

# Der Reaktorunfall in Tschernobyl

Kurzfassung



Informationskreis  
KernEnergie

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: T. Espey Satz-Layout-Grafik-Beratung, Bonn

April 2006

Eine Langfassung dieser Broschüre  
kann bestellt werden unter: [info@kernenergie.de](mailto:info@kernenergie.de).

## **Inhaltsverzeichnis**

Der Reaktorunfall in Tschernobyl	3
Der Tschernobyl-Reaktor	3
Unfallablauf, Ursachen und Hintergründe	3
Zustand des Sarkophags und die Situation vor Ort	4
Aktivitätsfreisetzung und weiträumige Kontamination	5
Strahlenrisiko und Strahlenbelastung einzelner Gruppen	6
Gesundheitliche Folgen	6
Strahlenbiologische Auswirkungen auf Deutschland	9
Auswirkungen des Reaktorunfalls auf die öffentliche Meinung und die Energiepolitik	10
Erkenntnisse und Lehren aus dem Unfall	10
Kernenergie im Energiemix einer sich wandelnden Welt	12
Glossar	14



## Der Reaktorunfall in Tschernobyl

Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl, das rund 100 km nördlich von Kiew (Ukraine) liegt, ist der folgenreichste Vorfall in der über 50-jährigen Geschichte der globalen friedlichen Nutzung der Kernenergie. Die beträchtliche Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten führte zu einer starken Belastung der Rettungsmannschaften und der Bevölkerung in der Nähe des Standortes. In vielen Ländern der Welt waren die Menschen in den Tagen nach dem Unfall besorgt über die ungewissen Folgen dieses Ereignisses. Dies wurde durch die zögerliche Informationspolitik der sowjetischen Behörden noch verstärkt. Ursachen, Hintergründe und Folgen des Unfalls sind in den vergangenen 20 Jahren von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen intensiv untersucht und bewertet worden. Mittlerweile ergibt sich ein weitgehend geschlossenes Bild über den Unfall.

## Der Tschernobyl-Reaktor

Bei den RBMK-Reaktoren handelt es sich um eine sowjetische Reaktorlinie. 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 druckfeste und gasdichte Hülle (Containment), die das Reaktorgebäude umschließt und weisen erhebliche Defizite bei den Sicherheits-einrichtungen und Notkühlsystemen auf. Und aufgrund der reaktorphysikalischen Auslegung nimmt bei Leistungs- und Temperatursteigerung, beispielsweise durch Kühlmittelverlust, die Kettenreaktionsrate immer schneller zu („positiver Dampfblasenkoeffizient“). Ein RBMK-Reaktortyp wäre weder in Deutschland noch in anderen westlichen Ländern genehmigt worden. 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.



## Unfallablauf, Ursachen und Hintergründe

Der Unfall in Tschernobyl ereignete sich während eines Tests, bei dem geprüft werden sollte, ob bei einem Stromausfall die Rotationsenergie der Turbine noch übergangsweise zur Stromerzeugung ge-

nutzt 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 Fehlhandlung in Verbindung mit Systemschwächen der RBMK-Reaktorlinie den Unfall verursachten. Mittlerweile sieht man in den Systemschwächen die wesentlichen Ursachen.

## **Zustand des Sarkophags und die Situation vor Ort**

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. Am Standort des Kernkraftwerks sind komplexe Entsorgungsfragen zu lösen. Nach dem Unfall wurde radioaktives Material in zahlreichen provisorischen Zwischenlagern

auf dem Kraftwerksgelände und in größeren Entfernungen im Umland deponiert. Von dem engeren Gebiet um den havarierten Reaktor herum werden noch für lange Zeit 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 mit seinen vier 1.000 MW-Blöcken endgültig stillgelegt.

