemühungen in den 1990er Jahren um einen erneuten energiepolitischen Konsens zwischen den Parteien und gesellschaftlichen Gruppen scheiterten. Im Juni 2000 gelang es, nach langwierigen Verhandlungen zwischen der Bundesregierung und den Betreiberunternehmen, einen Kompromiss über den befristeten Weiterbetrieb der bestehenden deutschen Kernkraftwerke zu schließen. In jüngster Zeit mehren sich die Stimmen, die einen parteiübergreifenden Energiekonsens fordern, mit dem auch der Ausstieg aus der Kernenergie neu verhandelt werden müsse.

Für Deutschland war der Unfall hinsichtlich seiner gesellschaftlichen und politischen Bedeutung erheblich folgenschwerer als für andere Länder. „Tschernobyl" wurde in der Öffentlichkeit und Politik vielfach nicht nur zum Symbol in der Auseinandersetzung über Gefahren und Nutzen der Kernenergie, sondern stand auch für die Probleme der technischen Entwicklungen schlechthin („Tschernobyl ist überall."). Diese Wahrnehmung des Unfalls löste häufig mehr Betroffenheit aus als die Zahl der Toten und Strahlengeschädigten im fernen Unfallgebiet.

Glaubwürdigkeit von Informationsquellen und Medienberichterstattung

Die Informationslage nach dem Unfall war geprägt durch fundamental widersprüchliche Bewertungen des Ereignisses. Die Bundesregierung, beraten von der Strahlenschutzkommission (SSK), ging nicht von einer ernsthaften Gefährdung der westlichen Bevölkerung aus und hielt individuelle Schutzmaßnahmen für nicht erforderlich. In den Folgejahren durchgeführte Studien belegten, dass diese Vorgehensweise richtig war. Dennoch fassten viele Bürger die beschlossenen Maßnahmen und Grenzwerte als eine „halbherzige opportunistische Reaktion" auf. Gleichzeitig kamen Umweltverbände und Bürgerinitiativen, die Grünen, aber auch SPD-geführte Landesregierungen und einzelne Gemeinden zu anderen Einschätzungen. Sie beschlossen niedrigere Grenzwerte für den Strahlenschutz und empfahlen darüber hinaus weitergehende individuelle Maßnahmen wie beispielsweise den zeitweiligen Verzicht auf Frischmilch und Freilandgemüse sowie Einschränkungen beim Spielen von Kindern im Freien. Auch unter Berücksichtigung der Notwendigkeit von Vorsorgemaßnahmen mussten Außenstehende zeitweilig den Eindruck gewinnen, dass zwischen diesen gesellschaftlichen Gruppierungen ein regelrechter Unterbietungswettbewerb um den niedrigsten Grenzwert stattfand.

Für die einzelnen Maßnahmen wurden insgesamt beträchtliche Steuermittel aufgewendet. Allein die Vernichtung von Nahrungs- und Futtermitteln kostete rund 231 Mio. €. Sie erfolgte nicht zuletzt auf Grund der politisch motivierten willkürlichen Grenzwertfestlegungen. Während für die Belastung der Milch mit Jod international damals 3.700 Bq/l vorgeschrieben waren, galten in Deutschland 500 und in Hessen sogar 20 Bq/l. Letzterer Wert liegt weit unter der natürlichen Aktivität der Milch.

Verwunderung rief in Nachbarländern auch der „teure Scherz von fast 51 Mio. €" hervor, den sich Deutschland mit der überflüssigen „Entsorgung" der so genannten „Strahlenmolke" leistete. Sie schädigte nach Ansicht von Strahlenschutzexperten die internationale Reputation des deutschen Strahlenschutzes. Mit der Molke, so wird argumentiert, „verschwand der letzte Rest der Verhältnismäßigkeit in der Reaktion auf eine technische Katastrophe. Wird die Bevölkerung einmal so aufwendig vor dem millionsten Teil der natürlichen Strahlenexposition geschützt, so wird nie mehr irgendeine Technik oder auch nur die geringste Veränderung gerechtfertigt werden können."

Für den einzelnen Bürger entstanden dadurch erhebliche Probleme beim Versuch einer eigenen Meinungsbildung. Wichtige Informationen waren nicht verfügbar, andere wiederum irrelevant für die eigenen Informationsbedürfnisse. Manche Informationen waren für den Laien unverständlich, mit Unsicherheiten behaftet oder widersprüchlich. Angesichts unterschiedlicher Bewertungen von Experten und selbsternannten Gegenexperten blieb es dem einzelnen Bürger überlassen, sich ein eigenes Bild zu machen.

Die Medien als Mittler zwischen den politischen und wissenschaftlichen Informationsquellen und der breiten Öffentlichkeit bildeten für die Bürger die wesentliche Informationsquelle. Studien zur Berichterstattung über Tschernobyl zeigen, dass die meisten Redaktionen mit dieser Aufgabe überfordert waren. Man beschränkte sich auf Grund fehlender wissenschaftlicher Kompetenz zur Beurteilung von Ursachen, Ausmaß und Bedrohungspotential des Unfalls im Wesentlichen darauf, die Vielfalt widersprüchlicher politischer und wissenschaftlicher Beurteilungen und Verhaltensempfehlungen wiederzugeben. Viele Medien ließen sich in der Wahl ihrer Themen von den politischen Stellungnahmen leiten und verzichteten weitgehend auf eine eigenständige kritische Beurteilung. So war etwa die Diskussion der Grenzwertproblematik oder eine eingehende Erörterung der möglichen Folgen für Menschen und Umwelt in der Berichterstattung deutlich unterrepräsentiert gegenüber den politischen Themen wie Ausstiegsdiskussion und Parteienstreit.

Folgen für die Einstellung zur Kernenergie

Angesichts dieses Umfeldes war es nicht verwunderlich, dass der Unfall tiefe Spuren in der öffentlichen Meinung hinterließ. „Tschernobyl" traf in Deutschland zudem auf eine in Sachen Kernenergie sensibilisierte Öffentlichkeit sowie auf eine politische und wissenschaftliche Arena, die auf die kontroverse Behandlung kernenergiebezogener Themen unvorbereitet war. Die Diskussion um die Kernenergie war in der Bundesrepublik schon vor dem Reaktorunfall politisiert und polarisiert. Seit Anfang der 1970er Jahre formierte sich eine aktive Opposition außerhalb des Parlaments gegen die auf den Ausbau der Kernenergie zielende Energiepolitik der jeweiligen Bundesregierung und meldete sich medienwirksam mit spektakulären Operationen zu Wort. Durch den Einzug der „Grünen" in den Bundestag und die Etablierung einer „alternativen wissenschaftlichen Infrastruktur" von

* Becker, K. (1997): Strahlenkrank wurden nur wenige. In: Die Presse vom 23.05.1997

ökologischen Forschungseinrichtungen war die Kernenergiekontroverse in der Bundesrepublik institutionell stabil verankert.

Der Unfall in Tschernobyl gab der Diskussion um die Sicherheit der Kernenergie in der Bundesrepublik neuen Zündstoff. Blitzumfragen nach dem Ereignis zeigten, dass die Zahlen der strikten Gegner der Kernenergie auf mehr als das Doppelte des Standes vor dem Unfall gestiegen war. Allerdings können solche Zahlen nicht mehr als einen Eindruck von momentanen Stimmungen in der Bevölkerung vermitteln und sagen nur wenig über handlungsrelevante politische Einstellungen aus. Obwohl der Unfall zu erheblichen Veränderungen des „abfragbaren" Meinungsbildes zur Kernenergie führte, schlugen sich diese kaum im Wahlverhalten nieder. Einer Studie des Forschungszentrums Jülich zufolge belegten dies die nachfolgenden Wahlen; die „Ausstiegspolitik" der SPD aus der Kernenergie nach 1986 wurde von den Wählern bei ihren Wahlentscheidungen „nicht honoriert". Dies lässt nach Ansicht der Jülicher Forscher den Schluss zu, dass das Bild von einer in klare Kernenergiegegner und -befürworter gespaltenen Bevölkerung die komplexe Situation bei den Handlungsorientierungen der Bürger auch nach dem Unfall nur unzureichend abbildet.

Energieprogramme der Regierungen und Parteien

In den bundesdeutschen Energieprogrammen der vergangenen Jahre wurden unterschiedliche Perspektiven für die Kernenergiepolitik aufgezeigt. 1974 hielt man einen Ausbau der Kernenergiekapazität bis zum Jahr 1985 auf rund 50.000 MW für „wünschenswert". In einer Fortschreibung des Energieprogramms hieß es 1977 nur noch, dass die Bundesregierung nach vorrangiger Nutzung anderer Möglichkeiten „einen begrenzten Ausbau der Kernenergie für unerlässlich und – auch auf Grund des erreichten hohen Sicherheitsstandards – für vertretbar" hält. In diesem neuen Verständnis wurde die von der Bundesregierung angestrebte Kernkraftleistung für das Jahr 1985 auf 24.000 MW reduziert.

Unter dem Eindruck von Tschernobyl wurde am 24. September 1986 ein Energiebericht verabschiedet, in dem naturgemäß Fragen der Kernenergiepolitik im Mittelpunkt standen. Er bekräftigt die Haltung der Bundesregierung zur Kernenergie, deren friedliche Nutzung notwendig und verantwortbar bleibe, da die Sicherheit der Kernkraftwerke Vorrang vor allen anderen Überlegungen habe. Bei den deutschen Anlagen sah man keinen Anlass für Sofortmaßnahmen. Gleichwohl wurden sie erneut auf ihren Sicherheitsstandard und auf mögliche Verbesserungen hin untersucht. Weiterhin wurde betont, dass auf Kernenergie kurz- und mittelfristig nicht verzichtet werden könne, da ein Ausstieg schwerwiegende Folgen für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt in Deutschland hätte. Die Bundesregierung sagte zu, die Möglichkeiten zur teilweisen Ablösung der Kernenergie gründlich zu untersuchen.

Die Regierungskoalition aus CDU/CSU und FDP betonte in den energiepolitisch relevanten Passagen ihrer Programme im Prinzip die Notwendigkeit, die Kernenergie auch weiterhin nutzen zu wollen und bezeichnet sie als einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Minderung der CO_2-Emissionen. „Kernenergie ist notwendig, bis es eine Alternative gibt, nur insoweit kann sie als Übergangsenergie bezeichnet werden".

Auf dem Nürnberger Parteitag entschied sich die SPD am 27. August 1986 für einen „geordneten Rückzug" aus der Kernenergie – entgegen den Warnungen von Betriebsräten und Gewerkschaftlern. In einem „Sofortprogramm" sah der Leitantrag des Parteivorstandes vor, den Ausstieg einzuleiten und innerhalb von zwei Jahren die ersten und in zehn Jahren die letzten Kernkraftwerke abzuschalten. Die Bundestagsfraktion wurde aufgefordert, noch in der laufenden Legislaturperiode Gesetzesentwürfe zur Änderung des Atom- und Energiewirtschaftsgesetzes vorzulegen, mit dem Ziel, den Import von Nuklearstrom zu verhindern und den Export von Kernkraftwerken zu verbieten. Das am 17. November 1992 in Bonn verabschiedete Sofortprogramm der SPD hielt am Ausstieg aus der Kernenergie fest, jedoch ohne exakte Zeitangaben festzulegen. Angesichts des abnehmenden Interesses der Bevölkerung an der Kernenergiekontroverse konzentrierte die SPD ihre auf einen Ausstieg abzielende Politik in den Folgejahren immer mehr auf den „ausstiegsorientierten" Vollzug des Atomgesetzes in den Bundesländern, in denen sie in der Regierung war.

Die Grünen verstärkten ihre gegen die Kernenergie gerichteten Aktivitäten nach 1986 wesentlich, wobei sie während ihrer Zugehörigkeit zum Bundestag vor allem diesen als Plattform nutzte. Ein im November 1984 abgelehnter Gesetzesentwurf der Fraktion der Grünen im Bundestag über die sofortige Stilllegung von Kernkraftwerken erhielt nach dem Unfall in Tschernobyl neue Aktualität. In den Bundesländern, in denen die Grünen in der Folgezeit Koalitionsregierungen mit der SPD bildeten und das Umweltressort erhielten, wurde der Ausstieg aus der Kernenergie angestrebt, aber nirgends verwirklicht.

Suche nach einem energiepolitischen Konsens

Ende 1992 kam es durch Initiativen der Vorstandsvorsitzenden von RWE und VEBA zu einem erneuten Bemühen, auf der Suche nach einem Energiekonsens Bewegung in die verhärteten Fronten der politischen Parteien zu bringen. Die Vorstandsvorsitzenden schlugen in einem

Schreiben an den Bundeskanzler vor, durch Gespräche mit Vertretern des Bundes und der Länder zu einem parteiübergreifenden Energiekonsens zu gelangen. Dieser sollte eine Grundlage für die zukünftigen Planungen der EVU und auch für die zukünftige Kernenergienutzung in Deutschland bilden. Die wesentlichen Ziele dieser Initiative waren die Sicherstellung des Weiterbetriebs der laufenden Kernkraftwerke sowie das Offenhalten der Kernenergie-Option für die Entwicklung fortgeschrittener Reaktoren. Weiterhin sollte die Festlegung für den zukünftigen Weg der Entsorgung hinsichtlich der Strategie der Wiederaufarbeitung oder direkten Endlagerung sowie die Bereitstellung eines Endlagers für radioaktive Abfälle verhandelt werden.

Die Initiative führte zu einer Serie von Gesprächen auf politischer Ebene unter Hinzuziehung der Energiewirtschaft und Vertretern gesellschaftlicher Gruppen. Über das eigentliche Ziel hinaus, ein tragfähiges Konzept für die weitere Kernenergienutzung in Deutschland zu entwickeln, erweiterte sich das Spektrum der Themen auf den Gesamtkomplex zukünftiger Energieversorgungsstrategien. Trotz der Bereitschaft der Bundesregierung und der Elektrizitätswirtschaft, den Interessen der damaligen SPD-Opposition weitgehend entgegenzukommen, kam eine Übereinstimmung in den wichtigsten energiepolitischen Fragen nicht zu Stande. Verschiedene Gesprächsrunden in den Jahren 1993, 1994/95 und 1996/97 brachten keine für beide Seiten tragfähigen Kompromisslinien zu Tage, so dass die Konsenssuche Ende 1997 scheiterte.

Kompromiss zwischen der Bundesregierung und den Betreiberunternehmen

Nach der Wahl zum 14. Deutschen Bundestag übernahm im September 1998 die rot-grüne Koalition die Regierungsverantwortung. Die Konsensgespräche wurden wieder aufgenommen und führten nach langwierigen Verhandlungen im Juni 2000 zu einem Kompromiss zwischen der Bundesregierung und den vier Betreiberunternehmen EnBW, RWE, VEBA und VIAG. In der ausgehandelten Vereinbarung gewährleistet die Bundesregierung, dass Betrieb und Entsorgung der Kernkraftwerke in Zukunft nicht durch politisch motivierte Störung behindert werden.

Auf dieser Basis gelten die festgelegten Restmengen und die daraus resultierenden verkürzten Laufzeiten der Kernkraftwerke für die Betreiberunternehmen als betriebswirtschaftlich vertretbar. Die gewährte Übertragung von Strommengen gibt den Unternehmen die für eine wirtschaftliche sinnvolle Nutzung der Kraftwerke notwendige Flexibilität. Eine Alternative, mit der sich ein vergleichbarer Schutz der Investitionen in die Kernenergie erzielen ließe, war angesichts der politischen Mehrheit in Deutschland nicht erkennbar.

Für die einzelnen Kernkraftwerke wurden Strommengen festgelegt, die noch erzeugt werden können. Sie sind grundsätzlich auch auf andere Anlagen übertragbar. Die für alle deutschen Kernkraftwerke (inklusive Mülheim-Kärlich) vereinbarte Gesamtmenge beträgt insgesamt 2.623,30 TWh. Das entspricht rechnerisch einer Gesamtlaufzeit von 32 Jahren pro Anlage mit hoher Ausnutzung.

Für die Restlaufzeiten hat sich die Bundesregierung auch verpflichtet, einerseits die Entsorgung der Kernkraftwerke zu gewährleisten, andererseits die wirtschaftlichen und die steuerlichen Rahmenbedingungen nicht einseitig zu Lasten der Kernenergienutzung zu verändern. Zudem hat die Bundesregierung den im internationalen Vergleich hohen Sicherheitsstandard der deutschen Anlagen und die dahinter stehende Sicherheitsphilosophie anerkannt. Streitfragen sollen in einer Arbeitsgruppe unter Leitung des Chefs des Bundeskanzleramtes gelöst werden.

Regelungen für Brennelementtransporte, Wiederaufarbeitungsverträge und Endlagerprojekte

Somit konnten Brennelementtransporte wieder aufgenommen und bis zur tatsächlichen Verfügbarkeit standortnaher Zwischenlager durchgeführt werden. Für die Abarbeitung bestehender Wiederaufarbeitungsverträge wurde ein Zeitraum von fünf Jahren vereinbart. Der Kompromiss sieht vor, dass beide Endlagerprojekte aufrecht erhalten werden. Dokumentiert wurde auch, dass die bisherigen Erkundungen beim Endlagerprojekt Gorleben die Eignungshöffigkeit bestätigt haben. Für die weiteren Erkundungsarbeiten in Gorleben erließ die Bundesregierung ein Moratorium für den Zeitraum von mindestens 3 bis maximal 10 Jahren.

Der Kompromiss führte zu einer Beruhigung der politischen und öffentlichen Debatte und reduzierte politisch motivierte Störungen des Kernkraftwerksbetriebs erheblich. Die Betreiberunternehmen haben stets betont, dass sie zu den Vereinbarungen des Kompromisses stehen und das Primat der Politik anerkennen, jedoch die Ansicht vertreten, dass die Kernenergienutzung in Deutschland aus ökonomischen und ökologischen Gründen Bestandteil des Energiemixes bleiben sollte.

In jüngster Zeit mehrt sich die Kritik an der Energiepolitik der rot-grünen Bundesregierung, wonach bisher kein schlüssiges Konzept vorgelegt wurde, wie Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Umwelt- und Sozialverträglichkeit bei einem Ausstieg aus der Kernenergie sichergestellt werden sollen. Gefordert wird für Deutschland eine „zukunftsfähige Energiepolitik", die dem weltweit rapide steigenden Energiebedarf und den weiter zunehmenden Treibhausgasemissionen Rechnung trägt. Insbesondere seitens der EVU wird die Ausarbeitung

und Umsetzung eines parteiübergreifenden Energiekonsenses gefordert, der angesichts der anstehenden Erneuerung großer Teile des deutschen Kraftwerksparks verlässliche Rahmenbedingungen für die nächsten Jahrzehnte schafft.

Volkswirtschaftliche Verluste durch Stillstand bei der Kernenergie

Der Unfall in Tschernobyl hatte negative Auswirkungen auf die deutsche Kernenergiewirtschaft. 1988 und 1989 nahmen die drei neuesten Anlagen ihren Betrieb auf. Seitdem stagniert der Ausbau der Kernenergie einerseits auf Grund des nicht mehr so stark wachsenden Strombedarfs, andererseits auf Grund der politischen Widerstände gegen die Kernenergie.

Nach Berechnungen der deutschen Elektrizitätswirtschaft hat die restriktive Kernenergiepolitik die deutsche Volkswirtschaft bis Mitte der 1990er Jahre mindestens 13 Mrd. € gekostet, die in Form von Investitionen in die Kernenergie „in den Sand" gesetzt wurden. Die Kosten von Stillständen vorhandener Nuklearanlagen in Folge des ehemaligen „ausstiegsorientierten Gesetzesvollzugs" einzelner Landesregierungen sind dabei noch nicht berücksichtigt. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass unter den Bundesländern, die den „ausstiegsorientierten Gesetzesvollzug" praktizierten, die meisten ihren Strombedarf damals in hohem Maße mit Nuklearstrom deckten: Mitte der 1990er Jahre lag dieser Anteil in Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen und Hessen in der Bandbreite von 60 % bis 73 %. Zu den gescheiterten Projekten zählen u. a. der Schnelle Brüter in Kalkar, der Hochtemperaturreaktor in

Auftrag Jahr	Bezeichnung und Standort	brutto MW	Übergabe an Betreiber
1964	KWO Obrigheim	357	1969
1967	KKS Stade [1)]	672	1972
1967	KWW Würgassen [2)]	670	1975
1969	Biblis A	1.225	1975
1971	Biblis B	1.300	1977
1971	GKN-1 Neckarwestheim	840	1976
1982	GKN-2 Neckarwestheim	1.365	1989
1969	KKB Brunsbüttel	806	1977
1971	KKI-1 Isar	912	1979
1982	KKI-2 Isar	1.475	1988
1971	KKU Unterweser	1.410	1979
1970	KKP-1 Philippsburg	926	1980
1975	KKP-2 Philippsburg	1.458	1985
1975	KKG Grafenrheinfeld	1.345	1982
1972	KKK Krümmel	1.316	1984
1974	KRB-B Gundremmingen	1.344	1984
1974	KRB-C Gundremmingen	1.344	1985
1975	KWG Grohnde	1.430	1985
1973	Mülheim-Kärlich [3)]	1.246	1987
1975	KBR Brokdorf	1.440	1986
1982	KKE Emsland	1.400	1988

1) Anlage am 14. November 2003 außer Betrieb genommen
2) Juni 1995 Stilllegung beschlossen
3) Seit 1988 aus juristischen Gründen außer Betrieb. 12. Juni 2001: Antrag auf Stilllegung und Abbau gestellt.

