

IAVG-Fachtexte

Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl Hergang und Ablauf - Ursachen - Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit

Dipl.-Ing. Karlheinz Orth, KTG OS Erlangen/Nürnberg; Dipl.-Phys. Herbert Türp, KTG OS Rheinland;
06.12.1995

www.iavg.org/txt019.pdf / Stand: 13.03.2006

Inhaltsverzeichnis

[Zurück zum Seitenanfang](#)

1. Einleitung

Am 28. April 1986 wurde in Finnland und Schweden erhöhte Radioaktivität in der Luft und am Boden gemessen. Alles deutete darauf hin, daß diese Radioaktivität mit der zu dieser Zeit vorherrschenden Windströmung aus der Sowjetunion herangetragen wird. Erst am Spätabend des 28. April gab die UdSSR den Reaktorunfall von Tschernobyl vom 26. April, 1.23 Uhr Ortszeit, in einer kurzen Meldung bekannt. In späteren Meldungen wurde mitgeteilt, daß es im Block 4 zu "Explosion, Brand und einer Kernschmelze" gekommen ist. Im Verlauf dieser Ereignisse wurden große Mengen von radioaktiven Stoffen freigesetzt.

Selbst einige Wochen nach dem Unfall ließ sich der Ablauf der Ereignisse von Experten nur vorläufig abschätzen. Die genaue Rekonstruktion des Unfalles ließ noch einige Zeit auf sich warten.

Trotz des weltweiten Informationsbedürfnisses wurden von der UdSSR zunächst nur sehr lückenhafte Informationen über den Reaktorunfall geliefert. Erst auf dem "Post Accident Review Meeting" der IAEA vom 25. bis 29. August 1986 in Wien, also vier Monate nach dem Unfall, wurde von sowjetischer Seite berichtet; es wurde umfangreiches Material über den Unfallhergang und den betroffenen Reaktortyp (RBMK 1000) vorgelegt, das ausführlich mündlich erläutert wurde. [1]

Block 4 des Kernkraftwerkes Tschernobyl mit einer Betriebsleistung von 1000 MWe und einer thermischen Reaktorleistung von 3200 MW ist einer von 15 Reaktoren der Baulinie RBMK, die die Sowjetunion in Betrieb genommen hat. Eine Anlagenbeschreibung befindet sich in Anlage 1 [1].

2. Unfallhergang

Im April 1986 stand für Block 4 die jährliche Routinerevision an, bei deren Beginn ein Turbinenversuch durchgeführt werden sollte.

In einem Versuchsprogramm war vorgesehen, im Laufe des Abfahrens des Reaktors bei einer thermischen Leistung von 700 bis 1000 MW die noch in Betrieb befindliche Turbine von der Dampfzufuhr zu trennen. Dabei sollte geprüft werden, ob sich die Rotationsenergie der auslaufenden Turbine zur Notstromversorgung von Teilen der Reaktoranlage nutzen läßt. Derartige Versuche waren bereits früher in Tschernobyl beim Abschalten von Reaktoren zu Revisionszwecken vorgenommen worden. Im Gegensatz zu früheren Versuchen wurde - um eine sofortige Wiederholung zu ermöglichen - der Test diesmal durchgeführt, während der Reaktor noch in Betrieb blieb.

Der Ereignisablauf, der zu dem Unfall führte, läßt sich im wesentlichen folgendermaßen zusammenfassen [1], [8]:

Die Anlage wurde am 25.4.86, um 1.00 Uhr planmäßig zur jährlichen Revision und zu dem geplanten Versuch abgefahren. Um 14.00 Uhr, bei einer Anlagenleistung von 50%, verzögerte sich das Abfahren zunächst, da auf Anforderung des Lastverteilers wieder in das Netz eingespeist werden

mußte. Etwa 9 Stunden später konnte das Abfahren auf die für den Versuch vorgesehene Leistung von ca. 20% bis 30% fortgesetzt werden. Bis zum 26.4.86, 0.28 Uhr verlief der Betrieb der Anlage normal.