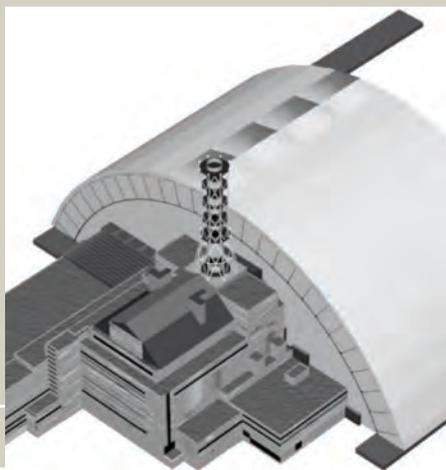
Der Unfall in Tschernobyl führte – anfangs aus der Not heraus und unterstützt durch die Öffnung des Ostens – zu einer verstärkten Kooperation zwischen West und Ost bei der Reaktorsicherheit. Schon Anfang der 1990er Jahre waren die wesentlichen Sicherheitsdefizite der Reaktoren sowjetischer Bauart bekannt, wobei die Kenntnisse der ostdeutschen Kernenergiefachleute eine große Rolle spielten. Der Weg zur Beschlussfassung über westliche Hilfsmaßnahmen war kurz. Ihre Umsetzung brauchte u. a. aufgrund der vielfältigen politischen Interessen der beteiligten Länder und der chronischen Engpässe in der Stromversorgung vieler mittel- und osteuropäischer Länder weit mehr Zeit als erhofft.

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 und der Shelter Implementation Plan (SIP), um den jetzigen Sarkophag in ein „ökologisch sicheres System“ umzuwandeln. Derzeit werden umfangreiche Arbeiten zur Stabilisierung des Sarkophags und zur Errichtung eines zweiten Sarkophags im Rahmen des Shelter Implementation Plan (SIP) durchgeführt.

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. Der Ausfall des Kernkraftwerks Tschernobyl mit knapp 10% des gesamten Kraftwerksparks machte sich in der Ukraine deutlich bemerkbar. Der intensive Einsatz von Arbeitskräften und der hohe Aufwand an Material zur Beseitigung der direkten und indirekten Unfallfolgen belastete das sowjetische Wirtschaftssystem und nach 1989 die Ukraine erheblich. Für die Beschäftigten am Standort Tschernobyl müssen neue Arbeitsplätze geschaffen werden.



## Aktivitätsfreisetzung und weiträumige Kontamination

In den ersten zehn Tagen nach dem Unfall wurden große Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt. Gasförmige und eher leichtflüchtige Stoffe wie Jod und Cäsium gelangten durch die Hitze des bauartbedingten Graphitbrandes in Höhen bis 1.500 Meter. Entsprechend der Windrichtung wurden sie zunächst über Weißrussland und Polen in Richtung Schweden und Finnland transportiert. Sofern Regen mit der Ankunft der Luft zusammenfiel, kam es zur Ablagerung von radioaktivem Jod und Cäsium. Andere Nuklide sind nur in der 30 km-Zone um den Reaktor und in sehr hoch belasteten Regionen der ehemaligen Sowjetunion von radioökologischer Bedeutung.

Gebiete mit Cäsium-137-Ablagerungen über 555 kBq/m<sup>2</sup>, die insgesamt eine Fläche von 10.000 km<sup>2</sup> mit 800 Siedlungen und etwa 270.000 Einwohnern umfassten, wurden zu „Zonen strikter Kontrolle“ erklärt und teilweise evakuiert. Neben den Evakuierungen, die wohl nur in der 30 km-Zone um den zerstörten Reaktor zwangsweise erfolgten, wurden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenbelastung durchgeführt. Am wirksamsten waren Aufenthaltsempfehlungen (in geschlossenen Räumen, in der Ukraine z.B. durch Verlängerung des Schulunterrichts), lokale Anbauverbote und Empfehlungen zur Verbrauchseinschränkung lokal erzeugter Nahrungsmittel. Hunderte von Brunnen wurden neu gebohrt. In einigen Dörfern wurde die obere Erdschicht abgetragen, Plätze und Straßen asphaltiert oder mit Kunststoff beschichtet. Ziel der Maßnahmen war es, die individuelle unfallbedingte Lebensexposition auf 350 mSv

zu begrenzen. Durchschnittlich ist in allen betroffenen Gebieten (mit zunächst über 37 kBq/m<sup>2</sup> Cäsium-137) mit etwa 10 mSv zu rechnen. Auch in den stark kontaminierten Regionen werden im Mittel Werte unter 100 mSv erreicht. Zum Vergleich: Die durchschnittliche natürliche Strahlenbelastung in Deutschland liegt bei jährlich 2,1 mSv, eine Computertomographie des Oberkörpers bedingt etwa 10 mSv.

## **Strahlenrisiko und Strahlenbelastung einzelner Gruppen**

Bezüglich der Strahlenexposition und der daraus resultierenden Gefährdung wird zwischen Helfern am Unfallort und der Allgemeinbevölkerung unterschieden.