Quelle: Deutsches Atomforum e.V. – Kernenergie Bilanz, VGB
Tabelle 12: Kernkraftwerke in Deutschland (Stand 2004)

Hamm-Uentrop, die Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf sowie die Brennelementefabrik am Standort Hanau.

Die bis heute ungelösten energiepolitischen Fragen gelten als eine Schwachstelle des Standorts Deutschland. Fachleute weisen darauf hin, dass der psychologische Aspekt der politischen Debatte um die deutsche Energiepolitik erhebliches Gewicht hat. Die Frage, ob sich Politik, Wirtschaft und Gesellschaft auf ein gemeinsames Energiekonzept verständigen können, wird im Ausland auch als ein Faktor für die wirtschaftspolitische Vertrauenswürdigkeit Deutschlands angesehen.

Volkswirtschaftliche Vorteile durch die Nutzung der Kernenergie

Die Kernenergie hat in Deutschland sicherheitstechnisch, forschungs- und industriepolitisch, energiewirtschaftlich sowie ökologisch gesehen sehr positive Ergebnisse erzielt, was auch von ihren Kritikern anerkannt wird:

- Gegenwärtig decken die 18 Kernkraftwerke (vgl. Tabelle 11) knapp ein Drittel der Stromversorgung, im so genannten Grundlastbereich (Stromversorgung rund um die Uhr) beträgt der Anteil derzeit sogar 49 %. Seit Beginn der Kernenergienutzung in Deutschland (1961) wurden insgesamt über 4.000 Mrd. kWh Strom erzeugt. Zum Vergleich: Deutschland könnte mit dieser Strommenge seinen gesamten Strombedarf acht Jahre lang decken.

- Durch die Kernenergie wurde die Freisetzung von über drei Mrd. Tonnen des Treibhausgases CO_2 vermieden, die entstanden wären, wenn man den Strom mit fossilen Energieträgern erzeugt hätte. Diese Menge entspricht mehr als drei „Jahresfrachten" des Klimagases CO_2, die Deutschland derzeit energiebedingt freisetzt (einschließlich Verkehr). Zudem wurden durch die Kernenergie erhebliche Emissionen an SO_2 und NO_x vermieden, die insbesondere bei der Kohleverstromung anfallen.

- Der Volkswirtschaft hat der kostengünstige Nuklearstrom bislang Kostenvorteile von über 50 Mrd. € erbracht, die Forschungs- und Entsorgungsaufwendungen sind dabei bereits berücksichtigt.

- Die Abhängigkeit Deutschlands von fossilen Importenergien bei der Stromerzeugung wurde auf 20 % reduziert. Da die benötigten Mengen an Kernbrennstoffen kostengünstig und problemlos zu lagern sind, gilt Nuklearstrom als „quasi-heimische" Energiequelle.

3. Erkenntnisse und Lehren aus dem Unfall

Zusammenfassung

Ein Unfall wie der in Tschernobyl kann bei den in Deutschland eingesetzten Reaktoren westlicher Bauart nicht passieren, weil sie technisch anders konzipiert sind, höhere Sicherheitsstandards besitzen und eine effiziente, unabhängige behördliche Überwachung und Kontrolle durchgeführt wird, die in der damaligen UdSSR fehlte. Die radiologische und sicherheitstechnische Bedeutung des Unfalls ist von den deutschen Behörden im Lichte heutiger Erkenntnisse damals richtig eingeschätzt worden. Allerdings ist es nicht gelungen, in den ersten Tagen nach dem Unfall die Bevölkerung mit den relevanten Informationen zu versorgen. Gesetzliche und administrative Einrichtungen für den Strahlenschutz sowie hinsichtlich der Messungen zur Bestimmung von Strahlengefährdungen wurden erweitert. Auf internationaler Ebene wurden Vereinbarungen zur Verbesserung der Sicherheit von Kernkraftwerken sowjetischer Bauart sowie über die gegenseitige Information bei Unfällen und Störfällen in Nuklearanlagen getroffen. Bei den WWER-Reaktoren in Bulgarien, der Slowakei, Tschechien und Ungarn sind umfassende Sicherheitsverbesserungen durchgeführt worden bzw. befinden sich in der Umsetzung; in der GUS und der Ukraine wurde bislang in begrenztem Umfang die Sicherheit erhöht.

Die Auswirkungen des Unfalls auf Deutschland führten zu sehr unterschiedlichen Bewertungen und Reaktionen darüber, wie den Folgen dieses Ereignisses begegnet werden sollte. Heute lässt sich feststellen, dass in Deutschland die radiologische und sicherheitstechnische Bedeutung der Unfallfolgen trotz der damals spärlichen Informationen vom Ort des Geschehens von Beginn an richtig eingeschätzt wurde. Jedoch wird seitens der deutschen Behörden eingeräumt, dass es damals nicht gelungen ist, diese Bewertung dem Großteil der Bevölkerung zu vermitteln und sie dementsprechend zu einem rationalen Verhalten zu veranlassen.

Zu den wohl wichtigsten Erkenntnissen aus dem Unfall zählt die Tatsache, dass die Ursachen dieses Unfalls nicht auf deutsche Verhältnisse übertragen werden können, weil die Technik und der Sicherheitsstandard deutscher Reaktoren, die Qualität der Betriebsmannschaften und das behördliche Überwachungssystem von Grund auf verschieden und besser sind. Bei den deutschen Kernkraftwerken sind die „Dampfblasenkoeffizienten" auf Grund des völlig anderen Reaktorkonzeptes negativ. Das gilt auch für die Kernkraftwerke vergleichbarer Technologie in Westeuropa. Zudem ist das Abschaltsystem für die Regelstäbe bei westlichen Anlagen wesentlich schneller. Gegen Fehlbedienungen der Betriebsmann-

schaften schützt ein mehrstufiges Sicherheitskonzept. In deutschen Kernkraftwerken ist es noch nie zu einem Störfall mit Gefahr einer Überhitzung des Reaktors gekommen.

Internationales Maßnahmenpaket

Nach 1986 wurde auf Grund der neu gewonnenen Kenntnisse über den sowjetischen Kernenergiekomplex auch deutlich, dass zur Vorsorge für die bessere Beherrschung möglicher Ereignisse in östlichen Ländern rechtliche, administrative und technische Maßnahmen erforderlich sind. Dazu zählen u. a.:

- Bessere Einrichtungen für eine einheitliche Beurteilung von radiologischen Belastungssituationen, für abgestimmte Verhaltensempfehlungen bei der Strahlenschutzvorsorge sowie für den nuklearen Katastrophenschutz.

- Eine Ausweitung der Messungen zur Bestimmung der Strahlengefährdung sowie die Einrichtung von Nachrichtenwegen zur Information der Bevölkerung.

- Internationale Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit von Kernkraftwerken insbesondere in den osteuropäischen Ländern.

- Internationale Vereinbarungen über die gegenseitige Information bei Unfällen und Störfällen in Kernkraftwerken.

Diese aus dem Unfall resultierenden Konsequenzen sind in Deutschland bei den ersten beiden Maßnahmenpaketen weitgehend umgesetzt. Die Notwendigkeit einer wesentlichen Verbesserung der Sicherheit osteuropäischer Kernkraftwerke wurde auch in den GUS-Ländern nicht bestritten, verschiedene konkrete Maßnahmen wurden mittlerweile umgesetzt.

Durch eigene Anstrengungen der Länder in Mittel- und Osteuropa in Verbindung mit umfangreichen Unterstützungen der westlichen Länder sind die Sicherheitsverbesserungen und Nachrüstmaßnahmen in den osteuropäischen Kernkraftwerken ein gutes Stück vorangekommen.

Verbesserungen in den RBMK-Reaktoren

In allen RBMK-Reaktoren wurde die Betriebsführung verbessert und verschiedene, besonders dringliche Sicherheitsmängel behoben. In einer ersten Stufe der Nachrüstungen (bis 1991) wurden Verbesserungen vorgenommen, die darauf abzielten, ursächliche Mängel zu beseitigen, die zum Unfall von Tschernobyl führten. Es handelt sich vor allem um Maßnahmen zur Verbesserung des reaktor-physikalischen Verhaltens, der Abschalteinrichtung und der Betriebsvorschriften. Damit wurden wirkungsvolle Vorkehrungen gegen Reaktivitätsstörfälle getroffen.

In einer zweiten Stufe der Nachrüstung wurden Auslegungsmängel der RBMK-Reaktoren beseitigt, die nicht ursächlich mit dem Unfall von Tschernobyl zusammenhängen. Verbesserungen erfolgten u. a. zum Brandschutz, zur Mess- und Steuerungstechnik, zur Notstromversorgung und bei den Sicherheitsventilen. Weitere Maßnahmen waren der Einsatz von Diagnosetechnik und eine Neugestaltung der Leitwarte. Der Umfang der Maßnahmen ist in den einzelnen RBMK-Anlagen unterschiedlich.

Im Kernkraftwerk Tschernobyl wurden angesichts des ursprünglichen Beschlusses des ukrainischen Parlamentes (1991) zur frühzeitigen Stilllegung des Kernkraftwerks nur geringe Nachrüstungen durchgeführt. Besonders umfangreich sind diese in den RBMK-Reaktoren im Kernkraftwerk Leningrad (Sosnowi Bor). Dort erfolgten im Zusammenhang mit dem Austausch von Druckrohren in den älteren Blöcken Leningrad 1 und 2 verschiedene Nachrüstungen, mit dem Ziel, das Sicherheitsniveau dieser Anlagen anzuheben. Ähnliche Nachrüstungen fanden auch im RBMK-Reaktor Kursk 1 statt. Auch in den RBMK-Reaktoren der beiden Blöcke des Kernkraftwerks in Ignalina in Litauen sind kurzfristige technische Verbesserungen erfolgt, die dringend notwendig waren. Die wichtigsten Punkte betreffen ein zweites unabhängiges Reaktorabschaltsystem und die Gewährleistung der Integrität des Reaktorkühlsystems.

Obwohl mit den Untersuchungen des Kernkraftwerks Ignalina ein vertiefter, bis dahin nicht erreichter Beurteilungsstand für RBMK-Reaktoren erzielt worden ist, können die Sicherheit und das Risiko dieser Reaktoren noch nicht ausreichend beurteilt werden. Als Beitrittskandidat zur EU hat sich Litauen daher im Juni 2002 verpflichtet, den Reaktor Ignalina 2 im Jahr 2009 außer Betrieb zu nehmen.

Verschiedene internationale Übereinkommen nach 1986

Erfolge sind auch im anderen Bereich der internationalen Zusammenarbeit zu verzeichnen: Bereits im September 1986 wurde in Wien unter der Schirmherrschaft der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) ein internationales Übereinkommen über die schnelle Unterrichtung bei nuklearen Störfällen und über die Hilfeleistung bei nuklearen Unfällen oder radiologischen Notstandssituationen getroffen. Das Ausmaß des Reaktorunfalls von Tschernobyl hat deutlich gemacht, dass die Maßnahmen zur Verhinderung einer großflächigen Freisetzung radioak-

tiver Stoffe einer internationalen Zusammenarbeit bedürfen, die das in anderen Ländern vorhandene Wissen und spezielles technisches Gerät erfordert.

Weiterhin wurde im Jahre 1990 eine internationale Bewertungsskala der IAEO zur Einteilung von Vorkommnissen in kerntechnischen Anlagen eingeführt. Sie ermöglicht eine nachvollziehbare Einstufung der Ereignisse anhand einer klar abgestuften, international einheitlichen Bewertungsskala. Die Skala ist die Voraussetzung einer schnellen, zuverlässigen sicherheitstechnischen Bewertung eines Vorkommnisses mit seinen möglichen Folgen. Sie soll die Verständigung zwischen Fachwelt, Medien und Öffentlichkeit erleichtern. Eine Situation wie nach dem Unfall in Tschernobyl, bei der im Westen über mehr als eine Woche weitgehende Unklarheit über die Emissions- und Ausbreitungsverhältnisse herrschte, kann damit künftig ausgeschlossen werden.

Intensivierung der Ost-West-Kooperation

In den 1990er Jahren wurde die Ost-West-Kooperation, begünstigt durch den Zusammenbruch des sozialistischen Wirtschaftssystems und die Öffnung der mittel- und osteuropäischen Staaten, auf verschiedenen Ebenen erweitert und intensiviert. Die übergeordneten Ziele der Kooperation sind dabei:

- Verbesserung der Sicherheit in den kerntechnischen Anlagen;
- Aufbau einer mehrsträngigen Sicherheitsstruktur mit einer unabhängigen Sicherheitskontrolle auf den Ebenen Wissenschaft, Industrie und Behörden;
- Entwicklung eines gemeinsamen Grundverständnisses von Sicherheit und Sicherheitskultur, das in eine internationale Sicherheitspartnerschaft einmünden soll.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich frühzeitig darum bemüht, auch international eine breite und wirksame Unterstützung zur Verbesserung der kerntechnischen Sicherheit in Osteuropa zu erreichen. Durch eine Initiative der Bundesregierung wurde die Sicherheit der Kernkraftwerke in Osteuropa 1992 in München erstmals ein zentrales Thema der jährlichen Wirtschaftsgipfel der G7-Staaten. Auf dem Münchener Gipfel verständigten sich die G7-Staaten auf ein Aktionsprogramm, das bis heute die konzeptionelle Basis aller weltweit unternommenen Anstrengungen in diesem Bereich ist.

Das Aktionsprogramm ging davon aus, dass die RBMK-Reaktoren und die Druckwasserreaktoren der ersten Generation (WWER-440/W-230) nicht mit vertretbarem Aufwand auf ein sicherheitstechnisch akzeptables Niveau nachgerüstet werden könnten. Sie sollten daher nicht länger als unbedingt erforderlich betrieben werden. Für den befristeten Weiterbetrieb dieser Anlagen wurden kurzfristige technische Maßnahmen vor allem zur Verbesserung der Betriebssicherheit für notwendig gehalten. Tatsächlich haben aber Bulgarien bei Kozloduy 3+4 und die Slowakei bei Bohunice 1+2 so umfassende Sicherheitsverbesserungen durchgeführt, dass diese Länder das Sicherheitsniveau der Anlagen für vergleichbar mit dem gleich alter Anlagen im Westen halten.

Die im Aktionsprogramm getroffenen Vereinbarungen wurden auf folgenden verschiedenen Ebenen umgesetzt:

- bilaterale Unterstützung durch einzelne Länder;
- multilaterale Unterstützung in internationalen Förderungsprogrammen und Fonds;
- Zusammenarbeit im Rahmen internationaler Organisationen (IAEO, WANO, OECD etc.);
- Abstimmung und Koordination aller Programme in einem Koordinierungsmechanismus der G24 (Gruppe der 24 wirtschaftlich entwickelten OECD-Staaten).

Die IAEO in Wien war vor den politischen Veränderungen in Osteuropa praktisch das einzige Ost-West-Forum für den Informations- und Erfahrungsaustausch zur Reaktorsicherheit. Im Mittelpunkt standen dabei die von der IAEO organisierten Sicherheitsmissionen (OSART und ASSET) zur Überprüfung der Anlagen. Sie werden seit 1990 verstärkt für Anlagen in Osteuropa durchgeführt. Veranlasst durch eine Initiative der Bundesregierung führt die IAEO seit 1990 ein Sonderprogramm zur Sicherheitsbeurteilung und -ertüchtigung von WWER-Anlagen durch. Das Programm wurde 1993 um die Beurteilung von RBMK-Anlagen erweitert und ist mittlerweile abgeschlossen. Die IAEO hat mit ihren Arbeiten Sicherheitsdefizite der WWER- und der RBMK-Reaktoren identifiziert und nach ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung bewertet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind seitdem eine wichtige Grundlage für die Ausarbeitung von Nachrüstungsprogrammen dieser Reaktorlinien.

Alle vier EU-Mitgliedstaaten bzw. -Beitrittskandidaten, die Kernkraftwerke vom russischen Typ WWER betreiben, nämlich Bulgarien, die Slowakei, Tschechien und Ungarn, haben sich bei der Sicherheitsverbesserung ihrer Anlagen nach diesen Empfehlungen gerichtet. Der Stand der Nachrüstung ist folgender: Im Zuge der Fertigstellung von Mochovce 1+2 (Slowakei) und von Temelin 1+2 (Tschechien) sowie der Nachrüstung von Bohunice 1+2 und Paks 1-4 (Ungarn) wurden die IAEO-Empfehlungen vollständig umgesetzt. Die Arbeiten sind abgeschlossen. Im Gange sind entsprechende Programme in Bohunice 3+4 (Slowakei), Dukovany 1-4 (Tschechien) und Kozloduy 3-6 (Bulgarien).

Bild 09: Teilnehmer des VGB/WANO-MC Fachseminars zum Thema „Modernisierung und Lebensdauerverlängerung in Kernkraftwerken“ im KKW Obrigheim

Alle diese Programme wurden bzw. werden unter maßgeblicher Beteiligung westlicher Herstellerfirmen durchgeführt. Kozloduy 1+2 (Bulgarien) wurde entsprechend dem Beitrittsvertrag mit der EU am 31.12.2002 stillgelegt.

In Russland und der Ukraine wurden an den dortigen WWER-Anlagen verschiedene Einzelmaßnahmen durchgeführt, unter anderem im Rahmen der EU-Programme Tacis und Phare, jedoch stehen umfassende Programme zur Umsetzung der IAEO-Empfehlungen aus.

Programm zur Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl

Auf deutsch-französische Initiative hin befasste sich der Wirtschaftsgipfel 1994 in Neapel mit der Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl und der Reform des Energiesektors in der Ukraine. Es folgten längere Verhandlungen mit der ukrainischen Regierung. Im Dezember 1995 vereinbarten die G7-Staaten und die EU-Kommission mit der ukrainischen Regierung das „Memorandum of Understanding on the Closure of the Chernobyl Nuclear Power Plant“ (MoU). Mit dem MoU wurde ein umfassendes Programm zur Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl im Jahr 2000 vereinbart. Dazu sicherten die G7-Staaten der Ukraine zu:

- Finanzmittel für die Schließung des Kernkraftwerks Tschernobyl und für die Sanierung des Sarkophags bereitzustellen,
- darauf hin zu wirken, dass durch die internationalen Finanzinstitutionen Kredite für den Fertigbau von zwei begonnenen Druckwasserreaktoren (WWER-1000) bereitgestellt werden sowie
- die Rekonstruktion und Reform des Energiesektors zu unterstützen.

Aus Anlass des 10. Jahrestages des Unfalls in Tschernobyl haben sich die G7-Staaten und Russland auf dem Sicherheitsgipfel 1996 in Moskau verpflichtet, der kerntechnischen Sicherheit bei der Nutzung der Kernenergie absoluten Vorrang zu geben. Alle Staaten werden dazu angehalten, Reaktoren, die die international gültigen Sicherheitsanforderungen nicht erfüllen, nachzurüsten oder außer Betrieb zu nehmen. Zudem werden sie aufgefordert, der Nuklearen Sicherheitskonvention beizutreten. Weiterhin wurde auf dem Gipfel vereinbart, die Kooperation auf Sicherheitsfragen des Brennstoffkreislaufs und auf die Anlagensicherung auszudehnen.

In Denver wurden 1997 auf dem Wirtschaftsgipfel Maßnahmen zur Unterstützung der Ukraine bei der Lösung von Aufgaben beschlossen, die mit dem durch den Unfall zerstörten Block 4 des Kernkraftwerks in Tschernobyl und mit dem Sarkophag zusammenhängen. Über einen speziellen Fond bei der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBWE) – den Chernobyl Shelter Fund (CSF) – soll dafür ein international ausgearbeiteter Shelter-Implementation-Plan (SIP) realisiert werden.

EU-Programme Phare und Tacis

Phare (Poland and Hungary Aid for Reconstruction of the Economy) und Tacis (Technical Assistance for the Commonwealth of the Independent States) sind Förderungsprogramme der EU-Kommission, mit denen die osteuropäischen Staaten seit 1990/91 beim Aufbau demokratischer Strukturen und der Marktwirtschaft unterstützt werden. Phare diente ursprünglich der Unterstützung der mittel- und osteuropäischen Länder und wurde später auf die EU-Beitrittskandidaten ausgedehnt, Tacis der Förderung der Nachfolgestaaten der Sowjetunion. In diesen Programmen sind auch finanzielle Mittel zur Verbesserung der nuklearen Sicherheit enthalten. Sie betrugen ca. 720 Mio. ECU für die Jahresbudgets 1990 - 1997. Knapp 80 % der Mittel entfallen auf Tacis und ca. 20 % auf Phare. Zur fachlichen Koordination der Programme und zur Unterstützung der EU-Kommission haben Behörden, technische Sicherheitsorganisationen und die Industrie aus den EU-Mitgliedstaaten verschiedene Gremien gebildet.

