Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 18

Artikel: Technische und betriebliche Gesichtspunkte des Unfalls Tschernobyl

Autor: Zünd, Hans / Fuchs, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904270

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Technische und betriebliche Gesichtspunkte des Unfalls Tschernobyl

H. Zünd und H. Fuchs

Mitte August übergab die Sowjetunion der internationalen Atomenergie-Organisation IAEO einen umfangreichen Bericht zum Unfallgeschehen, der anlässlich eines internationalen Seminars der IAEO vom 25. bis zum 29. August in Wien von Fachleuten erörtert wurde. Der nachstehende Kurzbericht fasst die Ereignisse und Erkenntnisse über den Unfall zusammen und erläutert, weshalb Tschernobyl* nicht *überall ist.

Mi-août, l'URSS a remis à l'Agence internationale de l'énergie atomique AIEA un rapport très détaillé sur l'accident de Tchernobyl, rapport qui a été discuté par des experts lors d'un séminaire international de l'AIEA fin août. L'article ci-après résume les événements et les enseignements et explique pourquoi Tchernobyl* n'est pas *partout.

Adresse der Autoren

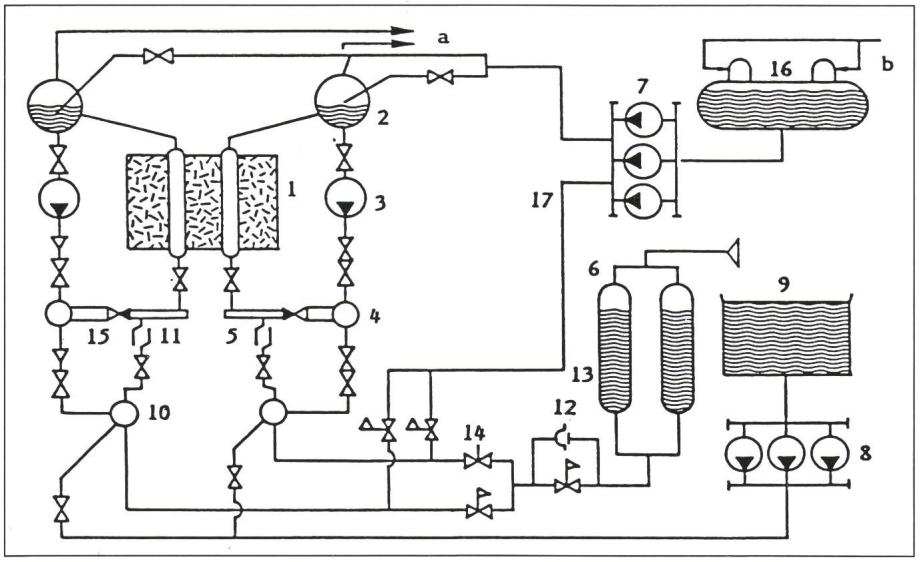
Hans Zünd, Direktor Bereich Nuklear- und Verfahrenstechnik, und
Dr. *U.H. Fuchs*, Chef Abt. Nukleare Sicherheit und Umweltschutz, Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, Parkstrasse 27, 5401 Baden

1. Der RBMK-Reaktor des KKW Tschernobyl

In den letzten Monaten wurde der Unglücksreaktor verschiedentlich in den Medien beschrieben. Daher werden hier nur die für den Unfallablauf wichtigsten Eigenschaften wiederholt. Der RBMK-Reaktor Tschernobyl, Block IV, bestand aus einer Grosszahl von Brennstoffbündeln (1659 Bündel), die in vertikalen Kühlkanälen (Druckröhren) angeordnet waren. Jedes Bündel enthielt 18 Uran-Brennstäbe in Zirkonhüllen mit einer U-235-Anreicherung von 2%. Die maximale Auslegungsleistung pro Kanal betrug 3250 kW.

Die Kühlkanäle sind beim RBMK-Reaktor in einer Matrix von Graphit als Neutronen-Moderator eingebettet. Der eigentliche Reaktor hat einen Durchmesser von 11,8 m und eine Höhe von 7 m und ist auf eine thermische Gesamtleistung von 3200 MW ausgelegt. Die Brennelementbündel werden mit Wasser gekühlt, wobei das Wasser zum Sieden kommt. Der Dampf aus den Kühlkanälen wird in Rohrbündeln zu Dampftrommeln geführt und von dort zu den zwei Turbinen geleitet, die je eine elektrische Bruttoleistung von 550 MW abgeben.