Knapp 500 Mitglieder von Betriebspersonal und Feuerwehren, die in den ersten Tagen direkt in der Nähe des offenen Reaktors gearbeitet haben, erhielten hohe, teilweise tödliche Strahlendosen. Nach russischen Angaben wurden 237 Personen wegen des Verdachts auf eine akute Strahlenerkrankung (ARS) behandelt. Bei 134 Personen bestätigte sich die Diagnose, 28 Patienten verstarben daran. Drei weitere frühe Todesfälle sind Verbrennungen und Herzversagen zuzuschreiben. Bis 2004 sind weitere 19 der 134 Patienten verstorben. In einem Teil der Fälle ist dabei ein Zusammenhang mit der unfallbedingten Strahlenexposition offensichtlich.

Die bei Aufräumarbeiten eingesetzten 600.000 Personen, die so genannten „Liquidatoren“, waren vor allem in den beiden ersten Jahren (200.000 Personen) zum Teil erheblich strahlenexponiert. Abhängig von der Höhe der Exposition

ist mit einem Anstieg von Leukämie- und Krebserkrankungen bei dieser Personengruppe zu rechnen. Für Leukämien ist dies bereits nachgewiesen. Die gesundheitliche Überwachung gestaltet sich schwierig, da diese Menschen inzwischen wieder in ihre Heimatländer (Ukraine, Russland, Weißrussland und baltische Staaten) zurückgekehrt oder auch nach Aserbaidschan, Armenien und Israel emigriert sind. Zwischenzeitlich bemühten sich neben nationalen Gesundheitseinrichtungen auch mehrere supranationale Projekte um die Beobachtung des Gesundheitszustandes der Liquidatoren. Für eine endgültige Aussage zu diskutierten Häufungen und möglichen Ursachen von Erkrankungen sind sehr langfristige Untersuchungen erforderlich. Hierbei sind u. a. Alter, soziale Faktoren, Ernährung und Genussmittelkonsum zu berücksichtigen.

## **Gesundheitliche Folgen**

Im April 1995 veröffentlichte der ukrainische Gesundheitsminister Serdjuk eine Statistik, nach der seit dem Unfall 6.000 Liquidatoren an den Strahlenfolgen verstorben wären. Eine Überprüfung dieser Abschätzung, die in den westlichen Medien ein erhebliches Echo fand, war schwierig. Damals waren weder die Gesamtzahl der Liquidatoren in der Ukraine noch deren Altersverteilung bekannt. Ob die angegebene Zahl über der zu erwartenden Sterberate lag, ist daher ungewiss. Die in den Medien 1995/96 immer wieder genannte Zahl von 7.000 Todesfällen unter allen Liquidatoren entspricht in etwa deren natürlicher Sterblichkeit. Nimmt man zum Vergleich deutsche Statistiken, 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.

Bei der Bevölkerung war die Strahlenexposition weder in der 30 km-Zone noch in den stark belasteten Gebieten hoch genug, um akute strahlenbedingte Erkrankungen auszulösen. In den ersten Wochen kam es durch Einatmung radioaktiven Jods und durch den Genuss jodbelasteter Lebensmittel zu einer teilweise hohen Strahlenbelastung der Schilddrüse. Dies gilt insbesondere für hunderttausende Kinder in den vom radioaktiven Niederschlag betroffenen Teilen Weißrusslands, der nördlichen Ukraine und des westlichen Anteils der russischen Föderation. Sinnvolle Schutzmaßnahmen wie das Verkaufsverbot kontaminierter Milch und die Schilddrüsenblockade mit stabilem Jod wurden häufig zu spät oder überhaupt nicht durchgeführt.

Für die langfristige Strahlenbelastung hat das am Boden abgelagerte radioaktive Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren eine größere Bedeutung. Die

Kontamination der Böden mit Cäsium-137 führt zu einer langsam rückläufigen äußeren Bestrahlung und indirekt durch den Verzehr cäsiumhaltiger Nahrungsmittel zu einer inneren Strahlenexposition.