Die Schwerpunkte der mit Phare und Tacis geförderten Vorhaben zur nuklearen Sicherheit liegen mit einem finanziellen Anteil von mehr als 80 % bei der Industrie. Knapp 15 % der Gesamtmittel (ohne den EU-Beitrag zum MoU) entfallen auf die Unterstützung der Behörden und ihrer wissenschaftlich-technischen Institutionen. In den ersten Jahren konzentrierten sich die Fördermaßnahmen hauptsächlich auf Sicherheitsstudien und -analysen. Die Schwerpunkte haben sich in der letzen Zeit folgerichtig auf direkte Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit in den Anlagen verlagert. Dementsprechend entfällt ein großer Teil der industrieseitigen Unterstützung für Russland und die Ukraine auf direkte Maßnahmen vor Ort in den Anlagen (On-site-Systems).

Derzeit gibt es praktisch für alle osteuropäischen Länder im Rahmen der Programme Phare und Tacis Vorhaben, mit denen die Sicherheitsbehörden bei der Erarbeitung atomrechtlicher Grundlagen, bei der Erstellung sicherheitstechnischer Regelwerke und beim Aufbau leistungsfähiger Genehmigungs- und Aufsichtsstrukturen unterstützt werden. In den Programmen Phare und Tacis werden beträchtliche Mittel zur Verbesserung der nuklearen Sicherheit in Osteuropa bereitgestellt. Sie sind gemessen an den tatsächlichen Erfordernissen jedoch zu gering. Die Erwartungen, die ursprünglich von östlicher Seite in die Programme gesetzt worden waren, konnten daher nur zum Teil erfüllt werden.

Eine weitere Quelle der Unterstützung wurde mit der Einrichtung des Nuklearen Sicherheitsfonds geschaffen. Dort werden finanzielle Mittel für dringend notwendige Verbesserungen zum befristeten Weiterbetrieb von älteren Anlagen bereitgestellt. Der Fond ist bei der EBWE in London eingerichtet. Deutschland ist eines der wichtigsten Geberländer. Aus dem Nuklearen Sicherheitsfond sind bisher Projekte in Bulgarien, Litauen und Russland finanziert worden, ein erheblicher Anteil dient zur Finanzierung der Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl.

Deutsche Programme der Ost-West-Kooperation

In der internationalen Zusammenarbeit mit Osteuropa nimmt Deutschland eine führende Position ein. Die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit vor allem mit Russland begann Ende der 1980er Jahre. Heute bestehen mit Behörden und anderen Partnerinstitutionen in den osteuropäischen Ländern enge und vertrauensvolle Beziehungen. Deutschland verfügt über umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen zur kerntechnischen Sicherheit in Osteuropa, dies nicht zuletzt durch die Fachleute aus Ostdeutschland. Hinzu kommt ein anerkannt hoher Sicherheitsstandard der deutschen Kerntechnik. Er ist eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass Deutschland eine führende Rolle in der Zusammenarbeit mit den osteuropäischen Ländern wahrnimmt.

Die Bundesrepublik gehört zu den westlichen Ländern, die große Anteile der finanziellen Mittel zur Unterstützung der osteuropäischen Länder aufbringen. Dies gilt sowohl für die direkte, bilaterale Zusammenarbeit als auch für die Beiträge, die für die multilateralen Unterstützungsprogramme bereitgestellt werden. Grundlage dieser bilateralen Zusammenarbeit sind Abkommen der Bundesregierung bzw. des BMU und des BMBF mit Russland, der Ukraine und anderen osteuropäischen Ländern. Schwerpunkte der bilateralen Zusammenarbeit sind das BMU-Programm zur Verbesserung der kerntechnischen Sicherheit und zur Unterstützung der Sicherheitsbehörden sowie das BMBF-Programm zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ).

Industrieseitige Zusammenarbeit und Partnerschaften

Nach Gründung der WANO im Jahre 1989 beteiligten sich auch die osteuropäischen Betreiber von Kernkraftwerken an dem weltweiten Informationsaustausch und profitieren von den verfügbar gemachten Betriebserfahrungen. Die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke haben dazu ein Programm für Sicherheitspartnerschaften aufgebaut. Die deutschen Kernkraftwerke haben dabei in Russland, der Slowakischen und der Tschechischen Republik, der Ukraine sowie in Ungarn Partnerschaften mit 15 osteuropäischen Betreibern übernommen. Dieses Programm wird in fast allen WWER-Anlagen erfolgreich umgesetzt, bei den Partnerschaften mit den Kernkraftwerken Smolensk und Leningrad handelt es sich um RBMK-1000-Anlagen.

In der ersten Phase dieser Partnerschaft lag die Kooperation schwerpunktmäßig im Bereich technischer Unterstützungen z. B. durch Lieferung von dringend erforderlichen Ersatzteilen. Mittlerweile steht der Erfahrungsaustausch im Mittelpunkt. Zuletzt war das Thema „Modernisierung und Lebensdauerverlängerung in Kernkraftwerken" Gegenstand des Erfahrungsaustausches. Neben technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Aspekten fortgeschrittener Vorhaben zum Lebensdauermanagement wurde dabei auch über Modernisierungsarbeiten in den Anlagen berichtet, die einen zentralen Bestandteil der Programme des Alterungsmanagements darstellen. Die Modernisierung hat große Bedeutung für die Gewährleistung eines hohen Sicherheitsniveaus zur Aufrechterhaltung eines sicheren Betriebes über die projektierte Betriebsdauer der Kernkraftwerke hinaus.

IV. Perspektiven für die Sicherung und Entsorgung des stillgelegten Kernkraftwerks in Tschernobyl

Zusammenfassung

Bereits in den 1950er Jahren begann in den ehemaligen RGW-Ländern der Ausbau der Kernenergie auf Basis einer arbeitsteiligen Zusammenarbeit mit starker Dominanz Russlands. Mitte der 1980er Jahre sahen die Pläne der ehemaligen RGW-Länder einen kontinuierlichen Ausbau ihrer Kraftwerksparks vor, meist überwiegend auf Basis von Kernenergie und Wasserkraft. Bis zum Zeitpunkt des Unfalls gab es für die Kernenergie in diesen Ländern keine Akzeptanzprobleme. Nach dem 26. April 1986 bildeten sich insbesondere in den mittel- und osteuropäischen Staaten Bürgerinitiativen, die einen höheren Sicherheitsstandard für die sowjetischen Reaktoren forderten. Der Ausfall des Kernkraftwerks Tschernobyl machte sich in der Ukraine angesichts der ohnehin bestehenden Engpässe bei der Stromversorgung deutlich bemerkbar. Der Aufwand an Menschen und Material zur Beseitigung der direkten und indirekten Unfallfolgen belastete das sowjetische Wirtschaftssystem erheblich.

1. Die Rolle der Kernenergie in Osteuropa

Die Elektrizitätsversorgung hatte in den ehemaligen Ländern des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) nicht nur eine hohe wirtschaftliche, sondern auch eine besondere politische Bedeutung. Diese wird unterstrichen durch die These Lenins: „Kommunismus ist Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes". Die früh begonnene Elektrifizierung setzte sich nach dem 2. Weltkrieg in allen ehemaligen sozialistischen Ländern fort. Deshalb ist das Stromversorgungssystem dort allgemein stärker entwickelt als die Wirtschaft insgesamt. Das zeigt sich beispielhaft darin, dass Ende der 1980er Jahre der Pro-Kopf-Verbrauch an Elektrizität in den RGW-Ländern und in der EG nahezu gleich war, während die einwohnerbezogene Wirtschaftsleistung des RGW weit hinter dem Niveau der EG lag. Die besondere politische Rolle der Elektrizitätswirtschaft ist auch noch heute für viele Fragen und Probleme des Transformationsprozesses der osteuropäischen Länder von Bedeutung.

Die Kernenergie spielte in den europäischen Ländern des RGW eine wesentlich geringere Rolle als in den Ländern der EG. 1988 lag der Arbeitsanteil (erzeugte Strommengen) der Kernenergie in den RGW-Ländern bei 12 %, in der EG bei 34 %. Dieser strukturelle Unterschied hatte im Wesentlichen zwei Gründe: In der EG war der politische und wirtschaftliche Druck zur Kernenergienutzung als Folge der Ölpreisschübe der 1970er Jahre wegen der hohen Importabhängigkeit wesentlich höher als im weitgehend energieautarken RGW. Zudem erforderte die Kernenergienutzung hohe Investitionen, gut entwickelte Industriestrukturen und eine ausgefeilte Logistik, die beide im RGW nur unzureichend vorhanden waren.

Kerntechnische Zusammenarbeit der Staaten Osteuropas

Die Zusammenarbeit der Länder des ehemaligen RGW begannen bereits in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre. In den 1960er Jahren entstanden die ersten Kernkraftwerke außerhalb der Sowjetunion in der damaligen DDR, der CSSR und Bulgarien. Die Errichtung dieser Anlagen kam auf der Basis von Regierungsabkommen zwischen der UdSSR und den jeweiligen Ländern zu Stande, in denen u. a. auch die vertragliche Verpflichtung der damaligen UdSSR zur Lieferung der frischen und zur kostenlosen Rücknahme der abgebrannten Brennelemente zur Wiederaufarbeitung enthalten war.

Anfang der 1970er Jahre rechnete man mit einem hohen Anstieg des Strombedarfs, da die Wirtschaft sehr stark auf die Entwicklung energieintensiver Zweige ausgerichtet war. Auf Grund der relativ geringen Ressourcen an hochwertigen Energieträgern in den RGW-Ländern außerhalb der UdSSR erschien der dafür notwendige beschleunigte Ausbau der Energiewirtschaft nur mit Hilfe eines hohen Leistungszuganges aus Kernenergie möglich. Das war der Grund für sehr ehrgeizige Kernkraftwerksprogramme in den RGW-Ländern, die insbesondere den Energiemaschinenbau der UdSSR als Produzent fast aller Hauptausrüstungen vor große Probleme stellte.

Auf Initiative Russlands war der RGW daher bestrebt, durch stärkere Einbindung der Industrie der Mitgliedsländer in das Kernkraftwerksprogramm eine Arbeitsteilung und Spezialisierung zu erreichen und dadurch die notwendige Leistungssteigerung des Kernenergiemaschinenbaus und der Elektrotechnik zu sichern. Es zeigte sich jedoch sehr schnell, dass einer internationalen Kooperation der RGW-Länder auf diesem schwierigen und komplexen Gebiet ernsthafte Probleme gegenüber standen. Die ehrgeizigen Kernkraftwerksprogramme wurden in den meisten Ländern auf Grund von Rückständen gegenüber der geplanten Wirtschaftsentwicklung und auch auf Grund von Finanzierungsproblemen reduziert oder terminlich weiter nach hinten gerückt. Die Diskrepanzen zwischen vertraglich vereinbarten und realen Lieferterminen sowie dem aktuellen Bauablauf nahmen ständig zu. Diese Tendenz verstärkte sich bis zum Zusammenbruch des sozialistischen Wirtschaftssystems immer mehr und war zum Zeitpunkt des Unfalls in Tschernobyl besonders ausgeprägt.

In den 1980er Jahren – und damit auch zum Zeitpunkt des Unfalls in Tschernobyl – traten zunehmend Schwierigkeiten in der Stromversorgung der RGW-Länder und der UdSSR auf, bedingt durch Rückstände bei den Leistungszugängen sowie der Instandhaltung und Modernisierung des Kraftwerksparks. Versorgungsunterbrechungen waren damals keine Ausnahme. Insbesondere durch beschleunigte Entwicklung der Kernenergie im

RGW sollte dieser Missstand beseitigt werden. Wie viele der zu dieser Zeit abgeschlossenen Planungen ließ auch diese eine realistische Einschätzung der wirklich vorhandenen Möglichkeiten in den einzelnen Ländern vermissen.

Probleme des Transformationsprozesses

Nach dem Zusammenbruch des sozialistischen Wirtschaftssystems und dem Beginn des Transformationsprozesses entstanden in den ehemaligen RGW-Ländern völlig neue politische und wirtschaftliche Verhältnisse. Die außenwirtschaftlichen Beziehungen brachen durch den Übergang auf konvertierbare Währungen zusammen. Die Länder sahen sich wesentlich härter mit den neuesten internationalen Anforderungen an die Sicherheit der Kernkraftwerke konfrontiert, auf deren Umsetzung sie weder wissenschaftlich-technisch noch fertigungstechnisch ausreichend vorbereitet waren. Auch auf dem Gebiet der Kernenergie war Anfang der 1990er Jahre die wirtschaftliche Zusammenarbeit zwischen den osteuropäischen Ländern zunächst zusammengebrochen. Nur auf Teilgebieten, vor allem auf der Ebene der Kraftwerksbetreiber, wurden frühere Verträge weitergeführt.

Als die Stromerzeugung durch konventionelle Kraftwerke auf Grund deren Überalterung und der Brennstoffprobleme zurückging, wurden die Kernkraftwerke zunehmend ein stabilisierender Faktor für die Stromversorgung. Die Errichtung der begonnenen Kernkraftwerke brach man allerdings zumeist aus wirtschaftlichen oder politischen Gründen ab. Das Angebot westlicher Unterstützung zur Modernisierung der bestehenden Anlagen und zur Weiterführung begonnener Kernkraftwerksblöcke wurde Anfangs von allen Ländern aufgenommen. Als aber diese Unterstützung an bestimmte Bedingungen gebunden wurde, entwickelte sich eine zunehmende Orientierung auf eigene Leistungen und die ehemalige zwischenstaatliche Zusammenarbeit. Dabei nimmt Russland wieder eine starke Rolle ein, da es an der Erhaltung und Ausweitung seiner außenwirtschaftlichen Position auf dem Kernenergiemarkt stark interessiert ist und möglichst schnell den Anschluss an die internationale Entwicklung auf diesem Gebiet anstrebt.

Der Unfall in Tschernobyl geschah zu einem Zeitpunkt, in dem die energiewirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Lage in der Sowjetunion sehr angespannt war. Zum Zeitpunkt des Unfalls waren in Osteuropa 64 Kernkraftwerke sowjetischer Bauart mit einer Leistung von rund 33.000 MW installiert, davon allein 80 % in der Sowjetunion. Bis dahin gab es weder dort noch in den übrigen RGW-Ländern einen nennenswerten Widerstand gegen den Bau von Kernkraftwerken. Die Kernenergie wurde positiv eingeschätzt, da sie endlich eine ausreichende Stromversorgung ermöglichen und die regional starken Umweltbelastungen durch die Kohlekraftwerke verringern sollte. Nach dem Unfall traten in der damaligen Tschechoslowakei, in Ungarn, Polen und der ehemaligen DDR jedoch Bürgerinitiativen in Erscheinung, die höhere Sicherheitsstandards für die importierten sowjetischen Reaktoren forderten und die ihre Unzufriedenheit mit der staatlichen Informationspolitik nach dem Unfall öffentlich kundtaten.

Folgeprobleme des Unfalls

Unmittelbar nach dem Unfall im Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl wurden die Blöcke 1, 2 und 3 abgeschaltet. Für die Stromversorgung der Region Ukraine bedeutete dies einen Ausfall von rund 4.000 MW bei einer gesamten installierten Kernenergieleistung von insgesamt knapp 9.000 MW. Ein Mehreinsatz von Öl und Erdgas in der Stromerzeugung zum Ausgleich der 4.000 MW von Tschernobyl war für die Sowjetunion damals nicht realisierbar, da rund zwei Drittel der Hartwährungs-Deviseneinnahmen aus dem Export von Öl und Erdgas erzielt wurden. Diese waren dringend erforderlich, um die ehrgeizigen Importpläne zur Modernisierung der sowjetischen Industrie sicherzustellen.

Für die sowjetische Wirtschaftsplanung und die damalige Kernenergie-Planwirtschaft bedeutete der Reaktorunfall einen herben Rückschlag. Auf Grund der Verunsicherungen bei den Fachleuten und in der Bevölkerung kam es zu weiteren Verzögerungen beim Kernenergieausbau in der UdSSR und beim Export von Nuklearanlagen in die anderen RGW-Länder. Die Maßnahmen zur Unfallbekämpfung in Tschernobyl und zur Bewältigung der Folgeprobleme zogen zudem umfangreiche Ressourcen ab. Weitere Kosten entstanden durch die erforderlichen Nachbesserungen der RBMK-Reaktoren an anderen Standorten.

2. Ökonomische und energiewirtschaftliche Ausgangslage der Ukraine

Zusammenfassung

Die Bewältigung der Unfallfolgen verschärfte die ohnehin schwierige wirtschaftliche Lage der Ukraine weiter. Die finanziellen Probleme des Landes sind der Hauptgrund der Missstände. Seit der Unabhängigkeit ist die Ukraine stark von Energieimporten aus Russland abhängig. Insbesondere in den Wintermonaten kommt es daher zu andauernden Ausfällen bei der Versorgung mit Strom, Wärme und Warmwasser. Die ukrainischen Kernkraftwerke werden angesichts dieser Engpässe als stabilisierender Faktor angesehen. Im Winter steigt ihr Beitrag

zur Stromversorgung auf über 40 %. Für die kommenden Jahre befürchtet man eine Verschärfung der Situation, da die Überalterung der konventionellen Kraftwerke und Netze infolge vernachlässigter Investitionen fortschreitet. Die ukrainische Regierung hat Entscheidungen getroffen, die auf Basis einer verstärkten Nutzung der eigenen industriellen Potentiale den Ausbau der Kernenergie einleiten. Durch zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit konnte die Akzeptanz der Kernenergie in der ukrainischen Bevölkerung wieder deutlich verbessert werden.

Die Ukraine entstand als eigenständiger Staat nach der Auflösung der Sowjetunion im Jahr 1991. Sie ist mit einer Fläche von 603.700 km² der territorial größte europäische Staat. Die Bevölkerungszahl beträgt gegenwärtig rund 48 Mio. Einwohner. Mit 79,5 Einwohnern/km² besitzt die Ukraine im Gegensatz zu Russland (8,7 Einwohner/km²) eine mit anderen europäischen Staaten vergleichbare Bevölkerungsdichte. Während in den westlichen Landesteilen der Ukraine die Landwirtschaft dominiert, ist im Osten und Süden die Industrie, insbesondere die Schwerindustrie, konzentriert. Diese Regionen sind der Standort zahlreicher Großbetriebe des Kohle- und Erzbergbaus, der Eisen-, Stahl- und Chemieindustrie sowie mehrerer Kohlekraftwerke. Weiterhin von Bedeutung sind der Maschinen- und Fahrzeugbau, die Elektrotechnik und die Rüstungsindustrie. Ein Großteil der Industrieanlagen ist stark veraltet. Der Verschleiß liegt über dem Durchschnitt der Industrie der ehemaligen Sowjetunion.

Zum Zeitpunkt des politischen Umbruchs in der Sowjetunion veröffentlichte die Deutsche Bank eine Studie, die die wirtschaftliche Ausgangslage der 15 neu gegründeten Republiken anhand der wichtigsten Wirtschaftsfakten bewertete. Danach nahm die Ukraine noch vor den drei baltischen Republiken und der Russischen Föderation mit Abstand den ersten Platz ein. Das oft als „Kornkammer" der ehemaligen UdSSR bezeichnete landwirtschaftlich sehr ertragreiche Gebiet erwirtschaftete früher 46 % der sowjetischen Agrarproduktion und verfügt über eine breite Industriebasis und reiche Bodenschätze.

Ebenso wie andere Sowjetrepubliken wurde auch die Ukraine von den Folgeproblemen des politischen und wirtschaftlichen Übergangs hart getroffen. Starke Einbrüche in der Industrieproduktion und beim Realeinkommen der Bevölkerung prägen bis heute die wirtschaftliche und soziale Lage. Hinzu kommen die erheblichen Aufwendungen für Menschen und Material, die das Land bei der Bewältigung der Unfallfolgen von Tschernobyl zu tragen hat. Die lang andauernde wirtschaftliche Krise in der Ukraine begann 1991. Sie wurde durch den weitgehenden Zusammenbruch der wirtschaftlichen Beziehungen zu den anderen GUS-Staaten, insbesondere zu Russland, beschleunigt. Seit 1991 verringerte sich das produzierte Nationaleinkommen nahezu auf die Hälfte und steigt erst seit dem Jahr 2000 wieder kräftig an.

Ende der wirtschaftlichen Dauerkrise?