Um 0.28 Uhr, weniger als eine Stunde vor dem Unfall, kam es zu einer Störung in der Reaktorleistungsregelung. Dadurch fiel die Reaktorleistung auf einen Wert von ca. 1 % der Nennleistung. Da ein Leistungsbetrieb unter etwa 20% nicht gestattet ist und aufgrund des Xenon-Aufbaus auch keine Möglichkeit bestand, diese Leistung wieder zu erreichen, hätte der Reaktor abgeschaltet und der Versuch verschoben werden müssen. Statt dessen wurde die Leistung soweit möglich wieder angehoben, um den Versuch durchzuführen. Durch das instabile Verhaften und die schlechte Regelbarkeit des RBMK-Reaktors bei solch geringen Leistungen sowie das Zuschalten der Reservehauptkühlmittelpumpen nach Versuchsprogramm traten weitere Schwierigkeiten auf. Schließlich gelang es, die Reaktorleistung auf etwa 7% anzuheben und dort zu halten.

Der Reaktor befand sich unmittelbar vor Einleitung des Versuchs in einem physikalisch und thermohydraulisch sehr instabilen Zustand, der ihn extrem anfällig auf jede Störung der Betriebsparameter machte. Dieser Zustand war durch den Versuch des Operators herbeigeführt worden, die Reaktorleistung auf das für die geplanten Experimente erforderliche Niveau abzusenken und dort zu haften. Um den aus der Lastabsenkung resultierenden Xenonaufbau im Brennstoff zu kompensieren, waren fast alle Absorberelemente völlig gezogen, so daß ihre Abschaltwirksamkeit stark eingeschränkt war. Zudem war unmittelbar vor dem Unfall durch den lokalen Xenonaufbau in den zentralen Kernpositionen und durch das völlige Ausfahren fast aller Steuerstäbe eine Leistungsdichteverteilung entstanden, die das kinetisch instabile Verhalten des Reaktors begünstigte.

Thermohydraulisch war der Kernzustand durch geringe Unterkühlung des Kühlmittels am Kerneintritt (das Kühlmittel zwischen Dampfabscheider und Reaktorkern hatte beinahe Sättigungsbedingungen erreicht), ungewöhnlich hohen Durchsatz und einen extrem niedrigen Dampfgehalt gekennzeichnet. In diesem Zustand können schon kleine Störungen der Systemparameter - Druck, Eintrittstemperatur und Durchsatz usw. - zu merklichen Änderungen in der Dampfproduktion im Kern führen. Führt die Störung zu einer vermehrten Dampfproduktion (z.B. Abfall des Durchsatzes oder des Druckes), so steigt infolge des positiven Dampfblasenkoeffizienten (vgl. Anlage 2.1) zunächst die Reaktivität und infolge des positiven Leistungskoeffizienten auch die Reaktorleistung. Diese führt zu einem weiteren Anstieg der Dampfproduktion, die eine neuerliche Leistungserhöhung zur Folge hat.

Hinzu kam, daß zu diesem Zeitpunkt die vorgeschriebene Mindestwirksamkeit des Abschaltsystems nicht mehr vorhanden war (vgl. Anlage 2.3). Die sofortige Abschaltung gemäß Betriebsvorschriften erfolgte jedoch nicht. Statt dessen wurde ein weiteres Signal, welches bei Einleitung des Versuchs zu einer automatischen Notabschaltung des Reaktors geführt hätte, überbrückt, um den Versuch eventuell wiederholen zu können.

Ob diese Abschaltung den Reaktor hätte retten können, muß jedoch aus heutiger Kenntnis über den positiven "Scram-Effekt" (S. 8) bezweifelt werden [8].