Seit dem Unfall immer wieder verbreitete Meldungen, die auf eine generelle Zunahme von Leukämien und Krebserkrankungen bei der allgemeinen Bevölkerung hinweisen, sind mit Ausnahme der Schilddrüsenkrebserkrankungen spekulativ. In Anbetracht der für alle betroffenen Gebiete (mit über 37 Bq/m<sup>2</sup> Cäsium-137) berechenbaren mittleren Dosis von 10 mSv ist ein nachweisbarer Anstieg anderer strahlenbedingter Erkrankungen eher unwahrscheinlich. Für die hoch belasteten Liquidatoren (200.000), für die Bewohner der hoch belasteten Gebiete (270.000) und die Evakuierten aus der Nahumgebung des Reaktors (135.000) liegt die wissenschaftlich akzeptierte Abschätzung aller zu erwartenden strahlenbedingten Krebstodesfälle bei etwa 4.000. Eine Risikoabschätzung für die Bevölkerung anderer kontaminierter Gebiete ist aufgrund der relativ geringen Dosis wissenschaftlich umstritten.

Personengruppe	Anzahl und mittlere Dosis	Art des Tumors	Zeitraum	erwartete „natürliche Krebs- und Leukämietodesfälle“	abgeschätzte zusätzliche „Strahlenkrebstodesfälle“	
					Anzahl	Anteil*
Liquidatoren 1986 - 1987	200.000/ 100 mSv	Krebs	Lebenszeit	41.500	2.000	5 %
			ersten 10 Jahre	40	150	79 %
Aus der 30 km-Zone Evakuierte	135.000/ 10 mSv	Krebs	Lebenszeit	21.500	150	0,1 %
			ersten 10 Jahre	65	5	7 %
Bevölkerung in Gebieten mit über 555 kBq/m <sup>2</sup> Cs-137	270.000/ 50 mSv	Krebs	Lebenszeit	43.500	1.500	3 %
			ersten 10 Jahre	130	60	32 %
Bevölkerung anderer kontaminierter Gebiete mit über 37 kBq/m <sup>2</sup> Cs-137)	6.800.000/ 7 mSv	Krebs	Lebenszeit	800.000	4.600	0,6 %
			ersten 10 Jahre	3.300	190	5,5 %

\*AF: attributable fraction = abgeschätzte zusätzliche durch die Strahlung verursachte Todesfälle in Prozent

Auch erste Berichte über die Zunahme der Schilddrüsenkreberkrankungen bei Kindern wurden in der westlichen Welt mit Skepsis betrachtet. Die Häufigkeit dieser bei Kindern ansonsten nur sehr selten vorkommenden Kreberkrankung hat deutlich zugenommen. Bis 2002 sind in Weißrussland 8 von insgesamt 1.152 betroffenen Kindern an ihrer Erkrankung verstorben (laut Mitteilung der IAE0 insgesamt 9 bis 2005). Weitere sechs Kinder verstarben aus anderen Ursachen. In der Ukraine wurden von 1986 bis zum Jahr 2000 bei Kindern und Jugendlichen (14.-18. Lebensjahr) insgesamt 1.876 Schilddrüsenkreberkrankungen diagnostiziert. Über 70 Prozent der ukrainischen Patienten sind Kinder. Die größte Häufung findet sich wie in Weißrussland bei den zum Unfallzeitpunkt 0-4-Jährigen.

Eine starke Zunahme der Sterblichkeit ist bei rechtzeitiger Diagnosestellung nicht zu erwarten. Auch im Spätstadium sind weit über zwei Drittel der Schilddrüsenkreberkrankungen heilbar. Die Überlebensrate der erkrankten weißrussischen Kinder wurde aktuell mit 98,8% angegeben. Seit der Bestätigung des Krankheitsanstiegs bemühen sich neben den betroffenen Staaten internationale Projekte um die Diagnostik und Behandlung von Schilddrüsenenerkrankungen. So wurden z. B. über 100 Kinder, die eine besonders schwere, damals dort nicht ausreichend behandelbare Schilddrüsenkreberkrankung hatten, in Deutschland nachbehandelt.

Bezüglich anderer Kreberkrankungen und Leukämien liegen bisher keine Befunde vor, die eindeutig auf einen durch die Strahlung verursachten Anstieg von Erkrankungen bei der allgemeinen Bevölkerung hinweisen.