Das Reaktorkühlwasser wird in 2 parallelen Systemen mittels je 3 Hauptkühlmittelpumpen (+ je 1 Reservepumpe pro System) umgewälzt und über komplexe Verteilsysteme auf die 1660 Kühlkanäle geleitet (vgl. Fig. 1).



1 Reaktorkern
2 Trommel-Abscheider
3 Hauptkühlmittelpumpen (n = 2 x 4)
4 Verteilrohr (n = 9, ND 1 000 mm)
5 Gruppenverteilrohr (m = 44, ND = 300 mm)
6 Notkühl-Druckwasserbehälter
7 Speisewasserpumpen (el.)
8 Notkühlpumpen
9 Notkühlwasserbehälter
10 Notkühlwasser-Verteilrohr
11 Begrenzungsstutzen
12 Drossel-Ventil
13 Abschlussventil
14 Schnellschlussarmatur
15 Begrenzer für Gruppen-Verteiler
16 Entgaser
a) Dampf zu Turbinen
b) Speisewasser-Rücklauf
17 Notspeisewasserzuleitung

Fig. 1 Notkühlsystem RBMK-Reaktor

Das Kernnotkühlsystem ist über die 44 Gruppenverteilrohre auf das Hauptkühlsystem aufgeschaltet. Das Notkühlwasser wird kurzfristig einerseits von Druckspeichern und anderseits von den (auslaufenden) Speisewasserpumpen geliefert und längerfristig über notstrombetriebene Notkühlpumpen eingespeist. Das am 26. April durchgeführte Experiment diente zur Überprüfung einer speziellen Generatorerregung, die in einem Notkühlfall die Energie der noch drehenden Turbine in Strom für die genannten Speisewasserpumpen umwandeln sollte – jedenfalls bis zum Start der (langsamen) Notstromdiesel.

Im sowjetischen Bericht wird bestätigt und als Schwachpunkt des Reaktors bezeichnet, dass die nukleare *Kettenreaktion im Reaktor bei Verlust oder Verdampfung des Kühlmittels ansteigt* (sog. «positiver Void-Koeffizient»). Eine Zunahme der Kettenreaktion heisst aber Zunahme der Reaktorleistung und damit der Dampfbildung, womit der Teufelskreis der positiven Rückkoppelung geschlossen ist. Der Reaktor ist also für sich *instabil*. Er kontrolliert sich nicht selbst, sondern eine gleichmässig kontrollierte Kettenreaktion muss laufend durch komplexe Regelsysteme (teils automatisch, teils von Hand) aufrechterhalten werden. Dies ist um so schwieriger, als wegen der Grösse des Reaktors bereits Teile für sich eine kritische Masse erreichen können. Daraus ergeben sich – ohne besondere Massnahmen – zeitlich und örtlich stark schwankende Reaktorleistungen.

Der Reaktor wird durch 211 Regelstäbe (Neutronenabsorber), die gruppenweise in den Reaktor eingefahren werden können, geregelt. Die maximale Einfahrgeschwindigkeit beträgt (nur) 0,4 m/s. Die örtlich und zeitlich starken lokalen Schwankungen der Kettenreaktion werden durch lokale Regelsysteme stabilisiert, um die einzelnen Brennelemente vor unzulässigen Überhitzungen zu schützen. Diesen Systemen sind mehrere spezielle Überwachungssysteme zugeordnet.

Für den Fall, dass *ein* Kühlkanal im Reaktor brechen sollte, kann der austretende Dampf durch eine Überströmleitung aus dem Reaktor in eine Wasservorlage geleitet und dort kondensiert werden. Dieses Schutzsystem ist aber nur ausgelegt für den Bruch eines einzigen Kühlkanals (von total 1660). Brechen mehrere Kühlkanäle gleichzeitig, entsteht ein Überdruck in der Reaktorkaverne. Ein komplexes Leck-Überwachungssystem erlaubt es, Leckagen in den Kühlkanälen zu orten. Ein ähnliches Überström- und Lecküberwachungssystem existiert im Bereich der grossen Rohrleitungen und Sammler, jedoch fehlt ein Containment in unserem Sinn. Der Reaktorkern selbst, der fast alle Radioaktivität enthält, ist nicht von einem druckfesten Containment umgeben.