Um 1.00 Uhr 23 min 04 s wurde der Versuch eingeleitet und der Turbosatz abgeschaltet. Damit liefen vier der acht Hauptkühlmittelpumpen aus. Die Verringerung des Kühlmitteldurchsatzes durch den Reaktorkern führte zu einer Zunahme des Dampfblasengehalts und damit zu einer Zufuhr positiver Reaktivität. Dies konnte zu nächst durch die automatische Regelung zumindest teilweise kompensiert werden, so daß die Reaktorleistung nur langsam anstieg.

Um 1.00 Uhr 23 min und 40 s war die Reaktorleistung von ihrem Ausgangswert von etwa 7% auf einen Wert von 10 - 11 % angestiegen. Zu diesem Zeitpunkt wurde von Hand eine Reaktorabschaltung ausgelöst. Die Reaktorabschaltung wurde aber nicht mehr wirksam. Bereits wenige Sekunden später kam es zu einer Leistungsexkursion. Nachträgliche Analysen sowjetischer Experten ergeben eine Neutronenfluß-Spitze vom Mehrfachen des Nennwertes. Der Reaktor war also prompt kritisch.

Heute weiß man, daß die Leistungsexkursion weniger durch den positiven Leistungskoeffizienten, als vielmehr durch den Positiven "Scram-Effekt" beim Einfahren der Steuerstäbe (siehe Seite 8) bewirkt wurde.

Die Leistungsexkursion (vgl. Anlage 2.5) führte dem Brennstoff im Sekundenbereich eine sehr hohe Energie zu. Dadurch kam es in Teilen des Reaktorkerns zur Zerstörung der Brennstäbe und zur Fragmentierung durch Verdampfung des Brennstoffs. Der feinfragmentierte Brennstoff mischte sich

mit dem umgebenden Kühlmittel und verdampfte dieses in kürzester Zeit. Der rasche Druckaufbau führte zur Zerstörung von Druckrohren und im weiteren zur Zerstörung des Behälters um den Reaktorkern. Dabei wurde die obere, ca. 1000 t schwere Kernplatte in eine Schräglage gebracht. Mit dem Anheben der Kernplatte sind alle noch intakten Druckrohre und die Leitungen zu den Dampfseparatoren abgerissen worden. Nach Berichten von Augenzeugen kam es innerhalb weniger Sekunden zu zwei explosionsartigen Vorgängen, bei denen der obere Bereich des Reaktorgebäudes stark zerstört wurde und Kernmaterialien sowie glühende Teile aus dem Reaktorgebäude geschleudert wurden.

Durch herausgeschleuderte Teile, Kurzschlüsse und Versagen von ölführenden Leitungen kam es zu mehr als 30 Bränden.

Um die Freisetzung*) aus dem zerstörten Reaktor endgültig zu beenden und eine wirksame Dekontamination des Anlagengeländes zu ermöglichen, ist der zerstörte Reaktor inzwischen durch Einbetonieren ("Sarkophag") abgeschlossen worden.

*) Zum Vergleich mit Ergebnissen von Risiko-Studien s. [3], (4) und Anlage 2. Zur Aktivitätsfreisetzung siehe [5], der die Angaben in (11 im wesentlichen bestätigt.

3. Auslegungsmängel der RBMK-Reaktoren

Was waren die Ursachen für die Katastrophe in Tschernobyl?

Schon beim "Post Accident Review Meeting" wurde vom "Staatskomitee der UdSSR für die Nutzung der Kernenergie" nicht versucht, Unfallablauf und Unfallursache ausschließlich auf Bedienungsfehler und menschliches Versagen zu schieben; es wurde zugegeben, daß die Bedienungsfehler ihre katastrophale **Auswirkung nur im Zusammenwirken mit Mängeln in der Anlagenkonzeption** entfalten konnten:

- Die Möglichkeit des Auftretens eines positiven Dampfblasen-Reaktivitätskoeffizienten (vgl. Anlage 2.1) beim Phasenübergang im Kühlmittel, der das Reaktivitätsverhalten bestimmt,
- die hohe Sensibilität des Neutronenfeldes gegenüber Reaktivitätsstörungen verschiedener Art, die ein kompliziertes Instrumentierungs- und Regelungssystem zur Stabilisierung der Verteilung der Energiefreisetzung im Reaktorkern erforderlich machen,
- die Komplexität des Systems der Zu- und Abführung des Kühlmittels bei jeder Druckröhre,
- keine Vorkehrungen zur Verhinderung oder Erschwernis von Eingriffen des Betriebspersonals in die Sicherheitstechnik.