Eine Kombination aus günstigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der Reformpolitik hat die ukrainische Wirtschaft aus der Dauerkrise der 1990er Jahre geführt. Im April 2002 verabschiedete die Regierung ein ambitioniertes Wirtschaftsprogramm, das in vielen Punkten Forderungen des Internationalen Währungsfonds (IWF) aufgreift und damit Voraussetzungen für weitere Unterstützungen schafft. Das Programm umfasst u. a. die Verabschiedung eines neuen Steuergesetzbuches, effizientere Privatisierungsverfahren sowie Verwaltungs- und Finanzreformen.

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) der Ukraine nahm im Jahr 2002 real um 4,8 % zu. Damit konnte zwar der Rekordzuwachs des Jahres 2001 mit über 9 % nicht wieder erreicht werden, jedoch im Umfeld der globalen Konjunkturabkühlung ein bemerkenswertes Ergebnis erzielt werden. Die Industrieproduktion, die das kräftige Wachstum größtenteils getragen hat, legte 2002 um 6 % zu. Vor allem die Exportnachfrage hat der ukrainischen Wirtschaft neuen Auftrieb gegeben.

Mit der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung hat sich in den vergangen Jahren auch die Struktur der ukrainischen Industrieproduktion verändert. Der Anteil des Maschinenbaus, der durch Lieferungen in andere GUS-Länder und die Rüstungsproduktion bestimmt war, ging besonders stark zurück. Dadurch hat die Grundstoffindustrie, hier vor allem die Öl-, Gas- und Stahlerzeugung, an Bedeutung gewonnen. Trotz dieser positiven Entwicklung konnte das Niveau der Industrieproduktion vor der politischen Wende 1989/1990 bei weitem noch nicht erreicht werden.

Die Investitionen in den letzten Jahren reichten nicht aus, um den überalterten Kapitalstock zu erneuern. In den Schlüsselbereichen Energie- und Transportwirtschaft sowie im Bankensystem sind Strukturreformen bisher ausgeblieben oder nur unzureichend erfolgt. Vor allem hat sich der wirtschaftliche Aufschwung bisher nicht ausreichend auf die wirtschaftliche und soziale Lage der Bevölkerung ausgewirkt. Der durchschnittliche Monatslohn betrug im März 2003 trotz der Lohnsteigerungen in den vergangen Jahren umgerechnet nur rund 72,00 € und auf Grund sehr niedriger Renten und Sozialleistungen herrscht nach wie vor große Armut. Eine Verbesserung der Situation wird von der geplanten Anhebung der staatlichen Mindestlöhne sowie dem allgemeinen wirtschaftlichen Aufschwung erwartet.

Annäherung an die EU

Die Ukraine bemüht sich um eine Annäherung an die EU. Im Mai 2002 hat Präsident Kutschma dem ukrainischen Parlament ein Programm mit den konzeptionellen Grund-

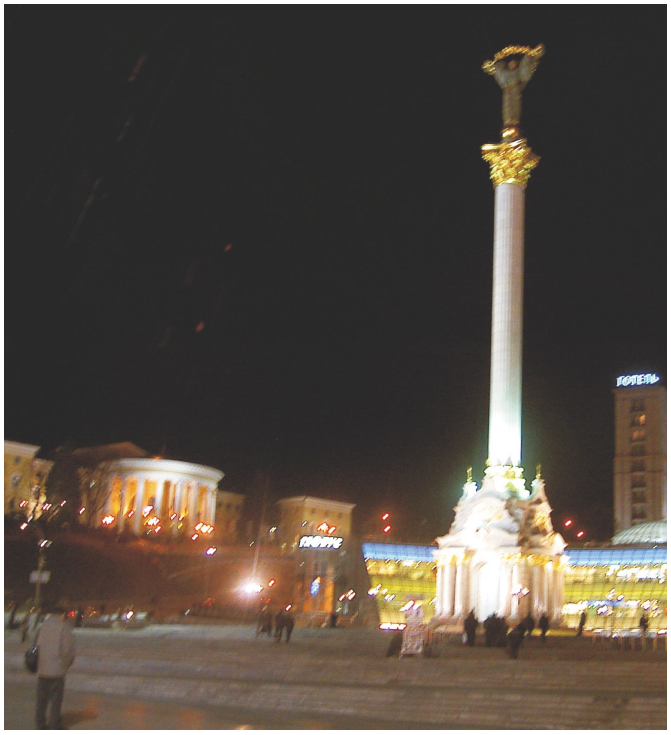


Bild 10: Kiew, Hauptstadt der Ukraine

lagen der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung der Ukraine für die nächsten zehn Jahre übergeben. Darin wird betont, dass die Grundlage der Strategie die eindeutige Orientierung auf eine Integration in die EU sein soll, zunächst die Erlangung einer Assoziierung, anschließend – nach 2011 – eine vollwertige Mitgliedschaft. Auf einem Gipfeltreffen der EU und der Ukraine 2002 in Kopenhagen begrüßte die EU die Bestrebungen und bestätigte, dass die Perspektive der europäischen Integration für die Ukraine offen bleibt. Nach dem Beitritt Polens, der Slowakei und Ungarns zur EU wird die Ukraine eine lange gemeinsame Grenze mit der Gemeinschaft haben.

Folgeprobleme der energieintensiven Industriestruktur

In der früheren Sowjetunion hatte die Ukraine den höchsten Industrialisierungsgrad. Für die Industrieproduktion wurden zur Versorgung der energieintensiven Branchen preiswerte Brennstoffe ausreichend zur Verfügung gestellt. Mit der Erlangung der Unabhängigkeit, der zumindest teilweisen Auflösung der traditionellen Wirtschafts- und Handelsverflechtungen und der Konfrontation mit dem Weltmarkt zeigten sich die negativen Folgen dieser Struktur besonders drastisch. Die Folge war eine schwere Energieversorgungskrise. Dafür sind eine Reihe von Gründen maßgebend, allen voran der Mangel an eigenen Energiereserven. Rund 53 % ihres Primärenergiebedarfs muss die Ukraine importieren. Besonders hoch ist der Importanteil bei Erdöl (88 %) und Erdgas (75 %). Hinzu kommen die notwendigen Kohleimporte sowie Kernbrennstoffe. Zwar verfügt die Ukraine über Uranvorkommen, jedoch nicht über Verarbeitungskapazitäten zur Herstellung von Kernbrennstoffen. Für den Import an Primärenergieträgern wurden zuletzt jährlich in Weltmarktpreisen rund 10 Mrd. US$ aufgewendet (BIP 2001: 37,6 Mrd. US$).

Russland, der mit Abstand wichtigste Energielieferant, schränkte seine Lieferungen auf Grund von Zahlungsrückständen der Ukraine teilweise ein, wodurch Stromabschaltungen sowie Ausfälle in der Fernwärme- und Wasserversorgung insbesondere in den Wintermonaten an der Tagesordnung waren. Der Reisebericht einer deutschen Journalistin beschreibt die Situation Ende der 1980er Jahre sehr plastisch: „Der vergangene Winter war wieder besonders dunkel und kalt. Nicht selten stolperten die Kiewer, wenn sie abends nach der Arbeit in die Hochhausvorstädte der ukrainischen Hauptstadt zurückkehrten, über unbeleuchtete Straßen in dunkle Hausflure, tasteten sich am Lift vorbei zum Geländer bis in den 10. Stock einer Mietskaserne, suchten im Stockdunkeln in ihrer Wohnung nach Streichhölzern und Kerzen, in deren Schein sie dann viele Abendstunden verbrachten – ohne Radio und Fernsehen in klammen Zimmern, die im besten Fall auf 14 Grad beheizt wurden. Das warme Wasser blieb mancherorts fast den ganzen Winter aus. Zum Frühjahr wurde auch das kalte Wasser rationiert."

Große Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz

Der ineffektive Energieeinsatz, der seine Ursachen in jahrzehntelangem sorglosen und verschwenderischen Umgang mit Energierohstoffen und in technologischen Rückständen hat, erzeugt in der Ukraine einen großen Nachholbedarf. Ein Vergleich energieökonomischer Kennziffern der Ukraine mit denen Deutschlands zeigt die großen Potenziale, die es hier zu erschließen gilt. Zwar haben die Anstrengungen, energiesparende Technologien in der Industrie einzuführen und auch die Kommunen sowie die Bevölkerung zu entsprechendem Handeln zu animieren, erste kleine Erfolge gezeigt. Die erforderliche flächendeckende Umsetzung dieser Bemühungen scheitert jedoch zumeist an fehlenden Investitionsmitteln und mangelnden finanziellen Anreizen.

Beim Vergleich der Kennziffern muss berücksichtigt werden, dass das relativ geringe BIP der Ukraine (gerechnet in US$ zum offiziellen Umrechnungskurs) nicht die realen Verhältnisse wiedergibt. Bei einem überschlägigen Vergleich des Warenkorbes verdreifacht sich das BIP der Ukraine nahezu. Trotzdem liegen die auf dieser Grundlage errechneten Kennziffern für den spezifischen Energie- und Stromverbrauch (s. Klam-

Kennziffer	Einheit	1990	1999	2001	Deutschland 2001
Bevölkerung	Mio. EW	51,9	49,7	49,6	82,1
Primärenergieverbrauch (PE)	PJ	10.505	5.570	5.364	13.966
Stromverbrauch (netto)	TWh	271	137	123	592
Bruttoinlandsprodukt (BIP) (BIP real)[2]	Mrd. US$	156	30,8 (88,0)	37,6 (99,0)	1.865
PE/BIP (PE/BIP real)	GJ/TUS$[1]	67,3	180,8 (63,3)	142,6 (54,18)	7,6
Pro-Kopf-Verbrauch Primärenergie	GJ/EW	202,4	112,1	108,1	176,6
Stromverbrauch/BIP (Stromverbrauch/BIP real)	kWh/TUS$	1,74	4,44 (1,55)	3,27 (1,24)	0,25
Pro-Kopf-Verbrauch Strom (netto)	kWh/EW	5.212	2.762	2.480	5.943

[1] -1.000 US$
[2] - bei Berücksichtigung des Warenkorbes

Quelle: TETRA Datenbank, September 2003, S. 6

Tabelle 13: Energieökonomische Kennziffern der Ukraine und Deutschlands im Vergleich

merwerte in Tabelle 13) bei einem Vielfachen der Kennziffern der OECD-Länder.

Großen Einfluss hat auch der hohe Verschleiß des in den 1970er und 1980er Jahren relativ gut ausgebauten energiewirtschaftlichen Potenzials der Ukraine, da in den 1990er Jahren zumindest bei den konventionellen Kapazitäten nur begrenzte Maßnahmen zur Modernisierung oder Rekonstruktion realisiert wurden. Besonders betroffen ist davon die Kohleindustrie, die ständig sinkende Fördermengen zu verzeichnen hat, obwohl erhebliche öffentliche Mittel in diesen Industriezweig investiert wurden. Die Ukraine verfügt über relativ große Kohlevorkommen; Steinkohle mit überwiegend geringer Qualität und Braunkohle in über 200 voneinander isolierten Lagerstätten mit schwierigen geologischen Bedingungen. Die ukrainische Kohlewirtschaft befindet sich derzeit im Umbruch zur Marktwirtschaft. Obwohl sie immer noch subventioniert wird, reichen die Zuschüsse nicht aus, um den Bergbau zu modernisieren. Geplant ist, den Rückgang der Kohleförderung zu stoppen und das Niveau wieder wesentlich anzuheben.

Die Eigenerzeugung von Erdöl und Erdgas ging in der Zeit von 1990 bis 2001 um jeweils rund 50 % zurück. Die Vorräte der Ukraine an Erdöl werden gegenwärtig auf 173 Mio. t und an Erdgas auf 1.423 Mrd. m³ geschätzt, was beim gegenwärtigen Förderniveau zu Reichweiten von mehreren Jahrzehnten führt. Mehr als die Hälfte dieser Vorräte sind schwer förderbar. In den kommenden Jahren soll die Förderung von Erdöl und Erdgas stabilisiert und allmählich wieder erhöht werden.

Zu hohe Abhängigkeit von Importenergien

Schlüsselfaktor für die weitere Entwicklung der ukrainischen Volkswirtschaft sind die hohen Kosten für Importenergien. Der Importbedarf an Erdöl und Erdgas wird vorrangig mit Lieferungen aus Russland, Kasachstan und Turkmenistan gedeckt. Hauptlieferant des Erdgases sind der russische Konzern Gasprom sowie die internationale Gesellschaft ITERA. In der Vergangenheit gab es auf Grund der ukrainischen Zahlungsschwierigkeiten wiederholt Liefereinschränkungen. Wichtigste Quelle für die Bezahlung der Gasimporte sind die Erlöse aus dem Transit des russischen Erdgases nach Westeuropa. Derzeit kann die Ukraine durch den Transit von jährlich 100 bis 115 Mrd. m³ den Bezug von 30 Mrd. m³ Erdgas finanzieren. Die Gasprom verfolgt zur Diversifizierung ihrer Transitwege neue Erdgastrassen, die u. a. über Belarus und Polen, zwischen dem Schwarzen Meer und der Türkei sowie über Finnland und Schweden laufen sollen.

Die Ukraine wird daher die Erdgasbezüge aus Turkmenistan erhöhen. Im Zeitraum von 2002 bis 2006 sollen insgesamt 250 Mrd. m³ Erdgas an die Ukraine geliefert werden. Auf Grund dieses Abkommens benötigt die Ukraine zukünftig russisches Erdgas nur noch in dem Umfang, den sie aus den Erlösen für den Transit des russischen Erdgases nach Westeuropa beziehen kann. Allerdings erfolgt der Erdgastransport aus Turkmenistan weiterhin über das russische Erdgasnetz.

Der Erdgastransit durch die Ukraine lag im Jahr 2002 bei 121 Mrd. m³. Davon gingen 13 % in die Länder der GUS,

der Rest in das westliche Ausland. Das Erdgasnetz der Ukraine umfasst 37.100 km Hauptleitungen, 73 Verdichterstationen und 13 Untergrundspeicher mit einer Kapazität von 30 Mrd. m³. Wegen des großen Verschleißes der Leitungen können allerdings nur ca. 50 % der Leistungen des ukrainischen Netzes genutzt werden. Der für die Sanierung erforderliche Investitionsumfang wird auf bis zu 2 Mrd. US$ geschätzt.

Für Russland bleibt trotz der Bemühungen zur Schaffung neuer Transitwege der Erdgastransport über die Ukraine die Hauptverbindung in die westlichen Länder. Auf Initiative Russlands vereinbarten die Ministerpräsidenten der Ukraine und Russlands Anfang Oktober 2002 den Abschluss eines Vertrages zur Gründung eines Internationalen Konsortiums für die Leitung und Entwicklung des Erdgasförderungssystems in der Ukraine durch die Gasprom und die ukrainische Naftogas Ukraini. Hauptzweck des Vertrages ist ein Ausbau der ukrainischen Förderanlagen zur Erhöhung des Gastransits in die westeuropäischen Länder. Am Schwarzen Meer, 35 km östlich von Odessa, wird gegenwärtig ein großes Ölterminal errichtet. Nach seiner Inbetriebnahme wird die im August 2001 fertig gestellte Stufe der Ölpipeline Odessa-Brody (Polen), die in Richtung Gdansk verlängert werden soll, das ukrainische Transitpotenzial weiter erhöhen. Durch den zukünftig möglichen Import von Öl aus dem Persischen Golf und anderen Regionen erhofft sich die Ukraine eine Lockerung der Abhängigkeit von russischen Importen.

Eine nahe liegende Option zur Reduzierung der Importabhängigkeit ist die verstärkte Nutzung der regenerativen Energien. Mit Ausnahme der Wasserkraft ist deren Nutzung nach wie vor gering entwickelt. Zwar wurde schon 1997 ein entsprechendes Programm erarbeitet, jedoch scheiterten die meisten Maßnahmen an der fehlenden Finanzierung. Gute Entwicklungschancen hat der Einsatz von Sonnenenergie zur Heizung und Heißwasserversorgung. Gegenwärtig werden in südlichen Regionen des Landes rund 230 Anlagen zur Wärmeerzeugung und Wohnungsbeheizung errichtet. Teile des Potenzials an geothermischer Energie werden zu Heizzwecken genutzt. Gute Perspektiven hat auch der Einsatz von Biomasse, die derzeit in Form der Verbrennung von Holzabfällen in Kesselanlagen sowie zur Ethanolherstellung als Zusatz zu Vergaserkraftstoffen genutzt wird.

Realistisches Energieprogramm steht noch aus

Insgesamt konnte die Energiewirtschaft der Ukraine die seit der politischen Wende anstehenden Probleme noch nicht überwinden. Während beispielsweise im allerdings ungleich ressourcenreicheren Russland die Energiewirtschaft über 40 % des staatlichen Budgets erwirtschaftet, liegt dieser Beitrag in der Ukraine bei 15-20 %. Ein wesentliches Problem sind die Steuerrückstände der ukrainischen Unternehmen. Dabei ist die Kohleindustrie mit einem Anteil von 41 % (erstes Quartal 2003) der größte Schuldner. Deutlich günstiger schneidet die Öl- und Gasindustrie (18 %) sowie die Elektrizitätswirtschaft (4 %) ab. Für eine grundlegende Verbesserung der Lage sind nach Meinung von Wirtschaftsexperten vor allem folgende Schritte notwendig:

- Erhöhung der Zahlungsdisziplin der Verbraucher;
- Verringerung der Kosten der Unternehmer durch Entlastung von untypischen Aufgaben (Unterhaltung von Sozialobjekten) und Übertragung dieser Leistungen an die zuständigen Kommunen;
- Optimierung der Tarifpolitik der Energiebetriebe;
- Verbesserung der Steuerpolitik;
- Neustrukturierung der Kohleindustrie.

Im Frühjahr 1996 beschloss das ukrainische Parlament ein „Nationales Energieprogramm bis 2010". Das Programm zeigte allerdings nur Richtungen an, keine realen Schritte zur Überwindung der Probleme. Aus heutiger Sicht waren die Zielsetzungen zu optimistisch und entsprachen nicht den Realitäten. Das Ministerium für Brennstoff- und Energiewirtschaft legte deshalb 2001 eine überarbeitete Fassung mit dem Titel „Energiestrategie der Ukraine bis 2030" vor. Im April 2001 fand im ukrainischen Parlament eine erste Lesung des Dokumentes statt. Im Ergebnis der Anhörung wurden der Ausschuss des Parlamentes für den Brennstoff-Energiekomplex, die Kernenergie und die nukleare Sicherheit sowie das Ministerkabinett damit beauftragt, gesetzliche Grundlagen für die künftige ukrainische Energiepolitik sowie vorrangige Maßnahmen zur Überwindung der anstehenden Probleme auszuarbeiten. Bis Ende 2003 lag eine aktuelle Energiestrategie noch nicht vor.

Großer Modernisierungsbedarf im gesamten Stromversorgungssystem

Die installierte Kraftwerksleistung der Ukraine betrug im Jahre 2002 rund 51.000 MW. Davon entfallen 67 % auf Wärmekraftwerke, 23 % auf Kernkraftwerke und 10 % auf Wasserkraftanlagen. Im Zeitraum von 1990 bis 2002 ist die Stromerzeugung von ehemals 296 TWh um nahezu 42 % zurückgegangen. Hauptursache dafür ist der durch den starken wirtschaftlichen Abschwung nach der Erlangung der Selbstständigkeit des Landes bedingte Rückgang des Strombedarfs. Wie zahlreiche Zwangsabschaltungen von Verbrauchern und

die niedrige Frequenz im Verbundnetz zeigen, lag der reale Bedarf der Verbraucher jedoch um einiges höher als die Stromerzeugung, d. h. neben dem gesunkenen Bedarf ist auch das unzureichende Stromangebot für den Rückgang verantwortlich. Gegenüber 1990 ist die installierte Leistung nur geringfügig zurückgegangen, demnach wurde mit dem noch heute vorhandenen Kraftwerkspark 1990 nahezu doppelt so viel Strom erzeugt wie heute.

Die Leistungsausnutzung des ukrainischen Kraftwerksparks ist von 62 % (1990) auf 37 % (2002) zurückgegangen. Alleinige Ursache hierfür war das starke Absinken der Erzeugung aus fossil gefeuerten Wärmekraftwerken, während die Stromerzeugung der Kernkraftwerke und der Wasserkraftanlagen nahezu konstant blieb. Die Industrie ist mit einem Anteil von 37 % der größte Stromkunde. Die privaten Haushalte hatten einen Anteil von 11 %, der Rest verteilt sich einigermaßen gleichgewichtig auf die anderen Verbrauchssektoren. Der unverhältnismäßig hohe Anteil des Eigenverbrauchs und der Netzverluste von über 32 % des Gesamtstromverbrauchs weist auf den schlechten Zustand der Anlagen und auf „unsanktionierte Stromentnahmen" (Stromdiebstähle) hin. Der weit überwiegende Anteil der 99 Wärmekraftwerke sind standardisierte Blöcke großer Leistung. Ende 2002 waren mehr als die Hälfte davon weit über 200.000 Stunden in Betrieb. Damit haben sie die international übliche Grenze der Lebensdauer bereits überschritten. Bis 2005 wird sich dieser Anteil auf 80 % erhöhen.