Nahezu unumstritten ist die ausgebliebene Zunahme kindlicher Leukämieerkrankungen. Dies wurde auch in einer vom deutschen Umweltministerium geförderten Arbeit auf der Basis des in Weißrussland sehr vollständigen Datenmaterials (1.550 Fälle) bestätigt. Das Risiko, bis zum 15. Lebensjahr an einer Leukämie zu erkranken, lag sogar geringfügig unterhalb des in Deutschland beobachteten Wertes. Dies schließt, so die Autoren, einzelne zusätzliche Fälle nicht aus, bestätigt aber das geringe Risiko: „Ängste, die in Bezug auf die Strahlung durch den Unfall entstanden und aus verschiedenen Interessen verstärkt wurden, können relativiert werden“.

Völlig unabhängig von Cäsiumablagerungen, Nahrungsmittelkontamination und Strahlenexposition wurde aus betroffenen und nicht betroffenen Gebieten über einen Anstieg unterschiedlicher Allgemeinerkrankungen und über ein Absinken der Lebenserwartung bei Männern berichtet. Ursächlich sind neben sekundären Folgen des Unfalls vor allem die wirtschaftlichen Auswirkungen des Zerfalls der Sowjetunion. Aus medizinischer Sicht müssen eine oft nicht ausreichende Lebensmittelversorgung und die Auswirkung von psychischem und sozialem Stress berücksichtigt werden. Fehlende Informationen und das Gefühl, im Stich gelassen zu werden, verbunden mit zahlreichen Einschränkungen im täglichen Leben sind Auslöser von Krankheiten. Auch in den am stärksten betroffenen Gebieten dauerte es zwei Jahre, bis man die Informationssperre gegenüber der Bevölkerung aufhob. Die Freigabe der Informationen war überfällig und notwendig, geschah aber so spät, dass sie das Klima des Misstrauens nicht beseitigen konnte. Die verständliche Verwirrung und Verunsicherung

cherung durch das erzeugte Informationschaos wird mit als schlimmste Auswirkung des Unfalls betrachtet.

Die psychosozialen Aspekte sind auch bei Diskussionen um Einflüsse auf den Schwangerschaftsausgang, also auf die Neugeborenensterblichkeit, Fehlgeburten und die Missbildungshäufigkeit zu betrachten. Ein negativer Einfluss ist durch Strahlung prinzipiell möglich, bei der durch den Unfall gegebenen Exposition jedoch nur bei wenigen, hoch belasteten Schwangeren anzunehmen. Viele der oft emotional geführten Diskussionen beruhen auf Einzelbeobachtungen ohne klaren Bezug zur Strahlenexposition. Indirekte Wirkungen des Unfalls, der entstandenen Befürchtungen und der gesellschaftlichen Veränderungen werden am Rückgang der Geburtenrate deutlich. Ferner war eine Zunahme von Schwangerschaftsabbrüchen auch (trotz dort fehlender relevanter Exposition) in westeuropäischen Ländern zu beobachten.

## Strahlenbiologische Auswirkungen auf Deutschland

Ein kleiner Teil der radioaktiven Emissionen erreichte auch Deutschland. Sofern es wie in Bayern regnete, kam es verstärkt zur Ablagerung von radioaktivem Jod und Cäsium mit Maximalwerten südlich der Donau bis etwa 100 kBq/m<sup>2</sup> Cäsium-137.

Nördlich der Donau waren selten Werte über 4 kBq/m<sup>2</sup> Cäsium-137 und 20 kBq/m<sup>2</sup> Jod-131 messbar.

Für die über Jahre aufaddierte Gesamtdosis eines Bundesbürgers ergibt sich mit 0,7 mSv ein Mittelwert weit unterhalb der jährlichen natürlichen Strahlenexposition, die durchschnittlich bei 2,1 mSv liegt. In Anbetracht der strahlenbiologischen Kenntnisse war und ist eine auffällige Häufung von Missbildungen oder Krebserkrankungen in Deutschland nicht zu erwarten.

Unter Annahme der Gültigkeit einer linearen Beziehung zwischen Strahlung und Krebsrisiko kann für eine Exposition von 1 mSv ein zusätzliches Sterblichkeitsrisiko von 0,005 % abgeschätzt werden. Da diese Abschätzung weit unterhalb der Schwankungsbreite der erfassten Krebssterblichkeit liegt – das Krebssterblichkeitsrisiko wurde in der Bundesrepublik von 1970 bis 1991 mit 20,5 +/- 0,2 % und in Schleswig-Holstein mit 19,8 +/- 0,9 % berechnet – ist ein hypothetisch denkbarer so schwacher Effekt weder nachzuweisen noch sicher auszuschließen.