Die in dieser Kurzbeschreibung hervorgehobenen Eigenschaften des Reaktorsystems, zusammen mit gravierenden Fehlern des Betriebspersonals, führten zum katastrophalen Unfall, dessen Ablauf nachstehend zusammengefasst wird.

2. Ablauf des Unfalls am 26. April 1986

Nachstehend die wichtigsten chronologischen Ereignisse gemäss Bericht des sowjetischen Expertenteams, mit einigen Erläuterungen und Anmerkungen:

Nachdem das Kraftwerk im Dezember 1983 in Betrieb genommen worden war, sollte es am 25. April 1986 zu einer planmässigen Wartung abgeschaltet werden. Dabei sollte ein Auslaufversuch mit einem der beiden Turbogeneratoren durchgeführt werden, um zu sehen, wie weit die kinetische Energie der auslaufenden Turbogruppe bei Trennung vom Netz zur vorübergehenden Eigenbedarfsdeckung herangezogen werden kann. Die dafür nötigen elektrischen Systeme waren vorhanden, allerdings zeigten analoge Experimente 1982 und 1984, dass die Spannung am Generator zu rasch absank, weshalb eine verbesserte Generatorerregung eingebaut wurde – diese sollte nun «scharf» getestet werden. Bei einem RBMK-Druckröhren-Reaktor ist die Eigenbedarfsversorgung nach einem Kühlmittelverluststörfall mit Netzausfall generell heikel, weil der gebrochene Kühlkanal innert 3,5 s wieder mit Wasser versorgt sein muss. Der Versuch war nur rudimentär vorbereitet und nicht bewilligt worden. Spezielle Sicherheitsvorkehrungen fehlten, nicht zuletzt deshalb, weil die Versuchsleitung in der Hand von auswärtigen Elektrotechnik-Spezialisten lag, die vom Reaktor herzlich wenig verstanden.

25. April:

0100 Reaktorleistung wird langsam abgefahren. Es ist Freitag vor einem verlängerten Wochenende (1.-Mai-Feiern!).

1305 Eine der beiden Turbogruppen wird abgeschaltet. Die Stromversorgung für die erforderlichen Betriebsaggregate wird auf die andere Turbogruppe umgeschaltet.

1400 Das Kernnotkühlsystem wird vom Kernkühlkreislauf getrennt, um das Experiment nicht zu stören. Auf Anweisung der Netzleitstelle muss aber das Kraftwerk mit halber Leistung weiter betrieben werden.

Anmerkung: Diese Abkoppelung des Notkühlsystems war wegen der komplexen Vermaschung von Betriebs- und Sicherheitssystemen erforderlich. Ein Reaktorbetrieb mit abgeschalteten Kühlsystemen würde in unseren Kernkraftwerken durch Verriegelungen verhindert.

2310 Nach Freigabe von der Netzleitstelle Fortsetzen der Leistungsreduktion auf angestrebte 700–1000 MW (therm.) Das lokale automatische Reaktorregelsystem wird ausgeschaltet. Der Operateur stellt den Sollwert für die Gesamtleistungsregelung nicht richtig ein und ist nicht in der Lage, die örtlichen Änderungen der Kettenreaktion schnell genug von Hand zu regeln. Die Leistung fällt ungewollt auf 30 MW (therm.). Es ist 00.28 am 26. April.

26. April:

0100 Endlich gelingt es, die Reaktorleistung zu stabilisieren, jedoch nur auf 200 MW statt min. 700 MW (therm.) – obgleich beinahe alle Kontrollstäbe ausgefahren wurden.

Anmerkung: Der Grund dafür ist der «Neutronenfresser» Xenon, der als Folge der Beinahe-Abschaltung stark ansteigt. Es ist hochgradig verboten, den Reaktor auf diese Weise, d.h. mit deutlich weniger als 30 eingefahrenen Kontrollstäben weiter

zu betreiben – er hätte schon mit nur noch 30 eingefahrenen Stäben abgeschaltet werden müssen.