Starke Überalterung der Wärmekraftwerke

Ein wesentlicher Anteil der Elektrizität wird in öffentlichen Heizkraftwerken erzeugt, die zur Wärmeversorgung der Städte errichtet wurden. Die meisten stammen aus den 1950er und 1960er Jahren und haben ihre Lebensdauer wesentlich überschritten. Auch die Industriekraftwerke (2.485 MW) befinden sich überwiegend in schlechtem Zustand. Durch den Einsatz von ballastreichen Brennstoffen, die Fahrweise der Blöcke mit häufigem Lastwechsel auf Grund zu geringer manövrierfähiger Leistung im Verbundnetz sowie durch die fehlenden Mittel für die Reparatur der Anlagen verschärft sich der Verschleiß der Ausrüstungen gegenwärtig zunehmend. Die Überalterung der Wärmekraftwerke drückt sich auch in der negativen Entwicklung des spezifischen Brennstoffverbrauchs aus, der sich von 1990 innerhalb von zehn Jahren um 7 % erhöht hat.

Dementsprechend hoch sind auch die Stromerzeugungskosten der Wärmekraftwerke, wodurch ihr Einsatz von der zentralen Lastverteilung so weit wie möglich eingeschränkt wurde. Die Stromerzeugungskosten betrugen im Juni 2003:

- Heizkraftwerke: 2,54 ct/kWh
- Wärmekraftwerke: 2,48 ct/kWh
- Kernkraftwerke: 1,22 ct/kWh
- Wasserkraftwerke: 0,74 ct/kWh

Die installierte Leistung an Wasserkraftwerken beträgt rund 5.000 MW. Die Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken ging wegen ungünstiger hydrologischer Verhältnisse sowie auf Grund von Modernisierungsarbeiten an älteren Anlagen in den letzten Jahren zurück. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft soll erhöht und mittel- bis langfristig sollen Potenziale in der Größenordnung von 5.900 MW erschlossen werden. Auf Grund günstiger hydrologischer Bedingungen hat die Ukraine bereits in den 1980er Jahren mit der Errichtung von Pumpspeicherwerken begonnen, um das Problem der Spitzenlastdeckung zu lösen. Bisher besteht aber erst eine Anlage mit einer Leistung von 225 MW. Vorgesehen bzw. projektiert sind weitere Einheiten mit einer Gesamtleistung von ca. 4.500 MW.

Verstärkte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Angesichts der Probleme bei der Brennstoffversorgung gewinnt auch die Nutzung anderer erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung in der Ukraine zunehmend an Bedeutung. Auf Grund von Kapitalmangel verläuft die Entwicklung jedoch sehr langsam, insbesondere aber bei kleinen Wasserkraftwerken besteht in der Ukraine ein bedeutendes wirtschaftlich nutzbares Potenzial. Gegenwärtig sind 36 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 86 MW in Betrieb. Auch der Windenergie werden in der Ukraine gute Chancen eingeräumt. Die installierte Kapazität liegt derzeit bei rund 100 MW. Deren mittlerer Ausnutzungsgrad beträgt auf Grund der relativ geringen Windgeschwindigkeiten in den relevanten Gebieten nur 5 %. Auf der Halbinsel Krim und in den Kaparten gibt es jedoch Regionen mit deutlich höheren mittleren Windgeschwindigkeiten. Die Stromerzeugungskosten der derzeit betriebenen Windkraftwerke liegen bei 4 ct/kWh.

Zur Stromerzeugung aus Sonnenenergie existieren bisher nur einige experimentelle Anlagen. Die Nutzung der Geothermie scheitert gegenwärtig an den niedrigen Temperaturen der geothermalen Quellen sowie an dem hohen Mineralgehalt der Wässer. Insgesamt hat die Ukraine derzeit weder die finanziellen Mittel noch die entsprechenden Fertigungskapazitäten, um die Stromerzeugung aus regenerativen Energien voranzubringen. Eine Ausnahme hiervon bilden Windkonverter kleinerer Leistung. Die im Nationalen Energieplan der Ukraine enthaltenen Ziele für die Stromerzeugung aus regenerativen Energien in der Größenordnung von 8-10 % bis zum Jahre 2010 sind daher mehr als fraglich, selbst wenn die Kleinwasserkraftwerke dabei berücksichtigt werden.

Starker Verschleiß auch im Stromverbundnetz

Das Verbundnetz der Ukraine ist gut ausgebaut, da hierüber ein großer Teil der Stromexporte der ehemaligen Sowjetunion realisiert wurde. Das Umspannwerk Mukatschewo (220 und 400 kV) im äußersten Westen bildet die Drehscheibe der Stromimporte der osteuropäischen Länder aus der Sowjetunion. Um die Stromexporte weiter steigern zu können, wurde in den 1980er Jahren in der Ukraine ein übergelagertes 750 kV-Netz mit leistungsfähigen Kernkraftwerken in seinen Knotenpunkten errichtet. Auf dieser Spannungsebene wurden drei zusätzliche grenzüberschreitende Leitungen, ausgehend von den ukrainischen Kernkraftwerken, nach Ungarn, Polen und Bulgarien gebaut. 1990 erreichten die Stromexporte in die osteuropäischen Länder über die Ukraine 28 TWh. Mittlerweile hat durch unzureichende Instandhaltung und Erneuerung in den Übertragungs- und Verteilungsnetzen das Störungsgeschehen stark zugenommen. Auch die Übertragungsverluste sind gestiegen. Ein großer Teil der Anlagen in den Umspannwerken ist verschlissen, ein Teil der Transformatoren und Schaltfelder wegen defekter Ausrüstung nicht mehr in Betrieb.

Die Stromexporte gingen nach dem Zerfall des RGW stark zurück. Durch den Anschluss der Länder der CENTREL-Vereinigung an das westliche Netz der UCTE im Oktober 1995 kam es zu einer Trennung der ehemaligen Verbundleitungen der Ukraine nach Mitteleuropa. Gegenwärtig ist das Verbundnetz der Ukraine praktisch in zwei Teile getrennt. Der größere Teil wird synchron mit dem Verbundsystem Russlands betrieben, ein kleinerer Teil im Westen des Landes – die Strominsel Burschty – arbeitet synchron mit dem Verbundsystem der UCTE. Dementsprechend sanken die Stromexporte der Ukraine im Zeitraum von 1990 bis 2002 von 28 auf 2,8 TWh. Die gegenwärtigen Lieferungen erfolgen nur noch nach Moldawien bzw. im grenznahen Bereich im Richtbetrieb nach Rumänien und Polen. Für die Entwicklung des geplanten Stromexportes nach Mittel- und Westeuropa werden in der Ukraine zwei Varianten geprüft: die Erweiterung der Strominsel Burschty durch schrittweisen Anschluss weiterer ukrainischer Energiesysteme bzw. die Vorbereitung des gesamten Verbundssystems der Ukraine auf den Parallelbetrieb mit der UCTE. Mittlerweile haben zwei Strominseln am 01. Juli 2002 den Parallelbetrieb mit CENTREL/UCTE aufgenommen. Im ersten Halbjahr 2003 konnten die Exporte bereits auf knapp 4 TWh gesteigert werden.

Winterliche Stromversorgungskrisen

Die desolate Situation der ukrainischen Stromwirtschaft führte 1999 und 2000 zu Stromversorgungskrisen. Im Winter 1999/2000 waren rund 5.000 MW Kraftwerksleistung auf Grund von Brennstoffmangel nicht in Betrieb, weitere Blöcke konnten nur eingeschränkt betrieben werden. Besonders betroffen waren davon die relativ modernen 800 MW-Blöcke, die ausschließlich auf den Einsatz von Erdgas oder Heizöl ausgelegt sind. Die Stromversorgung kann seit einigen Jahren nur durch Abschaltung von Verbrauchern (in der Winterspitze bis zu 8.000 MW) aufrecht erhalten werden. Das Defizit an verfügbarer Kraftwerksleistung hatte zur Folge, dass die Frequenz im Verbundnetz in den Wintermonaten überwiegend im kritischen Bereich zwischen 49,2 bis 49,4 Hertz lag.

Wegen der instabilen Lage und den daraus resultierenden Stromabzweigungen kam es wiederholt zur Unterbrechung der Verbindungen mit dem russischen System, was die Krise in der Stromversorgung noch verschärfte. Auch das Problem der unzureichenden regelbaren Kraftwerksleistung macht sich bemerkbar. Russland hatte den Verbundbetrieb aber auch mehrfach wegen offener Stromrechnungen der Ukraine unterbrochen. Zur Klärung dieser Probleme fanden wiederholt Verhandlungen auf Ebenen der Regierungen und der beiden Stromkonzerne statt. Schuldner auf der ukrainischen Seite sind allerdings eine große Zahl von „Zwischenhändlern", die einen einträglichen Handel mit russischem Strom betreiben. Nachdem die ukrainischen Schulden gegenüber den russischen Lieferanten von 120 auf 40 Mio. US$ abgebaut werden konnten, einigten sich die Partner auf eine Wiederherstellung des Verbundbetriebes und einen gemeinsamen Stromexportmarkt nach Moldawien ab August 2001. Dies ist für die Ukraine sehr vorteilhaft, da die russische RAO „ES Rossie" den Strom etwa zur Hälfte der ukrainischen Gestehungskosten liefern kann.

Erste Erfolge der Reformanstrengungen

2002 hat sich die Stromversorgung der Ukraine wieder deutlich verbessert. Das Problem der schleppenden und unvollständigen Bezahlung von Strom- und Wärmelieferungen durch die Abnehmer geriet zu einem zentralen Thema der Energiepolitik. Eine Reihe von Verordnungen wurde erlassen mit dem Erfolg, dass sich die Zahlungseingänge verdreifachten. Die geforderte Stärkung der Eigenverantwortung der Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen dagegen wurde bisher kaum in die Wege geleitet. Im Bereich der Stromerzeugung gibt es bisher noch keinen Wettbewerb.

Eine weitere wesentliche Ursache der finanziellen Probleme liegt im Tarifsystem. Die Tarife für die Versorgung der Endabnehmer mit Strom und Fernwärme werden durch die „Nationale Kommission für die Regulierung der Stromunternehmen" festgelegt. Sie decken gegenwärtig trotz mehrerer Erhöhungen in den letzten Jahren nicht die Kosten für Erzeugung, Übertragung und Verteilung des Stroms sowie Instandhaltung der Anlagen.

Die ukrainische Stromwirtschaft bemüht sich seit Jahren, die Stromerzeugungsbasis durch Erneuerung und Modernisierung der vorhandenen sowie durch die Fertigstellung bereits im Bau befindlicher Kraftwerke zu stabilisieren. Die bisher erzielten Ergebnisse sind jedoch trotz der Förderung einer Reihe von Projekten durch Banken und Unternehmen der westlichen Industrieländer eher gering einzuschätzen. Konkrete Fortschritte weisen lediglich die Modernisierungen von zwei Blöcken (200 bzw. 300 MW) bei den Steinkohlekraftwerken auf.

Zur Sicherung des künftigen Strombedarfszuwachses setzt die Ukraine vor allem auf die Fertigstellung der bereits vor der politischen Wende zu 80 % errichteten Kernkraftwerks-Blöcke Rovno 4 und Khmelnitzky 2. Im Rahmen der als Ersatz für die Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl zugesicherten Hilfsmaßnahmen der G7 und der übrigen Länder haben die EBRD und EURATOM der Ukraine trotz der Bedenken mehrerer europäischer Länder, u. a. auch Deutschlands, einen Kredit zur Fertigstellung dieser Blöcke angeboten. Der Kredit ist allerdings an einige Bedingungen geknüpft (u. a. Tariferhöhungen für Strom). Parallel dazu wird auch über die Annahme eines russischen Kredites zur Fertigstellung der beiden Kernkraftwerksblöcke verhandelt.

Gemessen an der prognostizierten Entwicklung des ukrainischen Strombedarfs kann die Inbetriebnahme der beiden Kernkraftwerks-Blöcke Rovno 4 und Khmelnitzky 2 die Lücke bei der Strombedarfsdeckung nicht schließen, so dass eine wesentliche Steigerung der Stromerzeugung aus fossil gefeuerten Kraftwerken unumgänglich erscheint. Da der erforderliche Zubau von Wärmekraftkapazitäten auf Grund der wirtschaftlichen Lage der Ukraine nicht möglich ist, muss der Ausnutzungsgrad der vorhandenen Wärmekraftwerke bis zum Jahr 2010 wesentlich gesteigert werden. Angesichts der starken Überalterung und des hohen Verschleißes dieser Anlagen ist hierzu ein umfangreiches Programm zur Rekonstruktion und Modernisierung erforderlich.

Hoher Versorgungsbeitrag der Kernenergie

In diesem Umfeld ist es nicht verwunderlich, dass die Ukrainer die Stromversorgung aus den Kernkraftwerken als einen stabilisierenden Faktor ansehen, die 2002 rund 46 % der gesamten Stromerzeugung erzeugten (vgl. Tabelle 14).

Auf Grund fehlender Reservekapazitäten ist in der Ukraine im Winter jede verfügbare Einheit am Netz. In den letzten Jahren wuchs der Anteil der Kernenergie an der Stromversorgung des Landes kontinuierlich, insbesondere weil Kohlekraftwerke ausfielen. Die wirtschaftliche und gesellschaftliche Krise des Landes trifft jedoch auch die Kernkraftwerke. Es fehlt an Ausrüstungen und Material für die vorbeugende Instandhaltung der Anlagen. Die Betriebsmannschaften helfen sich vorübergehend durch Aufarbeitung von gebrauchten Ausrüstungen und Teilen. Da die Stromlieferungen nur sehr schleppend bezahlt werden, fehlt es an Geld, um erkannte Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu realisieren.

Zunehmend macht sich auch ein Mangel an qualifizierten Ingenieuren, Meistern und Facharbeitern bemerkbar. Die Tätigkeit in der Kernenergiewirtschaft war früher sowohl im gesellschaftlichen Ansehen als auch in materieller Hinsicht privilegiert. Heute ist die Bezahlung unregelmäßig, die Entwicklungsperspektiven sind unsicher. Viele gute Fachleute wechselten daher in andere Branchen oder gehen nach Russland. Für die Betriebsleiter besteht das Problem, trotz dieser Rahmenbedingungen die Arbeitsdisziplin aufrechtzuerhalten und den neuen Begriff der Sicherheitskultur umzusetzen.

Land	Anzahl in Betrieb	Netto Leistung (MWe)	Anteil an der Stromerzeugung %
Bulgarien	4	2.722	45
Litauen	2	2.370	81
Russland	30	20.817	16
Slowakische Republik	6	2.448	55
Slowenien	1	676	38
Tschechische Republik	6	3.494	25
Ukraine	13	11.190	46
Ungarn	4	1.755	36
Gesamt	66	45.472	

Quelle: atw 4/2003, S. 258

Tabelle 14: Kernkraftwerke und Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung in den mittel- und osteuropäischen Staaten sowie Russland zum Stichtag 31.12.2002

Am Standort Tschernobyl kam ein lokales Problem hinzu. Nach dem Unfall baute man in aller Eile eine neue Stadt für die Belegschaft: Slawutisch wurde rund 50 km östlich von Tschernobyl auf dekontaminiertem Boden in praktisch einem Jahr von acht Sowjetrepubliken in einer „beispiellosen Solidarleistung" erstellt. In diese neue Stadt gingen jedoch nur 10 % der ehemaligen Belegschaftsmitglieder. Die übrigen zogen es vor, in Kiew zu bleiben und sich eine andere Arbeitsstätte zu suchen.

Ausbau der Kernenergie geplant

In jüngster Zeit traf die ukrainische Regierung Entscheidungen, die auf eine beschleunigte Entwicklung der Kernenergie und der Nuklearindustrie ausgerichtet sind. Dieses Programm sieht die Inbetriebnahme von Anlagen vor, die zur Zeit des Moratoriums (1990 bis 1993) einen hohen oder mittleren Stand der Fertigstellung hatten. Danach würde der Anteil der installierten Kernenergiekapazitäten an der Stromerzeugung durch die Inbetriebnahme neuer Blöcke weiter steigen.

Dieses anspruchsvolle Kernenergieprogramm erfordert eine Neuorientierung des Industriepotentials der Ukraine, die vor allem durch die Konversion in der Rüstungsindustrie erreicht werden soll. Bisher wurden nur rund 15 % des Ausrüstungsbedarfs der Kernkraftwerke durch die Ukraine selbst gedeckt, 85 % der Lieferungen kamen vor allem aus Russland. Die energiewirtschaftliche Organisation in der früheren UdSSR hatte dazu geführt, dass in der Ukraine keine eigenständigen staatlichen und unternehmerischen Strukturen zum Betrieb der Kernkraftwerke sowie keine ausreichenden Forschungs-, Projektierungs- und Konstruktionskapazitäten entwickelt wurden. Diesen Rückstand will man nun so schnell wie möglich aufholen. Erste Ergebnisse von Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verhältnis zwischen Import und Eigenproduktion im Nuklearbereich auf bis zu 60 % zu Gunsten der Eigenversorgung erhöht werden kann.

Intensive Kommunikation mit der Öffentlichkeit

Angesichts der problematischen energiewirtschaftlichen, gesamtwirtschaftlichen und sozialen Lage sucht der Kernenergiebereich der Ukraine nach Wegen aus der Misere. Der Präsident der „Energoatom", Sergey Tulub, schilderte die Lage auf der WANO-Generalkonferenz im Oktober 2003 in Berlin wie folgt: „Man kann nicht in die Zukunft schauen, ohne den zurückgelegten Weg zu analysieren, und der war für die Kernenergiewirtschaft der Ukraine sehr dornenreich. Aus unserer Geschichte kann man weder die Havarie in Tschernobyl und ihre Folgen noch die Zahlungsparalyse noch das Moratorium für den Weiterbau der fast fertigen Blöcke streichen. Das Wichtigste ist die nach der Katastrophe von Tschernobyl entstandene gesellschaftliche Meinung über die „soziale Gefahr" oder gar die „Unmoral" der Kernenergie. Für die Kernenergiewirtschaft der Ukraine begann eine Periode des Überlebenskampfes. Die Probleme, mit denen wir konfrontiert wurden, betrafen nicht nur traditionelle Fragen der Sicherheit und der Wettbewerbsfähigkeit, in erster Linie mussten wir lernen, das kolossale gesellschaftliche und politische Misstrauen gegenüber der Kernenergie zu überwinden. Wir mussten lernen, uns in einer begreiflichen Sprache mit der Bevölkerung, den gesellschaftlichen Organisationen und den politischen Parteien zu verständigen, um einen großen Teil von ihnen, wenn nicht zu unseren Anhängern, so zumindest nicht zu unseren Gegnern zu machen. In einer solchen Situation war die Verbreitung einer objektiven, überzeugenden Information eine der wichtigsten Grundsätze für das Bestehen der Kernenergiewirtschaft in der Ukraine".

Als anschauliches Beispiel für die neue Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit gilt der Beginn der Diskussion über die Fertigstellung der Blöcke Khmelnitzky 2 und Rowno 4 im Jahr 1996. Die Diskussion erfolgte in Übereinstimmung mit den Regeln der EU, der Satzung der EBRD sowie den ukrainischen Gesetzen über die Öffentlichkeitsarbeit. Die wichtigste Grundlage bildeten die Dokumente über den Einfluss der Vorhaben auf die Umwelt. Diese wurden auch den Botschaften von sieben Ländern übergeben (Weißrussland, Moldawien, Polen, Russland, Rumänien, Slowakei und Ungarn) und etwas später auf individuelle Anfragen auch an die USA, Österreich, die Tschechische Republik sowie an staatliche und nicht staatliche Organisationen und einzelne Bürger.

Die Auswertung von Fragen, Bemerkungen und Vorschlägen zur Fertigstellung der neuen Blöcke war eine der wesentlichen Aufgaben im Rahmen der Diskussion. Insgesamt gingen über 1.000 Fragen ein, die Antworten erfolgten innerhalb von 15 Tagen. Öffentliche Anhörungen fanden in 11 Städten der Ukraine statt, außerdem wurden zwei „Runde Tische" durchgeführt: In Österreich unter Teilnahme von 40 Experten, die die Regierung vertraten sowie von 75 Vertretern der Öffentlichkeit und nicht staatlicher Organisationen. Ein zweiter „Runder Tisch" fand in Ungarn statt. Als Ergebnis der Diskussion wurde ein Abschlussbericht durch eine Autorengruppe erstellt, in der acht ukrainische und fünf westliche Experten vertreten waren.

Zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit erhöht die Akzeptanz

In einer früheren Meinungsumfrage durch SOCIS-Gallup International unterstützten nur 14 % der Befragten Ukrainer die Fertigstellung der beiden Blöcke. Nach 10

Monaten aktiver Informationstätigkeit und zielgerichteter Arbeit in der Öffentlichkeit hatte sich das Verhältnis der Bürger zu diesem Problem grundlegend verändert. In einer neuen Meinungsumfrage im Februar 2002 durch das angesehene ukrainische Rasumkov-Zentrum unterstützen die Fertigstellung 43 % der Befragten.