Unabhängig von diesen prinzipiellen Überlegungen waren in Westeuropa und besonders in Deutschland neben berechtigten Sorgen und sinnvollen Vorsorgemaßnahmen auch Panikreaktionen offensichtlich. Ursächlich hierfür waren bestehende Ängste, einzelne auf Effekthascherei aus-

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

gelegte Medienberichte, die politische Praxis der unterschiedlichen Grenzwertfestlegungen und weltanschauliche Befürchtungen. Unverändert werden daher immer wieder Einzelbeobachtungen im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen diskutiert. Besondere Aufmerksamkeit erregten 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 handle sich um Strahlenfolgen, kaum gestützt werden. Aus den gemessenen Werten folgt z. B. für Berlin eine Schilddrüsens dosis von unter 1 mSv. Die Exposition der Eierstöcke, die für die Trisomie bedeutend sein könnte, liegt deutlich niedriger und ist geringer als die Strahlenexposition, die durch die natürliche Strahlung dort jede Stunde auftritt.

### **Auswirkungen des Reaktorunfalls auf die öffentliche Meinung und die Energiepolitik**

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 Entwick-

lungsländer hatte der Unfall keinen wesentlichen Einfluss. Die Vorteile der Kernenergie – Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit sowie eine umwelt- und klimaschonende Stromerzeugung – führten in den 1990er Jahren zu ihrer Neubewertung und weckten in vielen Ländern neues Interesse an ihr.

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 damals erheblich erschwert. Über die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen hinaus kam es in diesem Umfeld teilweise zu stark überzogenen Reaktionen, wie beispielsweise der überflüssigen Entsorgung der so genannten „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 den gesellschaftlichen Gruppen scheiterten. Im Juni 2000 wurde nach langwierigen Verhandlungen zwischen der Bundesregierung und den Betreiberunternehmen ein Kompromiss über den befristeten Weiterbetrieb der bestehenden deutschen Kernkraftwerke geschlossen.

### **Erkenntnisse und Lehren aus dem Unfall**

Zu den wohl wichtigsten Erkenntnissen aus dem Unfall in Tschernobyl zählt die Tatsache, dass die Ursachen dieses Unfalls nicht auf deutsche Verhältnisse übertragbar sind und

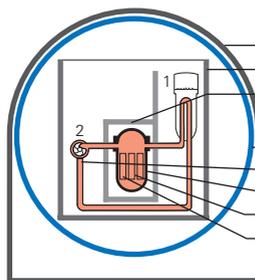
ein solcher Unfall bei den in Deutschland eingesetzten Reaktoren nicht passieren kann. Die Technik und die Sicherheitsstandards deutscher Reaktoren sowie die Qualität der Betriebsmannschaften sind von Grund auf verschieden und besser. Zudem wird eine ständige und unabhängige behördliche Überwachung und Kontrolle durchgeführt, die in der damaligen UdSSR fehlte. Die Betreiber der Kernkraftwerke stehen in einem regelmäßigen Austausch mit den Aufsichtsbehörden und investieren kontinuierlich in den Erhalt und die Verbesserung der Sicherheit ihrer Anlagen. Bei den deutschen Kernkraftwerken umschließt eine druckfeste und gasdichte Hülle den Reaktorbehälter, wichtige automatische Sicherheitssysteme sind mehrfach (redundant), unabhängig und räumlich getrennt vorhanden und als Moderator dient Wasser, das im Unterschied zum Graphit, der beim RBMK-Reaktor als Moderator zum Einsatz kommt, nicht brennbar ist. Vor allem aber ist der Dampfblasenkoeffizient aufgrund des völlig anderen Reaktor-konzeptes negativ: So sinkt beispielsweise bei einem Kühlmittelverlust automatisch die Anzahl der Kernspaltungen bis hin zum Abschalten des Reaktors (inhärente Stabilität). Zudem ist das Abschaltssystem für die Regelstäbe bei westlichen Anlagen wesentlich schneller. Gegen Fehlbedienungen der Betriebsmannschaften schützt ein mehrstufiges Sicherheitskonzept. Die aufgeführten Technik- und Sicherheitsstandards gelten ebenso für die Kernkraftwerke vergleichbarer Technologien in Westeuropa.