0103 und 0107 Zusätzlich zu den sechs laufenden Hauptkühlpumpen werden (aus experimentellen Gründen) die beiden Reservehauptkühlpumpen zugeschaltet. Der Reaktorkern wird dadurch überspeist und so stark gekühlt, dass die Dampfproduktion zurückgeht. Es entstehen thermohydraulische Instabilitäten und damit erhebliche Regelprobleme. Um zu verhindern, dass der Reaktor wegen zu niedrigem Dampfdruck bzw. Wasserniveau in den Dampftrommeln von selbst abschaltet, blockiert die Betriebsmannschaft die entsprechenden Reaktorschutzsignale und beginnt, das Wasserinventar und z.T. die Leistung manuell zu regeln.
Anmerkung: Dieses Verhalten der Betriebsmannschaft ist eindeutig vorschriftswidrig. Ausgelöst wurde es allerdings (und wohl kaum zum erstenmal!) durch die schwierige Regelbarkeit des Reaktors. In den Schweizer Kernkraftwerken würden Verriegelungen solche Eingriffe der Betriebsmannschaft verunmöglichen bzw. sofort eine Reaktorschnellabschaltung auslösen.

0122:30 Zur Kontrolle des Reaktorzustands werden die Leistungsverteilung und die Kontrollstabpositionen ausgedruckt: nur noch 6–8 Stäbe sind eingefahren statt der mindestens erforderlichen 30. Nach den Vorschriften musste der Reaktor sofort abgeschaltet werden – die Mannschaft hat aber nur das Turbinenexperiment im Kopf!
Anmerkung: 30 eingefahrene Kontrollstäbe sind beim RBMK vorgeschrieben, weil sonst eine Reaktorabschaltung im Notfall zu langsam verläuft. Westliche Reaktoren weisen ein unabhängiges, schnelles Notabschaltsystem auf, das gegen Fehlmanipulationen vielfältig abgesichert ist.

0123:04 Beginn des eigentlichen Experimentes. Die Einlassventile zur Turbine werden geschlossen, das damit verbundene Reaktorabschaltsignal aber überbrückt, weil man die Möglichkeit offen lassen will, das Turbinenexperiment notfalls zu wiederholen – sonst wäre das erst in einem Jahr wieder möglich gewesen ... (Plansoll?) Der Druck in den Dampftrommeln steigt an – im Reaktor wird fast kein Dampf mehr produziert; die Austrittstemperatur nimmt aber zu.

0123:21 Verzögert durch die langen Rohrleitungen gelangt nun wärmeres Wasser in den Reaktor, die Verdampfung steigt. Die Pumpleistung der Hauptkühlpumpen sinkt.

0123:31 Infolge des grösseren Dampfgehalts im Reaktor steigt dessen Leistung an, die Regelung vermag dies nicht mehr zu kompensieren.
Erklärung: Der Reaktor ist bei Beginn des Experiments bei einer Leistung von etwa 200 MW in einem instabilen Zustand; der durch den Versuch ausgelöste Druckanstieg bzw. Abfall des Kühlmitteldurchflusses führt nach einer gewissen Verzögerungszeit zu erhöhter Dampfproduktion im Kern. Wegen der positiven Rückkopplung des RBMK-Reaktors steigt deshalb die Leistung und damit wieder die Dampfproduktion an usw. Die Leistungsregelung kann den zunehmend rascher werdenden Anstieg nicht mehr bremsen.
Anmerkung: Ein Leichtwasserreaktor ist auf negative Rückkopplung ausgelegt, d.h. bei steigender Dampfproduktion wird die Kettenreaktion gebremst, und die Leistung nimmt ab. Der Reaktor regelt sich selbst.