Eine weitere Erhöhung der Sicherheit und der Zuverlässigkeit in der ukrainischen Kernenergiewirtschaft sowie die Formierung und Festigung einer positiven öffentlichen Meinung zu dieser Frage kann nach Aussagen von Energoatom nur in einer engen internationalen Zusammenarbeit erfolgen. Um die Zukunft der Kernenergie in der Ukraine zu sichern, muss eine aktivere, offensivere Position bezogen und gemeinsam mit den Betreiberorganisationen eine beharrliche Arbeit gegenüber den Vertretern des Staates, der gesellschaftlichen Organisation und der Bevölkerung geleistet werden. Diese Tätigkeit darf nicht nur auf die technischen Verbesserungen, Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Kernkraftwerke gerichtet werden, sondern muss mit allen geeigneten Mitteln der Information zielstrebig den Menschen nahe gebracht werden. In jüngster Zeit überwiegt in der gesellschaftlichen Meinung der Ukraine das Verständnis, dass es zur Kernenergie derzeit keine Alternative gibt. Mittlerweile unterstützen nach Ermittlungen des ukrainischen Zentrums zum Studium der öffentlichen Meinung rund 80 % der Bevölkerung die weitere Entwicklung der Kernenergie in der Ukraine.

3. Internationale Hilfsmaßnahmen für die Sicherung und die Entsorgung

Zusammenfassung

Nachdem das Kernkraftwerk Tschernobyl Ende 2000 stillgelegt und vom Netz genommen wurde, muss in der Ukraine angesichts der angespannten Stromversorgungslage Ersatz für die ausgefallene Kraftwerksleistung geschaffen werden. Seit Mitte der 1990er Jahre finden auf internationaler Ebene verschiedene Aktivitäten statt, um die schweren Folgen für die Menschen und die Umwelt in der näheren und weiteren Umgebung des Standortes Tschernobyl zu bewältigen. Eine davon ist die deutsch-französische Initiative für Tschernobyl. Um den jetzigen Sarkophag in ein „ökologisch sicheres System" umzuwandeln, wurde der Shelter Implementation Plan (SIP) aufgelegt. Für die Beschäftigten am Standort Tschernobyl müssen neue Arbeitsplätze geschaffen werden.

Die von westlicher Seite immer wieder vorgetragene Forderung an die ukrainische Regierung, das Kernkraftwerk Tschernobyl stillzulegen, war nach dem Unfall ein ständiges Thema der Medien und hat vielfach zu widersprüchlichen Meldungen, Spekulationen und Einschätzungen geführt. Angesichts der energiewirtschaftlichen Lage in der Ukraine war es offenkundig, dass eine Stilllegung nur mit umfangreichen Hilfsmaßnahmen seitens der westlichen Länder zu realisieren ist.

Alle Ersatzkonzepte gehen davon aus, dass der Energiesektor der Ukraine grundsätzlich einer umfassenden Reform bedarf und insbesondere die großen Potenziale zur rationellen und sparsamen Energienutzung erschlossen werden müssen. Berechnungen westlicher Fachleute haben ergeben, dass in der Ukraine beispielsweise allein durch den Einsatz regelbarer Elektroantriebe rechnerisch eine Leistung von über 3.000 MW ersetzt werden könnte. Die Kosten hierfür werden auf 300 bis 400 Mio. US$ veranschlagt. Die Umsetzung würde einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren umfassen. Weitere kostengünstige Potenziale gibt es in allen Verbrauchssektoren. Ein zentraler Ansatzpunkt ist das zu niedrige Preisniveau, das kaum Anreize zum Energiesparen gibt, denn Strom- und Brennstoffe werden weit unter dem Selbstkostenpreis abgegeben.

Für den direkten Ersatz der ausgefallenen Leistung am Standort Tschernobyl stehen drei unterschiedliche Konzepte zur Debatte:

- Fertigstellung von drei neuen, sicherheitstechnisch modernen Reaktoren, die sich in der Ukraine in fortgeschrittenem Bauzustand befinden.

- Bau eines modernen Gaskraftwerks mit 3.000 MW Leistung bei der Stadt Slawutich, wodurch auch ein geringer Teil der Beschäftigten des Kernkraftwerks Tschernobyl Arbeit in dem neuen Werk finden könnte.

- Ertüchtigung und Modernisierung der Kohlekraftwerke des Landes, die dadurch auch auf höhere Leistung ausgerichtet werden könnten.

Nach jahrelangen Verhandlungen zwischen den westlichen Geberländern und der ukrainischen Regierung über Wege zur Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl wurde am 20. Dezember 1995 ein Abkommen geschlossen. Vertreter beider Seiten unterzeichneten ein Memorandum über die Schließung der Anlage, nachdem ein Minimalkompromiss gefunden wurde, der auf endgültige Angaben über Kosten und Fristen verzichtet, aber zumindest den Anfangsschub für die Stilllegung geben sollte. Das Memorandum legte auch lediglich eine Anfangsfinanzierung fest, deren weitere Ausgestaltung noch Gegenstand mehrerer Machbarkeitsstudien und neuer Verhandlungen sein sollte. Vereinbart wurde die Umgestaltung des Sarkophags in ein „ökologisch sicheres System".

Die deutsch-französische Initiative für Tschernobyl

Am 12. April 1996 kündigten in Wien die französische und die deutsche Umweltministerin gemeinsam eine Initiative zur Kooperation mit der Ukraine, Weißrussland und Russland über wissenschaftliche Projekte zu den Konsequenzen des Unfalls von Tschernobyl an. Die deutsch-französische Initiative wird von den Regierungen sowie von der französischen Electricité de France (EDF) und von deutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) finanziert.

Im Juli 1997 haben Frankreich, Deutschland und die Ukraine die deutsch-französische Initiative durch die Unterzeichnung einer Vereinbarung zwischen der GRS, ihrer französischen Partnerorganisation IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) und dem Tschernobyl-Zentrum (Chernobyl Centre for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology, im Jahr 1996 per Dekret der ukrainischen Regierung geschaffen) in eine verbindliche Form gebracht. Seitdem sind zahlreiche Studien über die Folgen des Unfalls in Tschernobyl in den betroffenen Republiken der ehemaligen UdSSR durchgeführt worden. Sie wurden ohne wirkliche Koordinierung teils mit, teils ohne Beteiligung internationaler Instanzen und westlicher Wissenschaftler verwirklicht. Einige wurden niemals veröffentlicht, andere haben nur unzusammenhängende, heterogene und sogar widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf die ökologische und gesundheitliche Tragweite des Unfalls vom 26. April 1986 hervorgebracht.

Um die Kohärenz der Aktionen kurz-, mittel- und langfristig herzustellen und zu garantieren, ist es unabdingbar, alle Kenntnisse zusammenzufassen und zu bewerten, damit die aus dem Unfall resultierende Gesamtsituation beherrscht und verbessert werden kann. Das

Bild 11: Zweite Tschernobyl Geberkonferenz

wesentliche Ziel der deutsch-französischen Initiative ist es daher, die bestehenden Daten und Erkenntnisse zu sammeln und einzuordnen, um eine sichere und objektive Informationsbasis zu erstellen, die für die Planung von zukünftigen Maßnahmen, zur Information der Öffentlichkeit und für spätere wissenschaftliche Arbeiten von Nutzen ist.

Dazu finanzieren Frankreich und Deutschland drei Kooperationsprogramme mit einem Budget von rund 6 Mio. €:

- Sicherheitszustand des Sarkophags von Tschernobyl;
- Untersuchung der radioökologischen Folgen des Unfalls;
- Untersuchung seiner gesundheitlichen Auswirkungen.

Im Rahmen dieser Vereinbarung organisieren GRS und IRSN die methodische Unterstützung für ukrainische, russische und weißrussische Organisationen zur Durchführung wissenschaftlicher Projekte in den drei Kooperationsprogrammen.

Die Programme Sarkophag, Radioökologie und Gesundheit

Das Hauptziel des Programms, das sich mit dem Sicherheitszustand des Sarkophags befasst, ist die Sammlung und Bewertung von Informationen zur bautechnischen, nuklearen und radiologischen Sicherheit des Sarkophags und die Speicherung dieser Informationen in einer Datenbank, deren Entwicklung vom ISTC (Interdisziplinäres Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Akademie der Wissenschaften der Ukraine) begonnen worden ist. Diese Informationen sollen eine Basis für die Bewertung des gegenwärtigen Zustandes und für künftige Maßnahmen schaffen. Bei der Untersuchung der radiologischen Folgen des Unfalls konzentriert sich das Programm der deutsch-französischen Initiative vor allem auf die 30 km-Zone und das Gebiet um Gomel, Weißrussland sowie um Briansk in Russland.

Seit dem Unfall kursieren widersprüchliche Informationen über die Art und Schwere der Gesundheitsprobleme, die in den verschiedenen Regionen der betroffenen drei Republiken beobachtet worden sind. Allgemein herrscht weiterhin eine beträchtliche Verunsicherung, obwohl inzwischen unter Wissenschaftlern ein weitgehender Konsens über die wichtigsten gesundheitlichen Folgen besteht. Es sind zahlreiche Studien von sehr unterschiedlicher methodischer Qualität durchgeführt worden. Die Schlussfolgerungen einiger dieser Untersuchungen wurden veröffentlicht, ohne dass die

wissenschaftliche Richtigkeit der Ergebnisse garantiert werden konnte. Andere, unter streng wissenschaftlichen Bedingungen durchgeführte Arbeiten, stehen Fachleuten zur Verfügung, nicht aber der direkt betroffenen Bevölkerung.

Die Hauptschwierigkeit bei der Erstellung einer eindeutigen Bilanz liegt in der Unzulänglichkeit der Beurteilung epidemiologischer Studien in den osteuropäischen Ländern. Dies betrifft insbesondere die Art und Weise der Registrierung von Krebsfällen, die Struktur anderer Krankheitsregister, Bevölkerungsstatistiken etc. Präzise Dosisrekonstruktionen sowie die langfristigen Folgen von niedrigen Strahlungsdosen bleiben auch weiterhin ein Problem. Darüber hinaus wurden Gesundheitsinformationen (Krebsregister, Register für angeborene Missbildungen, Kataloge anderer gesundheitlicher Auswirkungen) sowie die Register der Liquidatoren nicht nach einheitlichen methodischen Standards erhoben und sind auf zahlreiche Datensammlungen verstreut. Das wichtigste Ziel des Gesundheitsprogramms der deutsch-französischen Initiative ist es daher, bestehende Datensammlungen über den Gesundheitsstand und die Dosimetrie zu validieren, die angewandten Methoden anzugleichen und die Verbreitung der Ergebnisse unter Wissenschaftlern und in der Öffentlichkeit zu fördern.

Die aktive Phase der Unteraufträge der deutsch-französischen Initiative Tschernobyl ist im Wesentlichen Ende 2003 abgeschlossen worden. Allerdings sind speziell zum Programm Gesundheit die abschließenden Ergebnisdokumentationen noch zu erstellen. Die GRS beabsichtigt die Arbeiten bis zum Sommer 2004 abzuschließen und in einem Workshop Anfang Oktober 2004 in Kiew zu präsentieren.

Shelter Implementation Plan (SIP)

Im Mai 1997 legte die Firma Trischler & Partner, Darmstadt, einen in enger Zusammenarbeit mit ukrainischen Organisationen und westlichen Experten der G7-Staaten erstellten Arbeitsplan (Shelter Implementation Plan, SIP) vor. Es handelte sich dabei um ein technisch sehr komplexes Projekt, dessen Realisierung sich über 8-10 Jahre erstrecken wird. Das SIP-Projekt umfasst die notwendigen Schritte für die Stabilisierung der baulichen Strukturen und den sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe im Unglücksreaktor und enthält alle erforderlichen technischen Maßnahmen, Kostenermittlungen und Regelungen zum Management des Projekts, das damit kurzfristig umgesetzt werden sollte. Der SIP wurde im Juni 1997 vom ukrainischen Minister Kostenko und vom G7-Vorsitz unterzeichnet und ist seitdem Grundlage für die weitere Zusammenarbeit.

Der Hauptinhalt des SIP umfasst folgende Punkte:

- Reduzierung der potenziellen Gefahr eines Einsturzes des Sarkophags (geotechnische und seismische Untersuchungen, Stabilisierung der tragenden Bauteile des existierenden Sarkophags, Abschirmung, Überwachung);

- Reduzierung der radiologischen Auswirkungen für den Fall eines Einsturzes (Staubbehandlung, Notfallschutzmaßnahmen, Verbesserung der Rückhaltesysteme für radioaktive Partikel);

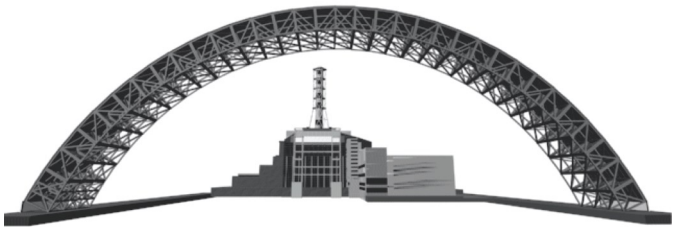
- Verbesserung der nuklearen Sicherheit innerhalb des Sarkophags (Charakterisierung der brennstoffhaltigen Massen, Überwachung des verbliebenen Kernbrennstoffs und dessen Kontrolle, Kritikalitätsverhinderung, Wasserbehandlung);

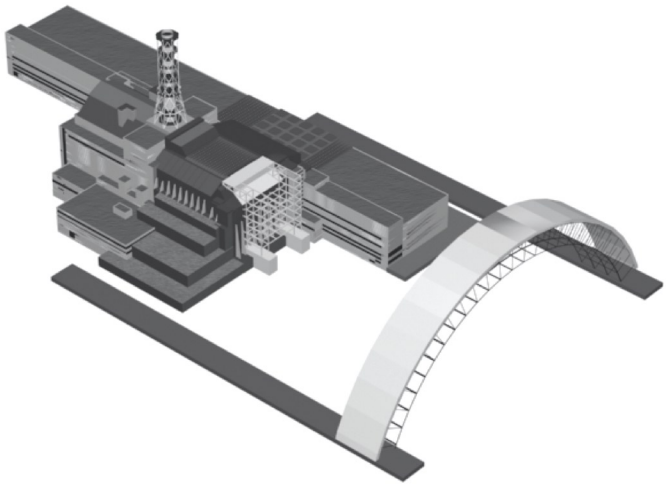
- Verbesserung der Sicherheit des Personals und der Umwelt (Arbeits- und Strahlenschutz sowohl für die im Sanierungsprojekt beschäftigten Arbeiter als auch für die Belegschaft am Standort Tschernobyl, Brandschutz, Überwachungssysteme, Informationssystem);

- Strategie für eine langfristige Standortsanierung und Studien für eine Umwandlung des Sarkophags in einen ökologisch sicheren Zustand (Strategie und Technologie zur Entfernung der brennstoffhaltigen Massen, neuer Einschluss und teilweiser Rückbau des Sarkophags).

Insgesamt sind im SIP 22 Teilprojekte (Tasks) festgelegt. Die verhältnismäßig lange Laufzeit des Sanierungsprojekts (ca. 10 Jahre) beruht im Wesentlichen auf zwei Umständen: Zum einen herrschen schwierige Arbeitsbedingungen auf Grund hoher Strahlenbelastungen und eingeschränkter Standfestigkeit des vorhandenen Bauwerks; zum anderen können viele technische Einzelheiten, deren Kenntnis für die Planung einzelner Arbeitsschritte notwendig ist, erst im Verlauf der Arbeiten bestimmt werden. Nach aktuellen Schätzungen (Anfang 2004) belaufen sich die Kosten für die im SIP definierten Projekte auf rund 1,3 Mrd. US$ über einen Zeitraum bis voraussichtlich 2008.

Die von den G7-Staaten und der EU zur Verfügung gestellten Mittel wurden in einen multilateralen Sarkophag-Fonds (CSF – Chernobyl Shelter Fund) eingezahlt, der nach dem Muster des Nuklearen Sicherheitsfonds bei der EBWE eingerichtet worden war. Die Bank verwaltet diese Mittel und vergibt entsprechende Aufträge zur Durchführung des SIP. Die Geberversammlung des Fonds überwacht die Tätigkeiten der Bank. In den Regeln für den Fonds wurde ein eindeutiger Bezug auf das SIP-Projekt hergestellt, um sicherzustellen, dass sich der Fonds und damit die vorgesehene Finanzierung nur auf dieses Projekt bezieht. Der CSF trat am 06. November 1997 offiziell bei der EBWE in Kraft.





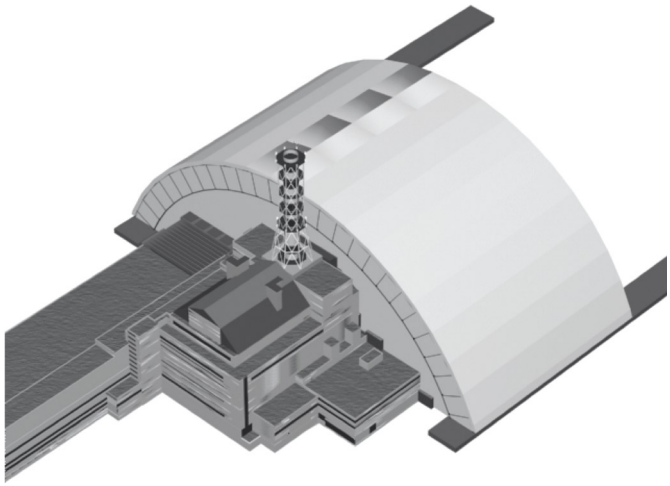


Bild 12: Modell des neuen Sarkophags. Außerhalb des havarierten Blockes 4 soll eine Stahlkonstruktion in Form eines Bogens errichtet und dann über den alten Sarkophag geschoben werden. Die mobile Vorrichtung soll ca. 100 Meter hoch sein und eine Spannweite von ca. 250 Metern haben.

Perspektive für den Standort des Kernkraftwerks Tschernobyl

Für die Durchführung aller weiteren Arbeiten zur Stilllegung der Blöcke 1, 2 und 3 sowie zur Sicherung des Blockes 4 wurde mit Beschluss der ukrainischen Regierung das Kernkraftwerk Tschernobyl am 25. April 2001 aus dem Verband des Konzerns Energoatom herausgelöst und zu einem eigenständigen staatlichen Unternehmen umgewandelt. Es untersteht dem Minister für Brennstoff und Energie und unterliegt der direkten Kontrolle durch den Präsidenten der Ukraine.

Die Situation am Standort ist weiterhin kompliziert. In Dauerbetriebszeiten hatte die Anlage 6.000 Beschäftigte, die bis 1996 auf 12.000 erhöht wurden. Mittlerweile hat sich die Zahl der Beschäftigten auf 4.350 verringert. Nur zögerlich werden vom Management des Kernkraftwerks Fragen der Umstrukturierung und der Personalauswahl auf die neue Aufgabenstellung in Angriff genommen. Aus dem ehemaligen Instandhaltungsbereich der Anlage wurde im November 2001 ein eigenständiges Unternehmen „AtomRemontService" gebildet, das für alle ukrainischen Kernkraftwerke verschiedene Dienstleistungen erbringen soll. Dazu zählen Maßnahmen zur Modernisierung und Erhöhung der Sicherheit, Beteiligung an der Errichtung neuer Anlagen in Kernkraftwerken, der Transport von frischem und abgebranntem Brennstoff, Maßnahmen zum physischen Schutz sowie Ausbildung und Training von Personal. Das Unternehmen soll einmal bis zu 1.100 Mitarbeiter haben.

Diese Maßnahme ist jedoch problematisch, da in den ukrainischen Kernkraftwerken selbst Überkapazitäten vorhanden sind. Offensichtlich werden soziale Unruhen befürchtet, wenn am Standort Tschernobyl eine nur an den Stilllegungsaufgaben orientierte Personalpolitik realisiert würde. So hofft man auf Arbeiten bei Errichtung und Betrieb der mit internationaler Hilfe begonnenen Vorhaben sowohl im Rahmen der Stilllegungsarbeiten am Standort als auch bei der Errichtung des zweiten Sarkophags.