Die radiologische und sicherheitstechnische Bedeutung des Unfalls ist von den deutschen Behörden im Licht 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 daraufhin 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. In der GUS und der Ukraine wurde die Sicherheit der RBMK-Reaktoren bislang in begrenztem Umfang erhöht. Bei der anderen sowjetischen Reaktorbaulinie, den WWER-Reaktoren, sind inzwischen in Bulgarien, der Slowakischen Republik, Ungarn und Tschechien umfassende Sicherheitsverbesserungen durchgeführt worden bzw. befinden sich in der Umsetzung.

Die Ost-West-Kooperation und die Zusammenarbeit wurde im Rahmen internationaler Organisationen wie der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) oder der World Association of Nuclear Operators (WANO) stark erweitert und intensiviert. Die vielfältigen Aktivitäten der westeuropäischen und deutschen Industrie, die zum Teil

**Druckwasserreaktor westlicher Bauart: Sicherheit durch eine druckfeste und gasdichte Stahl- und Betonhülle (Containment) und durch mehrere nacheinander gestaffelte Barrieren**



**Abschirmungen**

- Stahlbetonhülle
- Schutzzylinder
- Betonabschirmung

**Barrieren:**

- Sicherheitsbehälter (Stahlkugel)
- Reaktor-Kühlsystem
- Reaktor-Druckbehälter
- Brennstofffüllrohr
- Brennstoff (Kristallgitterstruktur)

1 Dampferzeuger  
2 Hauptkühlmittelpumpe

auch von der EU gefördert werden, reichen u. a. von der finanziellen Unterstützung konkreter Nachrüstprojekte bis hin zu einem umfangreichen Erfahrungsaustausch. Nach der Gründung der WANO 1989 haben die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke ein Programm für Sicherheitspartnerschaften aufgebaut und Partnerschaften mit osteuropäischen Betreibern übernommen.

## **Kernenergie im Energiemix einer sich wandelnden Welt**

Seit dem Unfall in Tschernobyl hat sich in den vergangenen 20 Jahren nicht nur die Kerntechnik, sondern auch die Welt spürbar verändert. Das anhaltende Bevölkerungswachstum und der dadurch steigende Energieverbrauch, die 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 Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit gleichgewichtige Bestandteile sind.

Eine ökonomische Energieerzeugung liegt im Interesse aller Verbraucher sowie der Energie verbrauchenden Wirtschaft und hat entscheidenden Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften. In Deutschland sind heute 17 Kernkraftwerke in Betrieb, die 2005 163 Milliarden kWh Strom lieferten und damit einen Anteil an der Stromerzeugung von rund 27 % hatten und sogar nahezu die Hälfte der Grundlast deckten.

Ein Verzicht auf Kernenergie als umweltfreundliche und insbesondere aufgrund der geringen Brennstoffkosten günstige Erzeugungsform hat unabwendbar und zwangsläufig höhere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen und wirtschaftliche Konsequenzen zur Folge. Deutschland könnte seine im Kyoto-Protokoll eingegangenen Verpflichtungen kaum oder nur zu nicht vertretbaren volkswirtschaftlichen Mehrkosten erreichen. So bezifferte beispielsweise der Energiebericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aus dem Jahre 2001 die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten bis zum Jahr 2020 bei Realisierung der nationalen Klimavorgesetze und Beibehaltung des Ausstiegs aus der Kernenergie auf 256 Mrd. Euro.

Eine nachhaltige Energieerzeugung ist eng mit den Zielen des Umweltschutzes verbunden. Kernkraftwerke emittieren beim Betrieb kein CO<sub>2</sub>, das für den zunehmenden Treibhauseffekt verantwortlich gemacht wird. Die Nutzung der Kernenergie ist sowohl geeignet als auch erforderlich, insbesondere den CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich zu verringern und damit zur Klimavorsorge beizutragen. In Deutschland ersparen Kernkraftwerke der Atmosphäre einen Ausstoß von etwa 150 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr: Dies entspricht etwa der Menge, die in ganz Deutschland jährlich durch den Straßenverkehr freigesetzt wird. Auch das Thema der sicheren Entsorgung ist technisch gelöst. Mit dem bereits genehmigten Endlager Schacht Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle und dem weitgehend erkundeten Salzstock Gorleben für hochradioaktive Abfälle verfügt Deutschland über ein im internationalen Vergleich schon weit vorangeschrittenes Entsorgungskonzept.