0123:40 Der Schichtleiter lässt die Schnellabschaltung des Reaktors durch Einfahren aller Abschalt- und Regelstäbe auslösen. Aber nach einigen Sekunden fühlt man Druckwellen, und der Operator stellt fest, dass die Abschaltstäbe nur teilweise einfahren. Die Schnellabschaltung des Reaktors wirkt wegen der grossen Anzahl ausgefahrener Stäbe zu langsam, um die unkontrollierte Kettenreaktion noch rechtzeitig zu stoppen.

etwa 0123:44 Innert etwa 2 s steigt die Reaktorleistung um etwa das Hundertfache an. Bei dieser «nuklearen Exkursion» werden etwa 30% des Brennstoffs auf über 3000 °C erhitzt. Das führt zu einer thermisch-mechanischen «Explosion» (Dampfexplosion). Die obere Abdeckplatte des Reaktors wird abgehoben, die Kühlkanäle abgerissen, der Oberteil des Reaktorgebäudes total zerstört. Der Reaktor steht *«nackt auf der Wiese»*.
Erklärung: Der Dampfanteil im Reaktor war so rasch angestiegen, dass der Reaktor wegen des positiven Void-Koeffizienten «prompt überkritisch» wurde; in diesem Zustand steigt die Leistung schlagartig an.
Anmerkung: Unsere Leichtwasserreaktoren vermeiden eine «prompte Überkritikalität», sowohl durch die Grundauslegung als auch durch zahlreiche feste Absicherungen gegen Fehlmanipulationen.

etwa 0124 Beobachter im Freien stellen im Abstand von 2 bis

3 s zwei starke Explosionen fest, die das Oberteil des Reaktors und des Reaktorgebäudes zerstören. Ein Feuerwerk glühender Metallteile sprüht in die Luft und entfacht eine grosse Anzahl lokaler Brände in und ausserhalb des Reaktorgebäudes. Radioaktive Stoffe treten direkt in die Atmosphäre aus.

Erklärung: Die erste Explosion beruhte – wie erwähnt – auf der nuklearen Exkursion («Durchbrennen»). Bei den dadurch ausgelösten hohen Temperaturen finden Metall-Wasser- und Graphit-Wasser-Reaktionen statt. Dabei wird Wasserstoff freigesetzt, der mit eintretendem Sauerstoff zu Knallgasexplosionen führt. Das ist die von den Russen favorisierte Erklärung für die zweite Explosion. Westliche Experten vermuten allerdings als Ursache eher eine zweite nukleare Exkursion.

Das «Feuerwerk glühender Metallteile» bestand aus Zirkon, Uran und Eisen. Die Brandbekämpfung war erschwert, weil einzelne glühende Stücke auf die mit Bitumen versehenen Dächer des Reaktorkomplexes fielen.

Anmerkung: Metall-Wasser-Reaktionen könnten bei so hohen Temperaturen auch in Leichtwasserreaktoren vorkommen, jedoch keine Graphit-Wasser-Reaktionen. Insgesamt wäre die Wasserstoffmenge wesentlich kleiner und könnte ohne Sauerstoff im Reaktorbehälter nicht explodieren. Radioaktive Stoffe würden im druckfesten Containment zurückgehalten (das bei Tschernobyl fehlt).

0500 Dank heroischem Einsatz der Feuerwehr-Equipen sind die Brände gelöscht – der Graphit brennt aber noch tagelang.

3. Radioaktivitätsabgabe an die Umgebung und Strahlungsdosen

Während des Unfalls wurden teilweise pulverisierter Brennstoff, alle Edelgase und ein grosser Teil der flüchtigen Spaltprodukte freigesetzt und dank dem thermischen Auftrieb des Brandes anfänglich in grosse Höhen (etwa 1200 m) transportiert. Diese Emissionen nahmen in den Tagen nach dem Unfall kontinuierlich ab, jedoch wegen der zunehmenden Temperaturen im Reaktor vom 2. bis zum 6. Mai 1986 zu.

Danach fiel die Emission rasch ab, vor allem wegen des Einbringens von Stickstoff unterhalb des Reaktors (dadurch wurde der Graphitbrand endlich erstickt).

Insgesamt wird im Bericht eine Emission von 50 MCi angegeben (ohne Edelgase), d.h. etwa 3,5% des gesamten Inventars im Kern.

Charakteristisch für den Tschernobyl-Ablauf ist der erstaunlich hohe Anteil freigesetzter schwerflüchtiger Nuklide. Das ist einerseits auf das Herausschleudern von Brennstoffteilen bei der nuklearen Exkursion und anderseits auf den Einfluss des Graphitbrandes zurückzuführen.