Ein erstes Projekt ist bereits abgeschlossen. Dabei handelt es sich um ein Heizkraftwerk am Standort des Kernkraftwerks, dessen Errichtung von der US-amerikanischen Regierung finanziell ermöglicht, von einer US-amerikanischen Firma gemanagt und von ukrainischen Unternehmen ausgeführt wurde. Seit Anfang 2002 liefert die Anlage Wärme und Prozessdampf zur Versorgung des Kernkraftwerks und seiner Einrichtungen am Standort. Von den Kosten in Höhe von 37,5 Mio. US$ hat das US-amerikanische DOE 30 Mio. US$ übernommen. Ein zweites Projekt unter der Leitung von Westinghouse/Brüssel und NNC befasst sich mit zwei Maßnahmen, die zur Vorbereitung der Stilllegung dienen:

- Errichtung eines Zwischenlagers für abgebrannte RBMK-Brennelemente durch ein französisches Auftragnehmerkonsortium unter Leitung von Framatome ANP. Das Lager hat eine Kapazität von 25.000 Brennelementen und 3.000 Absorberstäben. Damit soll das gesamte Kernbrennstoff-Inventar vorerst am Standort zwischengelagert werden.

- Errichtung eines Werkes zur Verfestigung flüssiger radioaktiver Rückstände nach dem Zementierungsprinzip, das ein belgisch-französich-italienisches Konsortium durchführt (Belgatom/SGN/Ansaldo). Die Anlage soll in etwa 10 Jahren ca. 35.000 m³ flüssige Abfälle verarbeiten. Sie wird durch die EBRD mit 20 Mio. € gefördert.

Ein drittes Projekt wurde Anfang 2001 gestartet. Es soll die Betriebsführung begleiten und die Stilllegung vorbereiten. Ein Schwerpunkt dieses Projektes ist eine Anlage zur Aufbereitung fester radioaktiver Abfälle, die entweder bereits in einem kraftwerkseigenen Zwischenlager liegen oder die zukünftig bei der Stilllegung entstehen. Die Anlage soll außerdem einen Teil der provisorisch in Gräben gelagerten Trümmer aus der Havarie verarbeiten. Das Projekt (ICSRM) besteht aus drei Teilanlagen:

- Einer Anlage zur Rückholung fester Abfälle aus einem bestehenden Zwischenlager,

- einer Anlage zur Behandlung und Verpackung der festen Abfälle,

- einem für 300 Jahre kontrollierter Lagerzeit konzipierten Lager für konditionierte radioaktive Abfälle mit kurzen und mittleren Halbwertszeiten sowie Endprodukten aus den Behandlungsanlagen für feste und flüssige Rückstände.

Turn-key-Auftragnehmer für das ICSRM-Projekt ist die RWE Nukem GmbH. Der Projektwert liegt bei 44 Mio. €. Die Ukraine beteiligt sich mit 2,7 Mio. € an diesen Kosten.

Die Stilllegungsgenehmigung für die Blöcke 1, 2 und 3 sowie für alle Objekte, die für die Zwischenlagerung der abgebrannten Kernbrennstoffe und radioaktiven Abfälle vorgesehen sind, wurde im März 2002 erteilt. Zur Nutzung des intellektuellen Potenzials und der Erfahrungen der Fachleute am Standort wurden eine Reihe wissenschaftlicher Einrichtungen in Slavutich angesiedelt, die mit internationaler Unterstützung und unter Leitung des „Internationalen Tschernobyl-Zentrums“ (ITZ) wissenschaftlich-technische Leistungen auf dem Gebiet der Kernenergie und des Strahlenschutzes bearbeiten. Die Ukraine verfolgt damit insbesondere das Ziel, nationale wissenschaftliche Kapazitäten auf diesen Gebieten aufzubauen, nachdem durch den Zerfall der Sowjetunion fast alle einschlägigen Forschungskapazitäten in Russland verblieben sind.

Das ITZ wurde 1996 gebildet. Es untersteht direkt dem Ministerrat der Ukraine und wird von einem Rat von bevollmächtigten Vertretern der beteiligten Länder (USA, England, Japan, Frankreich und Deutschland) unterstützt. Das ITZ befasst sich gegenwärtig mit der Stilllegung der Anlage und der Stabilisierung des Sarkophags, radioökologischen Untersuchungen in der Sperrzone des Standortes sowie mit Forschungsprojekten zur nuklearen Sicherheit, der Behandlung von radioaktiven Abfällen und des Strahlenschutzes. Zudem besteht ein Labor für wissenschaftlich-technische Arbeiten zur Sicherheit der laufenden Kernkraftwerke der Ukraine. Die ukrainische Regierung beabsichtigt, weitere Unternehmen und Institutionen am Standort anzusiedeln und damit das Problem der Beschäftigung des teilweise hoch qualifizierten Personals zu lösen.

V. Kernenergie im globalen Energiemix

Seit dem Beginn der friedlichen Nutzung der Kernenergie in den 1950er Jahren hat sie sich einen festen Platz im Energiemix der Welt geschaffen und nach den Ölpreisschüben der 1970er Jahre vielen Ländern geholfen, aus der Ölabhängigkeit herauszukommen. Der Unfall in Tschernobyl im April 1986 mit seinen katastrophalen Folgen für die betroffenen Menschen und Regionen führte für die Kernenergie zu einem herben Rückschlag in der öffentlichen Akzeptanz. Die Wertschätzung ihrer Anwendungsvorteile sank in einigen Ländern erheblich.

Der Unfall führte – anfangs aus der Not heraus und unterstützt durch die Öffnung des Ostens in den 1990er Jahren – zu einer verstärkenden Kooperation zwischen West und Ost bei der Reaktorsicherheit. Schon Anfang der 1990er Jahre waren die wesentlichen Sicherheitsdefizite der Reaktoren sowjetischer Bauart bekannt, wobei die Kenntnisse der ostdeutschen Kernenergiefachleute eine große Rolle spielten. Der Weg zur Beschlussfassung über westliche Hilfsmaßnahmen war kurz. Ihre Umsetzung brauchte u.a. auf Grund der vielfältigen politischen Interessen der beteiligten Länder und der chronischen Engpässe in der Stromversorgung vieler mittel- und osteuropäischen Länder weit mehr Zeit als erhofft. Das galt insbesondere für die Stilllegung des Kernkraftwerks Tschernobyl und gilt für die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen am Sarkophag.

Seit dem Unfall in Tschernobyl hat sich aber nicht nur die Kerntechnik, sondern auch die Welt spürbar verändert. Das anhaltende Bevölkerungswachstum und der dadurch steigende Energieverbrauch bei Begrenztheit der Energieressourcen sowie die Notwendigkeit, die natürliche Umwelt und das Klima zu schützen, sind fundamentale technologische und politische Herausforderungen. Sie werden weltweit die Zukunft der Energieversorgung bestimmen. Als Leitbild wird dabei eine „nachhaltige Energieversorgung" angesehen, bei der Umwelt- und Naturschutz sowie wirtschaftliche, soziale und kulturelle Werte gleichgewichtige Bestandteile sind.

Die wohl größte Herausforderung ist die Reduzierung der energiebedingten Freisetzung von Klimagasen, insbesondere von CO_2. Die Klimagase müssten nach Ansicht der Klimaforscher in den kommenden Jahrzehnten weltweit um 70 % verringert werden, wenn die Temperaturveränderungen in vertretbaren Grenzen gehalten werden sollen. Kernenergie leistet hier seit vielen Jahren einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung. Derzeit werden jährlich durch die weltweit in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke der Erdatmosphäre rund 2,5 Mrd. t CO_2 erspart, das sind nahezu 10 % der globalen CO_2-Freisetzungen.

Eine weitere Herausforderung ist die Bewältigung der Versorgungsrisiken bei Importenergien. Nur rund 20 der 190 Länder fördern neben dem Eigenbedarf ausreichend Energierohstoffe für den Export. Insbesondere die Öl- und Gasexporte kommen zu einem großen Teil aus politisch instabilen Ländern. Kernenergie ist wegen der kostengünstigen und problemlosen Brennstofflagerung auch dann ein „quasi-heimischer" Energieträger, wenn das Uran importiert werden muss. Zudem werden durch die Nutzung der Kernenergie die fossilen Energieressourcen geschont und ihre Reichweite gestreckt.

In liberalisierten Energiemärkten wiederum besteht die Herausforderung, eine wettbewerbsfähige Stromversorgung sicherzustellen. In Deutschland schneiden die Kernkraftwerke dabei am besten ab, denn sie haben bei der Stromerzeugung an den meisten Standorten die günstigsten Gestehungskosten. Dieser Vorteil gilt auch für viele andere Länder.

Kernenergie wird auch zukünftig eine feste Größe im globalen Strommix bleiben. Das Potenzial für ihren weiteren Ausbau ist vorhanden. Ressourcenprobleme bestehen nicht, denn Kernbrennstoffe sind weltweit reichlich vorhanden. Die Lagerstätten sind breit gestreut. Eine weiter entwickelte Generation der bewährten Druck- und Siedewasserreaktoren, die sogenannte dritte Generation, steht für eine Wiederaufnahme des Baus von Kernkraftwerken in Europa und Nordamerika zur Verfügung, während in Fernost (vor allem China, Indien, Japan, Südkorea) der Ausbau der Kernkraftwerkskapazitäten zügig voranschreitet.

In internationalen Forschungsprogrammen wird auch an der sogenannten vierten Reaktor-Generation gearbeitet, die in etwa 30 Jahren einsatzreif sein soll und vor allem der Erschließung neuer Felder der Energieversorgung für die Kernenergie dienen soll, z. B. der Erzeugung von Wasserstoff.

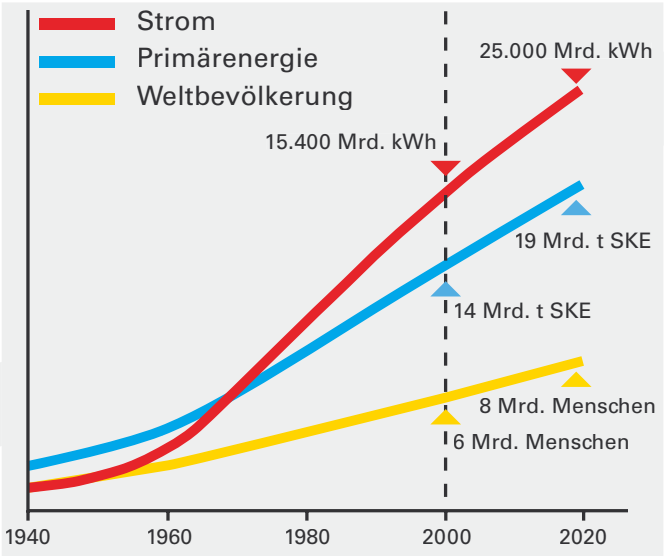


Bild 13: Entwicklung von Weltbevölkerung, Primärenergie- und Stromverbrauch (Quelle: WEC, Siemens PG, Framatome ANP)

Glossar

Aktivität:
Aktivität ist die Zahl der je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallenden Atomkerne. Die Maßeinheit ist das Becquerel (Bq). Ein Bq entspricht dem Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde.

COMECON/RGW:
Abkürzung für Council for Mutual Economic Assistance bzw. Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe. Diese Institution wurde 1949 als Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit der Ostblockländer gegründet, u. a. mit dem Ziel, die angeschlossenen Volkswirtschaften zu entwickeln und damit zu einem beschleunigten Wirtschaftswachstum und höherem Lebensstandard zu kommen.

Dampfblasenkoeffizient:
Die Reaktivität eines Reaktors, ein Maß für das Abweichen der Kettenreaktionsrate vom stabilen Gleichgewichtszustand, ist je nach Anlage von einer Reihe von Betriebsparametern abhängig. Ein negativer Dampfblasenkoeffizient bewirkt, dass bei einem Ansteigen der Kettenreaktionsrate und dem damit verbundenen Temperaturanstieg des Kühlmittels durch den sich vergrößernden Dampfblasenanteil automatisch die Kettenreaktionsrate und damit die Leistung begrenzt wird und wieder zurückgeht. Im deutschen Genehmigungsverfahren muss nachgewiesen werden, dass der Dampfblasenkoeffizient immer negativ ist. Bei russischen RBMK-Reaktoren ist er positiv; eine Leistungs- und Temperatursteigerung bewirkt eine immer schneller zunehmende Kettenreaktionsrate, die weitere Leistungs- und Temperaturerhöhungen zur Folge hat. Dieser Effekt war die physikalische Ursache für den Reaktorunfall in Tschernobyl.

Dekontamination:
Beseitigung oder Verringerung einer radioaktiven Verunreinigung von Arbeitsflächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft usw. mittels chemischer oder physikalischer Verfahren, z. B. durch Abwaschen oder Reinigung mit Chemikalien. Die Dekontamination von Luft und Wasser erfolgt durch Filtern bzw. Verdampfen und Ausfällen.

IAEO (IAEA):
Internationale Atomenergie-Organisation
(International Atomic Energy Agency)

Kritikalität:
Der Zustand eines Kernreaktors, in dem eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abläuft.

Megawatt:
Das Millionenfache der Leistungseinheit Watt (W), Kurzzeichen: MW.
1 MW = 1.000 kW = 1.000.000 W

Millirem:
Frühere Einheit der sog. Äkquivalentdosis, Kurzzeichen: mrem. Mittlerweile abgelöst durch die neue Einheit Sievert (1 Millisievert/mSv = 100 mrem).

Moderator:
Material, mit dem schnelle Neutronen auf niedrige Energien „abgebremst" werden, da bei niedrigen Neutronenenergien die Spaltung im Reaktor mit besserer Ausbeute verläuft. Als Moderatoren werden u. a. leichtes Wasser, schweres Wasser und Graphit verwendet.

Nuklid:
Ein Nuklid ist ein durch eine Protonenzahl, Neutronenzahl und seinem Energiezustand charakterisierte Atomart. Zur Zeit sind über 2.700 verschiedene Nuklide bekannt, die sich auf die 112 derzeit bekannten Elemente verteilen. Davon sind über 2.200 Nuklide radioaktiv.

NUS:
Neue Unabhängige Staaten (Nachfolgestaaten der Sowjetunion ohne baltische Staaten), dazu zählen: Armenien, Aserbaidschan, Georgien, Kasachstan, Kirgisien, Moldawien, Russische Föderation, Tadschikistan, Turkmenistan, Ukraine, Usbekistan und Weißrussland. Diese Ländergruppe ist identisch mit der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS).

Osteuropa:
In diesem Bericht wird Osteuropa als Gesamtbezeichnung für alle mittel- und osteuropäischen Staaten und die europäischen NUS-Länder verwendet. Als Folge des Zusammenbruchs der sozialistischen Staaten Osteuropas und der „Öffnung des Ostens" haben sich auch die entsprechenden Länderblöcke und Länderzuordnungen verändert.

Radioaktivität:
Eigenschaft bestimmter Stoffe, sich ohne äußere Einwirkung umzuwandeln und dabei eine charakteristische Strahlung auszusenden. 1896 von Becquerel am Uran entdeckt. Wenn die Stoffe in der Natur vorkommen, spricht man von natürlicher Radioaktivität; sind sie z. B. ein Produkt von Kernumwandlung in Reaktoren, so spricht man von künstlicher Radioaktivität. Kennzeichnend für jedes Radionuklid ist seine Halbwertszeit; das ist die Zeit, in der sich in einer vorgegebenen Menge die Hälfte der Atomkerne umwandelt.

Radiologie:
Im weiteren Sinne „Medizinische Strahlenkunde" bestehend aus theoretischer Radiologie (Strahlenbiologie, medizinische Strahlenphysik) und klinischer Radiologie. Radiologie im engeren Sinn umfasst die Röntgendiagnostik und Strahlentherapie.

RBMK-1000:
RBMK ist die russische Abkürzung für Hochleistungs-Druckröhren-Reaktor, während „1000" die elektrische Leistung in Megawatt angibt.

Reaktivität:
Maß für das Abweichen eines Reaktors vom kritischen Zustand. Die Reaktivität ist im kritischen Zustand genau 0. Ist sie positiv, steigt die Reaktorleistung an. Bei negativer Reaktivität sinkt der Leistungspegel. Fehlen bei einem raschen Leistungsanstieg ausreichend negative Rückwirkungsmechanismen, kommt es zu einem Anstieg der Kettenreaktion im Millisekundenbereich, der durch aktive Gegenmaßnahmen, wie das Einfahren von Regelstäben, nicht beherrschbar ist.

Regelstäbe:
Eine stab- oder plattenförmige Anordnung zur Regelung der Reaktivitätsschwankungen eines Reaktors. Der Regelstab besteht aus neutronenabsorbierendem Material (Cadmium, Bor usw.).

Strahlenexposition:
Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper. Diese können auf den Gesamtkörper oder auch nur auf Teile des Körpers einwirken, sie können von Strahlenquellen außerhalb oder innerhalb des Körpers verursacht werden.

Strahlenrisiko:
Zur Bemessung und Beurteilung des Strahlenrisikos sind u. a. folgende Maßeinheiten von Bedeutung:

(1) Das Becquerel (Bq) als Maß für die Radioaktivität. Es sagt jedoch nichts über die Dosis aus, die ein Mensch erhält, wenn der radioaktive Stoff und der Expositionsweg nicht bekannt sind.
(2) Die Energiedosis Gray (Gy). Sie ist die Menge an Energie, die in einer Masse, z. B. menschlichem Gewebe, absorbiert wird. Ein Gy entspricht einer Energieaufnahme von einem Joule pro Kilogramm.
(3) Verschiedene Strahlenarten haben bei gleicher Energiedosis unterschiedliche biologische Wirkungen. Unter Strahlenschutzgesichtspunkten ist daher nicht nur die Energiedosis allein relevant, sondern sie wird mit einem sog. Bewertungs- oder Qualitätsfaktor (Q) gewichtet. Der Qualitätsfaktor einer ionisierenden Strahlung berücksichtigt den Einfluss der mikroskopischen Verteilung der absorbierten Energie auf den Schaden. Die Maßeinheit hierfür ist das Sievert (Sv), das die früher gültige Bezeichnung Rem (rem) ersetzt hat.
(4) Der Qualitätsfaktor Q kann für definierte Bedingungen bestimmt werden und ist für verschiedene Strahlungsarten sehr unterschiedlich. Für Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung ist Q=1, für Alpha-Strahlung ist Q=20, für Neutronenstrahlung ist Q sehr von der Neutronenenergie abhängig.

UCTE/CENTREL:
Union pour la Coordination du Transport de l'Electricité (UCTE). Die Union für die Koordinierung des Transports elektrischer Energie (UCTE) regelt die Interessen der Übertragungsnetzbetreiber in 20 europäischen Ländern. Das gemeinsame Ziel ist die Gewährleistung des sicheren und zuverlässigen Betriebs des Verbundnetzes. Die UCTE schafft die erforderlichen technischen und organisatorischen Voraussetzungen zur Erleichterung des Energieaustausches innerhalb des Systems, fördert den Erfahrungsaustausch zwischen ihren Mitgliedern und koordiniert die Beziehungen zu anderen benachbarten großen elektrischen Systemen wie z. B. dem der Nordel/Skandinavien. Über die Netze der UCTE werden 400 Millionen Menschen mit Strom versorgt, der jährliche Stromverbrauch beträgt ca. 2.100 TWh. In der UCTE sind Unternehmen aus folgenden Ländern vertreten: Belgien, Bosnien-Herzegowina, Deutschland, Luxemburg, Spanien, Niederlande, Frankreich, Österreich, Griechenland, Portugal, Italien, Schweiz, Slowenien, Tschechische Republik, Kroatien, Ungarn, Bundesrepublik Jugoslawien, Polen und Mazedonien.

Die CENTREL ist der mitteleuropäische Stromverbund von Polen, Tschechien, Ungarn und der Slowakei. Das Stromnetz von CENTREL wird synchron mit dem westeuropäischen Netz betrieben. Die CENTREL-Länder sind die östlich unmittelbar an das UCTE-Gebiet angrenzenden, ehemaligen sozialistischen Staaten Polen, Ungarn, Tschechische und Slowakische Republik. Die Vereinigung hatte das Gründungsziel, den Anschluss ihrer elektrischen Netze an das westeuropäische Verbundsystem zu erreichen und sie dauerhaft synchron zu betreiben. Dies Ziel wurde am 18. Oktober 1995 erreicht, womit sich die CENTREL-Gruppe von dem Verbundsystem der ehemaligen Ostblockstaaten trennte.

WWER-Reaktoren:
WWER-Reaktoren sind Druckwasserreaktoren (wassermoderiert und wassergekühlt). Es werden drei Baulinien unterschieden: WWER-440/W-230, WWER-440/W-213 und WWER-1000. WWER-Anlagen hat man auch an Standorten außerhalb der Sowjetunion errichtet. Anlagen der Baulinie WWER-440/W-230 wurden in den 1960er Jahren konzipiert und seit Anfang der 1970er Jahre in Betrieb genommen. Der WWER-440/W-213 ist eine Weiterentwicklung der Baulinie WWER-440/W-230. Anlagen der Baulinie WWER-440/W-213 wurden in den 1980er Jahren in Betrieb genommen.
Seit Mitte der 1980er Jahre wurden Anlagen der Baulinie WWER-1000 ans Netz geschaltet. Nach Fertigstellung und Inbetriebnahme der ersten Anlagen wurden die WWER-1000 weitgehend standardisiert. Für den weiteren Ausbau der Kernenergie in Russland und in der Ukraine wird hauptsächlich auf den WWER-1000 und seine Weiterentwicklung gesetzt.