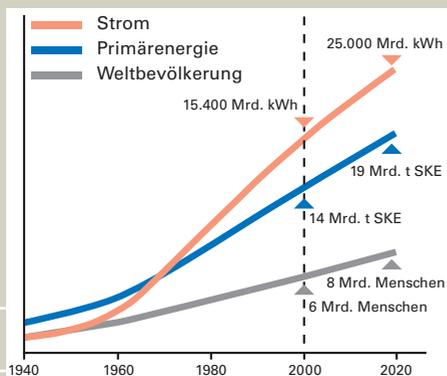
Neben ökologischen und ökonomischen Voraussetzungen fordert die Nachhaltigkeitsstrategie aber auch eine sichere Versorgung mit lebensnotwendiger Energie. Mit dem Anwachsen der Weltbevölkerung ist zwangsläufig eine Zunahme des weltweiten Energiebedarfs vor allem in den Schwellen- und Entwicklungsländern verbunden. Viele Länder einschließlich Deutschland sind allerdings in hohem Maße auf Energieimporte aus anderen, teilweise politisch instabilen Ländern angewiesen: So ist die EU schon heute zu 50 % auf Energieimporte angewiesen und ohne Trendwende wird diese Abhängigkeit bis 2030 auf etwa 70 % steigen. Für Deutschland gelten vergleichbare Werte. Rund 50 % des Weltenergiebedarfs werden von heute innenpolitisch instabilen Ländern gedeckt. Diese Entwicklung birgt schwer zu kalkulierende Risiken in sich und stellt die Frage nach der Versorgungssicherheit umso eindringlicher. Die Lage auf den internationalen Energiemärkten zeigt, dass zur Deckung des steigenden Energiebedarfs auf keinen der heute nutzbaren Energieträger verzichtet werden kann.

Die Kernenergie stellt hier eine von externen Einflüssen unabhängige Energiequelle dar. Die Versorgung mit Natururan ist durch unterschiedlichste, weltweit existierende Vorkommen gedeckt, deren Nutzung politisch nicht gefährdet ist, beispielsweise in

Australien und Kanada. Diese Uranvorkommen stehen bei Zugrundelegung vergleichbarer Kriterien wie bei Öl und Gas noch mindestens 200 Jahre zur Verfügung und die Brennstoffkosten für Uran machen nur 3 - 5 % der Betriebskosten eines Kernkraftwerks aus. Sie haben daher nur einen geringen Einfluss auf die Stromerzeugungskosten.

Kernenergie zählt zu den Zukunftstechnologien. Über den neuen europäischen Druckwasserreaktor EPR hinaus, ein Beispiel für einen fortgeschrittenen Reaktortyp der dritten Generation, wird weltweit mit internationalen Forschungsprogrammen an neuen Reaktorkonzepten – der so genannten „Generation IV“ – gearbeitet, die noch bessere Sicherheitseigenschaften, höhere Wirkungsgrade, bessere Möglichkeiten der Wärmeauskopplung und weniger radioaktive Abfälle aufweisen werden. Die Reaktoren der Generation IV sollen in etwa 30 Jahren marktreif sein und auch der Erschließung neuer Felder der Energieversorgung für die Kernenergie dienen, z. B. der Erzeugung von Wasserstoff.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung der Weltbevölkerung und dem damit verbundenen Anstieg des Energie- und Stromverbrauchs können die heutigen und künftigen Herausforderungen einer nachhaltigen Energieversorgung nur mit einer vorausschauenden und vernünftigen Energiepolitik gemeistert werden. Die Chancen und Potenziale aller Energieträger sollten unvoreingenommen und sachlich bewertet werden. Die Kernenergie als wirtschaftliche, umweltverträgliche und zukunftsfähige Energieerzeugungsform spielt dabei eine wichtige Rolle in einem nachhaltigen Energiemix einer sich wandelnden Welt.



## 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.

### **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.

### **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. Zurzeit sind über 2.700 verschiedene Nuklide bekannt, die sich auf die 112 derzeit bekannten Elemente verteilen. Davon sind über 2.200 Nuklide radioaktiv.

### **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.

### **RBMK-1000:**

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

### **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 so genannten 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.

### **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.



Informationskreis KernEnergie  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin

[info@kernenergie.de](mailto:info@kernenergie.de)  
[kernenergie.de](http://kernenergie.de)