Über die Strahlungsdosen der Bevölkerung und über die medizinischen Massnahmen gibt der Bericht ausführliche Angaben. So erhielten die 135 000 Evakuierten eine (externe) mittlere Dosis von etwa 12 rem; die 74,5 Millionen Einwohner im europäischen Teil der UdSSR im Mittel 0,1 rem für 1986 (resp. 0,4 rem über 50 Jahre akkumuliert.

Wird auch die Bestrahlung durch Nahrungsmittel berücksichtigt, liegt die zusätzliche Dosis über 70 Jahre im Mittel bei etwa 3 rem. In diesem Zusammenhang wurde von etwa 20 000 zusätzlichen Krebstoten gesprochen. Das entspricht aber nach russischen Angaben nur 0,4% der natürlicherweise auftretenden Fälle.

Die Konferenz zeigte, dass diese Zahl wahrscheinlich etwa 10fach zu gross geschätzt wurde (d.h. in Wirklichkeit muss mit 2000 zusätzlichen Toten bzw. 0,04% der natürlichen Fälle gerechnet werden).

4. Zustand und Zukunft des Unglückskraftwerkes und dessen Umgebung

Auf dem Kraftwerksareal waren vor dem Unfall der Doppelblock 1+2 und der Doppelblock 3+4 in Betrieb sowie ein weiterer Doppelblock 5+6 der gleichen Bauart im Bau.

Nach dem Unfall war der Reaktorkern des Unglückblocks 4 teilweise, das Kühlsystem vollständig zerstört. Das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente blieb intakt, es enthielt allerdings nur etwa 100 Brennelemente. Im Reaktor wurde weiterhin im grossen Mass Wärme erzeugt durch Nachzerfallswärme in den Brennstäben und Schwelbrand im Graphitmoderator. Der Reaktor wurde durch Naturkonvektion von atmosphärischer Luft gekühlt, so dass die radioaktiven Stoffe direkt in die Atmosphäre austreten konnten und dank der Hitze weit hinauf verfrachtet wurden. Ein Zusammenschmelzen der Brennelemente fand nach Angaben des Berichts nicht statt. Infolge der Hitze traten aber auch nichtflüchtige Spaltprodukte aus, die grösstenteils an den Gebäudestrukturen ausfielen. Die Reaktortemperatur begann erst etwa am 5. Mai 1986 zu sinken.

Der Krisenstab bemühte sich in den ersten Tagen primär, den Austritt radioaktiver Stoffe zu begrenzen durch Abwurf von etwa 5000 t Material (Bor, Dolomit, Sand, Lehm und Blei) über den Reaktor.

Zur Kühlung des Reaktors wurde Stickstoff von unten in den Reaktorraum gepumpt. Unter dem Reaktorgebäude wurde eine Wärmeabfuhreinrichtung eingebracht, um bei eventuellem Kernschmelzen die Schmelze aufzuhalten. Diese Massnahme erwies sich nachträglich als überflüssig.

Ende Mai betrug die Strahlung auf dem Kraftwerksareal noch einige R/h, die Temperatur im Reaktor noch einige 100 °C.

Die Blöcke 1–3 wurden nach dem Unfall abgestellt. Nach aufwendiger Dekontamination der Kraftwerke und des Areals und nach Errichtung eines Abschirmgebäudes («Sarkophag»), um den Unglücksblock 4 sollen die Blöcke 1+2 vor Ende 1986 wieder in Betrieb gehen.

Umfassende Grundwasserschutzmassnahmen sind noch im Gange. Sie sollen das Eindringen radioaktiver Stoffe ins Grundwasser verhindern.

Im Umkreis von 30 km um das Kraftwerk sind langfristige und grossräumige Dekontaminationsarbeiten angelaufen, wobei auch landwirtschaftliche Massnahmen ergriffen werden, die die Aufnahme von Aktivität durch die Pflanzen vermindern.

5. Vorgesehene Verbesserungen der Sicherheit in den RBMK-Reaktoren

Im Bericht werden einige Schwächen der RBMK-Reaktoren erwähnt, allem voran das instabile Verhalten mit positiver Rückkopplung der Kettenreaktion. Der Bericht enthält einige unmittelbare Vorschläge zur Verbesserung der Sicherheit der RBMK-Reaktoren, die bereits eingeführt sind oder in Kürze sein werden.