Literatur:

Quellenverzeichnis und Empfehlungen für weiterführende Literatur

Kapitel I:

Bayer, A., Kaul, A., Reiners, Chr. (1986): 10 Jahre nach Tschernobyl – eine Bilanz, Stuttgart

Birkhofer, A. (1996): Kerntechnik und Reaktorsicherheit – 10 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall. In: et 4/96, S. 124 ff.

Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1987): Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (SSK), Band 7, Stuttgart/ New York, S. 11 ff.

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (Hrsg.) (1996): Tschernobyl: 10 Jahre danach – Der Unfall und die Sicherheit der RBMK-Anlagen. Bericht GRS-121, Köln, S. 4 ff.

GRS mbH (Hrsg.) (1986): Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. GRS-S-40, Köln

GRS mbH (Hrsg.) (1996): Tschernobyl – 10 Jahre danach. GRS-121, Köln, S. 71 ff.

Hicken, E. (1995): Der Unfall von Tschernobyl. In: Handbuch der Kernenergie, S. 631 ff.

International Atomic Energy Organisation (IAEO) (Hrsg.) (1986): Summary Report on the Post Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Report by the International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG). Safety Series No. 75 - INSAG - 1, IAEO, Wien

Knuglinger, E., Chakraborty, S. (1998): The Safety of RBMK Nuclear Power Plants. In: atw 2/1998, S. 105 ff.

Kraemer, J. (1996): Tschernobyl heute. In: atw 3/96, S. 171 ff.

Lindner, L. (2000): Tschernobyl heute und im Vergleich zu anderen Katastrophen. In: atw 5/2000, S. 282 ff.

Orth, K., Türp, H. (1996): Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl, Hergang und Ablauf – Ursachen und Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit. In: Kerntechnische Gesellschaft (KTG) (Hrsg.): 10 Jahre nach Tschernobyl, Materialsammlung, Bonn

Pierer von, H. (1991): Kernenergie und die internationale Energiesituation. In: atw 8-9/91, S. 370

Pretzsch, G., Borovoy, A.A. (1995): Radiologische Situation und Zustand des Sarkophags in Tschernobyl. In: GRS (Hrsg.): Reaktorsicherheit in Osteuropa, Vorträge auf dem 18. GRS-Fachgespräch in Garching, S. 143 ff.

Pretzsch, G., Gmal, B. (1997): Der Sarkophag von Tschernobyl 1-4 – Nukleare Sicherheit und radiologische Situation. In: atw 4/1997, S. 250 ff.

Puchner, M. (1998): Tschernobyl – ein Beitrag zu den Ursachen, Auswirkungen und politischen Implikationen der Reaktorexplosion, Hamburg

Reichenbach, D., Kotthoff, K. (1996): Der Tschernobyl-Unfall. In: atw 3/96, S. 151 ff.

Siegel, K. (1995): Graphitmoderierte Leichtwasserreaktoren. In: Michaelis, H., Salander , C. (Hrsg.): Handbuch der Kernenergie – Kompendium der Energiewirtschaft und Energiepolitik, Frankfurt/M., S. 74 ff.

Kapitel II:

Balonov, M., Jacob, P., Likhtarev, I. et al. (1996): Pathways, levels and trends of population exposure after the Chernobyl accident. P. 235-249 In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly et al., eds.) EUR 16544 (1996)

Bayer, A. (1996): Folgen des Tschernobyl-Unfalls für Deutschland. In: atw 3/96, S. 167 ff.

Boice, J.D. Jr., Holm, L.F. (1997): Radiation risk estimates for leukaemia and thyroid cancer among Russian ernergency workers at Chernobyl. Letter of the editor. Radiat. Environ. Biophys. 36: S. 213-214 (1997)

Boice, J.D. Jr., Linet, M. (1994): Chernobyl, childhood cancer and chromosome 21, probably nothing to worry about. Br. Med, J. 309; S. 139 - 140

Botsch, W., Romantschuk, L. D., Beltz, D., Handel, J., Michel, R. (1999): Untersuchungen zur Strahlenexposition der Bevölkerung in hochkontaminierten Gebieten der nördlichen Ukraine. In: atw 11/1999, S. 638 ff.

Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1987): Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (SSK), Band 7, S. 109 ff.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) BMU-2003-615 (2003): Becker, S. I.: Entwicklung der Leukämieraten bei Kindern in den durch Tschernobyl radioaktiv belasteten Gebieten der ehemaligen Sowjetunion

Burkart, W., Grosche, B., Schoetzau, A. (1997): Down syndrome clusters in Germany after the Chernobyl accident. Radiat. Res. 147: S. 321-328 (1997)

Cardis, E., Amoros, E., Kesminiene, A. et al. (1999): Observed and predicted thyroid cancer incidence following the Chernobyl accident – evidence for factors influencing susceptibility to radiation induced thyroid cancer. In: Radiation and thyroid Cancer. Proceedings of an Internal Seminar held in St. John´s College, Cambridge. UK, 20-23 July 1998 (Thomas, G., Karaoglou, A., Williams, F.D., eds.) World Scientific, Singapore, 1999

Demidchik, E.P., Drobyshevskaya, J.M., Cherstvoy, E.D. et al. (1996): Thyroid cancer in children in Belarus. P. 677-682. In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N. et al., eds.) EUR 16544 (1996)

Deville-Cavelin, G., Alexakhin, R.M., Bogdevitch, I.M., Prister, B.S., Biesold, H., Perepelyatnikova, L.V., Sanzharova, N.I., Tarasiuk, S.V. (2001): Countermeasures in Agriculture: Assessment of Efficiency, International Conference „Fifteen years after the Chernobyl Accident – Lessons Learned», Kyiv

Deville-Cavelin, G., Biesold, H., Chabanyuk, V. (2003): The „Radioecology» Project – General Presentation and Main Results (Hrsg.): EUROSAVE 2002, Köln

Deville-Cavelin, G., Biesold, H., Brun-Yaba, Chabanyuk, V. (2002): The Consequences of the Chernobyl Accident – First Results in the Radioecology Projekt of the French-German Initative, ECORAD, Cadarache

Dolk, H.P. de Wals, Gillerot, Y. et al (1990).: The prevalence at birth of Down´s syndrome in 19 regions of Europe 1980 - 1986. p. 3 - 11. In: Key Issues in Mental Retardiation Research. Routledge, London

Fachverband Strahlenschutz (1996): Strahlenschutzpraxis 2, 1996, Heft 1/96: Die Folgen von Tschernobyl: Was wissen wir 10 Jahre danach, S. 3-42

Feldmann, A., Paschke, M. (1995): Die Folgen des Unfalls von Tschernobyl. In: Handbuch der Kernenergie, S. 597 ff.

Grosche, B., Irl, C., Schoetzau, A. et al. (1997): Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident. Radiat. Environ. Biophys. 36: P. 129-136 (1997)

GRS mbH (Hrsg.) (1996): Tschernobyl – 10 Jahre danach, GRS-121, Köln, S. 91 ff.

GRS mbH (Hrsg.) (2000): Tschernobyl – Gesundheitliche Folgen, BMU-Sachstandsbericht Nr.1, GRS-S-47, Köln

Hille, R. (1996): Strahlenexposition der Bevölkerung um Tschernobyl. In: atw 3/96, S. 162 ff.

Ilyin, L.A. (1994): Realities and Mythos of Chernobyl. ALARA Limited, Moscow, 1994

Institut De Protection et de Surete Nucleaire (1996): An assessment of the health consequences of the Chernobyl accident. Cedex, France: IPSN: 1996, Available at http://www.grs.de/cernobyl/gb/ipsn-gb.pdf. Accessed 18 July 2001

International Atomic Energy Organisation (IAEO) (Hrsg.) (1991): Das Internationale Tschernobyl-Projekt – Beurteilung der radiologischen Folgen und Bewertung der Schutzmaßnahmen, Wien

Ivanov, V. (1996): Health status and follow-up of the liquidators in Russia. p. 861-870. In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N. et al., eds.) EUR 16544 (1996)

Ivanov, V.K., Rastopchin, E.M., Gorsky, A.I. et al. (1998): Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors, 1986-1995. Health Phys. 74: 309-315 (1998)

Ivanov, Y.K., Gorski, A.I. et al. (2003): Thyrnoid Canceer incidence among Adulescents and Adults in the Bryansk, Region of Russia Following the Tschernobyl Accident, Health Phys, 84, I, S. 46 - 60

Ivanov, V.K., Tsyb, A.F., Gorsky, A.I. et al. (1997): Thyroid cancer among „liquidators" of the Chernobyl accident. Br. J. Radiol. 70: 937-941 (1997)

Izrael, Yu. A., De Cort, M., Jones A.R. et al. (1996): The atlas of caesium-137 contamination of Europe after the Chernobyl accident. P. 1-10. In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996 (Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N. et al., eds.) EUR 16544 (1996)

Kellerer, A.M. (1991): Zur Situation der vom Reaktorunfall betroffenen Gebiete der Sowjetunion. In: atw 3/91, S. 118 ff.

Kinzelmann, T. (1996): Untersuchung von Kindern und Jugendlichen aus Weißrussland, FS 28. Jahrestagung, Hannover 1996, Tagungsband S. 327 - 332

Kofler, A., Abelin, T.H., Prudyves, I. et al. (1998): Factors related to latency period in post Chernobyl carcinogenesis. In: Radiation and Thyroid Cancer, Proceedings of an Internal Seminar held in St. John´s College, Cambridge, UK 20 - 23 Juli 1998 (Thomas, G., Karaoglou, A., Williams, F.D., eds.). World Scientific, Singapore, (1990)

Kolominsky, Y., Igumonov, S., Drozdovitch, V. (1990): The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period of radiation from the Chernobyl atomic power plant. J. Child Psychol. Psychiat. 40 (2): 299 - 305

Lazjuk, G.I., Nikolaev, D.L. et al. (1997): Changes in registered congenital anomalies in the republic of belarus after the Chernobyl accident. Stem Cells 15 (Suppl. 2), S. 255 - 260

Little, J. (1993): The Chernobyl accident congenital anomalies and other reproductive outcomes. Paediatr. Perinat. Epidemiol. 7, S. 121 - 151

Michaelis, J., Kaletsch, U., Burkart, W. et al. (1997): Infant leukaemia after the Chernobyl accident. Nature 387: S. 246 (1997)

Mück, K. (1993): Die Abnahme der Strahlenexposition nach Tschernobyl. In: atw 2/93, S. 188 ff.

Nuclear Energy Agency (1995): Chernobyl ten years on – Radiological and health impact Issy-les-Montineaux, France NEA, Available at: http://nea.fr/rp/cernobyl/ede.html. Accessed 22 November 2002

Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD (Hrsg.) (1995): Chernobyl – Ten Years on – Radiological and Health Impact, Paris

OECD Nuclear Energy Agency (2002): Chernobyl: Assesment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On, ISBN 92-64-18487-2

Petridou, E., Trichopoulos, D., Dessypris, N. et al. (1996): Infant leukemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl. Nature 382, S. 352 - 353

Prêtre, S. (2002): In Wkg. ionisierender Strahlung SVA, 5./6.12.02, CH-Winterthur, Kap. 5.3

Prisyazhiuk, A., Fedorenko, Z. et al. (1996): Epidemiology of cancer in populations living in contaminated territiries of Ukraine, Belarus, Russia after the Chernobyl accident. p. 909 - 921. In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident: Proceedings of the First International Conf., Minsk, Belarus. March (Karaoglou, A. et al., eds.) EUR 16544

Radiation and Thyroid Cancer (1999): Proceeding of an International Seminar on Radiation and Thyroid Cancer (Thomas, G., Karaoglou, A. ,Williams, F.D. eds.) Brussels-Luxembourg, World Scientific Publishing

Reiners, C., Biko, J., Demidchik, E. (1999): Results on radioiodine treatment in 145 children from Belarus with thyroid Cancer after the Chernobyl accident. In: Radiation and thyroid Cancer. Proceedings of an Internal Seminar held in St. John´s College, Cambridge. UK, 20-23 July 1998 (Thomas, G., Karaoglou, A., Williams, F.D. eds.) World Scientific, Singapore, 1999

Ron, E., Lubin, J.Y, Shore, R.E., Mabuchi, K., Modan, B., Pottern, L.M., Shneider, A., Tucker, M., Boice, J.D. (1995): Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. Radiat Res. 141, S. 259 - 277:

Schuh, H. (1996): Leben in der Strahlenwüste. In: Die Zeit vom 08.03.96, S. 33 ff.

Shore, R.E. (1992): Issues and epidemiological evidence regarding radiation-induced thyroid cancer. Radiat Res. 131, S. 98 - 117;

Sperling, K.S., Petz, J., Wegner, R.D. et al. (1994): Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: temporal correlation or causal relation? Br. Med. J. 309: S. 157-161 (1994)

SSK, Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 4 (1996): 10 Jahre nach Tschernobyl, ISBN 3-437-11730-0

Tronko, M., Bogdaneva, T., Komissarenko, I. et al. (1999): Thyroid carcinoma in children ans adolescents in Ukraine after the Chernobyl nuclesr accident: Statistical data and clinicomorphologie characteristics. Cancer 86 (1): S. 149-156 (1999)

UNSCEAR (1988): Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York

UNSCEAR Report 2000 (2000): Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Committee on Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly; Volume II, Annex J.: Exposures and effects of the Chernobyl accident. United Nation publication, ISBN 92-1-142239-6

Verger, P. (1997): Down´s syndrome and ionising radiation. Health Phys. 73 (6), S. 882 - 893

Winkelmann, R.A., Dora, C. (1999): WHO summary of studies of the Chernobyl accident Part I: Registry information sources for research on health effects of the Chernobyl accident. WHO European Centre of Environment and Health, Rome (1999)

Winkelmann, R.A., Dora C. (1999): WHO summary of studies of the Chernobyl accident Part II: State of the Chernobyl cancer research in exposed population groups of Belarus, Russian Federation and Ukraine. WHO European Centre of Environment and Health, Rome (1999)

Kapitel III:

Bauer, H. Kraemer, J. (1996): Die kerntechnische Zusammenarbeit der Staaten Osteuropas. In: atw 11/1996, S. 707 ff.

Becker, K. (1997): Strahlenkrank wurden nur wenige. In: Die Presse vom 23.05.1997, Zugang über: http://www.diepresse.at

Czakainski, M. (1995): Kernenergie in Deutschland. In: Handbuch der Kernenergie 1995, S. 368 ff.

Czakainski, M. (1995): Kernenergie in Japan, den USA sowie den Schwellen- und Entwicklungsländern. In: Handbuch der Kernenergie 1995, S. 385 ff.

Deutsches Atomforum e. V. (Hrsg.) (2001): Kernenergie in Deutschland 2000, Jahresbericht, Bonn 2001, S. 6 ff.

Fischer, W. (1992): Die Elektrizitätswirtschaft in Gesellschaft und Politik. In: Die Geschichte der Stromversorgung, Frankfurt/Main, S. 32 ff.

Fischer, W., Häckel, E. (1978): Internationale Energieversorgung und politische Zukunftssicherung, München, S. 25 ff.

Gelfort, E. et al. (1996): BMU-Programm für Mittel- und Osteuropa. In: atw 11/1996, S. 713 ff.

Graichen, P. (2003): Kommunale Energiepolitik und die Umweltbewegung, Frankfurt/Main, S. 86 ff.

GRS mbH (Hrsg.): Häufig gestellte Fragen zum Kernkraftwerk Tschernobyl, Abrufbar unter: URL http://www.grs.de

GRS mbH (Hrsg.) (1999): Reaktorsicherheit in Osteuropa – Eine Zwischenbilanz der Förderung durch die Bundesrepublik Deutschland (GRS-S-44), Köln

GRS mbH (Hrsg.) (1996): Tschernobyl: 10 Jahre danach. GRS-121, Köln, S. 145 ff.

Hennen, L., Peters, H.-P. (1990): „Tschernobyl" in der öffentlichen Meinung der Bundesrepublik Deutschland – Risikowahrnehmung, politische Einstellungen und Informationsbewertung, Studie des Forschungszentrums Jülich (KFA) ,S. 1 ff.

Hennenhöfer, G. (1995): Die Sicherheit osteuropäischer Kernkraftwerke – Eine Zwischenbilanz. Vortrag auf der Expertentagung, Tutzing, Manuskript

Höhn J., Niehaus, F. (1997): Die Sicherheit von Kernkraftwerken in Osteuropa. In atw 5/1997, S. 307 ff.

Informationskreis Kernenergie (Hrsg.) (1995): 40 Jahre Kernenergie in Deutschland. In: EnergieTrends Dez. 1995

Kepplinger, H.M. (1988): Die Kernenergie in den Massenmedien oder Die Rhetorik der Angst. In: Deutsches Atomforum e. V. (Hrsg.): Kernenergie heute, Tagungsband der Wintertagung 1988, S. 71 ff.

Krug, H.-H. (1998): Siemens und Kernenergie, Erlangen, S. 210 ff.

Merkel, A. (1996): Tschernobyl und seine Folgen – 10 Jahre danach, Vortrag auf BMU-Fachseminar am 27.02.96 in Bonn, S. 4 ff.

Mohrbach, L. et al. (1999): Sicherheitspartnerschaften zwischen Ost und West. In: atw 6/1999, S.384 f.

Müller, W.D. (1995): Die Kernenergiekontroverse in Deutschland. In: Handbuch der Kernenergie 1995, S. 777 ff.

Rauhut, D. (1999): Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland. Diplomarbeit an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln, Köln, S. 9 ff.

Sauzay, B. (2000): Vernunft oder Gefühl: Die Wahrnehmung der Kernenergie in Deutschland. In: Grawe, J., Picaper, J.-P.: Streit ums Atom, München 2000, S. 187 ff.

Umbach, F. (2003): Globale Energiesicherheit, München, S. 17 ff.

VGB PowerTech e. V. (Hrsg.) (2002): VGB-Tätigkeitsberichte 2001/2002, S. 29

Vogl, J. (1995): Lehren aus dem Tschernobyl-Reaktorunfall für Deutschland, Manuskript, Vortrag auf der Expertentagung „Reaktorsicherheit und Energiepolitik in Osteuropa" am 01.07.1995 in der Akademie für Politische Bildung, Tutzing

Kapitel IV:

Berthold, A., Janowski, F. (1996): Länderbericht Kernenergie Ukraine, GRS-Bericht 2.2.4/UKR, Köln

Besters-Dilger, J. (Hrsg.) (2003): Die Ukraine in Europa – Aktuelle Lage, Hintergründe und Perspektiven, Wien, S. 121 ff.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR (Hrsg.) (2003): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeiten von Energierohstoffen 2002, Hannover

Czakainski, M. (1986): Kernkraftwirtschaft im COMECON. In: Michaelis, H.: Handbuch der Kernenergie, Kompendium der Energiewirtschaft und -politik, Düsseldorf/Wien 1986, S. 469 ff.

Deutsche Bank (Hrsg.) (1990): Die Sowjetunion im Umbruch, Frankfurt/Main, S. 9 ff.

Deutsches Nationales Komitee des Weltenergierates DNK (Hrsg.) (2003): Energie für Deutschland – Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext, Essen, S. 10 ff.

EU-Kommission (Hrsg.) (2001): Grünbuch – Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit, Brüssel/Luxemburg

EU-Kommission (Hrsg.) (2003): Nukleare Sicherheit – Ein Gemeinschaftsansatz, Brüssel/Luxemburg

Gerwin, R. (Hrsg.) (1993): Energieversorgung nach der Planwirtschaft, Stuttgart, S. 9 ff.

Hoffmann, C.H. (1995): Der Ukraine steht noch manch dunkler Winter bevor. In: FAZ vom 22.05.95
Institut der Deutschen Wirtschaft (Hrsg.) (2000): Mittel- und Osteuropa: Wirtschaftslage nach zehn Jahren Transformation. In: iw-trends 4/2000, S. 55 ff.

Kraemer, J. (1996): Die Kernenergie in der Ukraine. In: atw 3/96, S. 174 ff.

Riesner, W. (1996): Zur ökonomischen Effizienz der energetischen Rationalisierung in Osteuropa. In: et 1-2/96, S. 74 ff.

Riesner, W. (2002): Kernenergie und die Osterweiterung der EU. In: atw 2/2002, S. 76 ff.

Riesner, W. (2001): Transformation der Stromwirtschaften in Mittel und Osteuropa. In: et 7/2001, S. 418 ff.

TETRA Energie Technology Transfer GmbH (Hrsg.) (2003): Kernenergie in der GUS, Nr. 10/2003, S. 4 ff.

TETRA (Hrsg.): TETRA-Datenbanken zu den Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl und der aktuellen Situation der Ukraine, Zugang über: info@tetraenergie.de

Westphal, K. (2000): Russische Energiepolitik, Baden-Baden 2000, S. 307 ff.

Informationskreis
KernEnergie

www.kernenergie.de

ISBN: 3-926956-48-8