Mittelfristige Massnahmen:
- Ausfahrbegrenzung für Abschaltstäbe
- Erhöhung der Mindestanzahl stets eingefahrener Kontrollstäbe von 30 auf 80
- Personelle/organisatorische Massnahmen (bessere Ausbildung, Ändern von Betriebsvorschriften)
- Begrenzen der positiven Rückkopplung durch 2,4% statt 2% Urananreicherung
- Schnelles Abschaltsystem

Die Massnahmen sind sicher geeignet, das Risiko der RBMK-Reaktoren zu vermindern. Westliche Standards für Leichtwasserreaktoren werden aber dadurch nicht erreicht.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In den offiziellen Verlautbarungen der Sowjetunion über die schwere Reaktorkatastrophe Tschernobyl wird menschliches Versagen als Ursache angeführt. Tatsächlich liess sich das Schichtspersonal erhebliche vorschriftswidrige Handlungen zuschulden kommen, um einen Versuch mit der Turbogeneratoranlage unter Anleitung von reinen Elektroingenieuren und ohne Rücksicht auf die Sicherheit durchzuzwängen.

Das Personal hatte offensichtlich nicht die geringste Ahnung über die Folgen seines Tuns und war absolut unzureichend ausgebildet und informiert.

Analysiert man den Unfallbericht genauer und ergänzt man ihn durch die Informationen der sowjetischen Experten am IAEO-Seminar Ende August in Wien, bestätigen sich erhebliche sicherheitstechnische Mängel des RBMK-Reaktors, die letztlich als eigentliche Ursache des katastrophalen Unfalls zu betrachten sind und ohne die selbst beim beschriebenen, mehrfachen sicherheitstechnischen Fehlverhalten der Mannschaft kein Unfall dieser Art entstanden wäre. Die dominanten Mängel sind:

1. Die positive Rückkopplung zwischen Reaktorleistung/Dampfbildung und dem Multiplikationsfaktor der nuklearen Kettenreaktion zusammen mit der Grösse des Reaktors. Sie führte zu den enormen Instabilitäten, welche der Operateur von Hand mit einem komplexen Regelsystem bewältigen sollte, und schliesslich zum plötzlichen, unkontrollierbaren Leistungsanstieg im oberen Teil des Reaktors mit Spitzentemperaturen von über 3000 °C sowie zu den Dampfexplosionen und anschliessenden chemischen Explosionen, die die Zerstörung des Reaktors und des Gebäudeoberteils zur Folge hatten. Englische Experten hatten bereits 1976 die Gefährlichkeit dieses Reaktorkonzepts in einem ausführlichen Bericht beschrieben und vor dessen Anwendung gewarnt.
2. Die enge Vermaschung von Betriebs- und Sicherheitssystemen sowohl hydraulisch wie auch in den Regelsystemen. Sie zwang die Betriebsmannschaft – wollte sie den Versuch durchführen – zur Abkopplung der Notkühlsysteme und zur Blockierung von Reaktorschutzsignalen.
3. Der Graphit-Schwelbrand, welcher die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Reaktor und aus dem Gebäude verstärkte.
4. Das Fehlen eines Containments um den Reaktor, wodurch die radioaktiven Stoffe direkt und ungehindert ins Freie austreten konnten.

Menschliches Versagen als primäre Unfallursache? Ja, wenn man Entwicklung und Bau dieser Reaktorbaulinie mit einschliesst. Dies hat die Sowjetunion auch so zugegeben, indem sie die führenden Persönlichkeiten entliess, die für die Entwicklung und den Bau der RBMK-Reaktoren verantwortlich waren.

Unsere Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerke weisen keine der beschriebenen unfallverursachenden Eigenschaften und Mängel auf. Der Unfall Tschernobyl ist deshalb weder nach seinem Verlauf noch nach seinen Auswirkungen auf unsere Kernkraftwerke übertragbar. Ein Kernkraftwerksunfall mit auch nur einigermassen vergleichbaren Auswirkungen kann dank unserer konsequenten, in die Tiefe gestaffelten sicherheitstechnischen Vorkehrungen ausgeschlossen werden. Trotzdem wird der Tschernobyl-Bericht im Laufe der nächsten Zeit auch bei uns noch detaillierter ausgewertet im Hinblick auf mögliche und anwendbare Lehren für unsere Kernkraftwerke.