Ein wesentlicher Punkt wurde aber bei der IAEA-Konferenz 1986 nicht erwähnt:

Die Konstruktion der Steuerstäbe mit Folgestäben, die beim Einfahren - unter bestimmten Umständen - Reaktivität nicht binden, sondern freisetzen, und die Unkenntnis des Personals über diese Mängel und über das Verhalten des Reaktors bei niedriger Leistung. Trotzdem wurde die Schuld weitgehend dem Bedienungspersonal zugeschoben und der Schichtleiter, der sich nicht vorstellen konnte, daß durch

eine Abschaltung eine Leistungsexkursion ausgelöst werden kann, mit Gefängnis bestraft. [7]

Vornehmlich drei Faktoren waren es also, die den Störfall in Tschernobyl zur Katastrophe ausarten ließen: der Mangel an inhärenter Stabilität des Reaktors (positiver Dampfblasenkoeffizient), das fehlende Containment und - wie man heute weiß Konstruktionsfehler bei den Steuerstäben; drei wurde Punkte, die deutschen Leichtwasserreaktoren nicht angelastet werden können, denn sie verfügen samt und sonders sowohl über druckfeste Sicherheitsumschließungen als auch über inhärent stabile Reaktorkerne, deren negativer Dampfblasenkoeffizient dafür sorgt, daß die Kettenreaktion automatisch unterbrochen wird, wenn der Moderator aufgrund eines Störfalles mehr Dampfblasen bilden sollte; nicht einmal Steuerstäbe - die bei Abschaltung selbstverständlich nur

negative Reaktivität einbringen - wären für diese Art von Abschaltung erforderlich.

Im Hinblick auf das Sicherheitskonzept von Kernkraftwerken stellt die Reaktorsicherheitskommission auf ihrer 216. Sitzung am 15. Oktober 1986 zusammenfassend fest, daß eine prompt überkritische Leistungsexkursion, wie sie sich im Kernkraftwerk Tschernobyl ereignet hat, aufgrund der inhärenten Eigenschaften und der technischen Ausrüstung in einem Leichtwasserreaktor deutscher Bauart ausgeschlossen ist.

Die Auswertung der bei der Expertenkonferenz in Wien gegebenen Informationen [1] und der Bewertungen durch international anerkannte Fachleute bestätigt die schon früher geäußerte Meinung der RSK, daß das Sicherheitskonzept von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland durch den Unfall in Tschernobyl nicht infragegestellt wird.

4. Ergebnisse neuerer Untersuchungen

Seit dem Unfall von Tschernobyl wurden weltweit Anstrengungen unternommen, durch entsprechende Modellrechnungen die Ursachen der Katastrophe und ihren Ablauf zu rekonstruieren. Auch die Experten in der westlichen Welt haben sich erst nach dem Ereignis mit dem RBMK-Reaktor näher befaßt, weil erst danach die nötigen Informationen zugänglich waren. Die Ergebnisse dieser Analysen lassen den Schluß zu, daß man unmittelbar nach dem Unfall dem Fehlverhalten des Betriebspersonals mehr Bedeutung beimaß, als ihm nach heutigen Erkenntnissen in der Tat zukam.

1992 erschien INSAG-7 [8], die überarbeitete Fassung von INSAG-1 [1].

Wesentliche Quellen neuer Informationen waren zwei 1991 unter der Leitung von Nicolai Shteynberg (State Committee for the Supervision of Nuclear Power, Ukrainian Republic) und Armen Abagyan (All-Union Research Institute for Nuclear Power Plant Operation, Russian Federation) erarbeitete Berichte, die im Anhang zu [8] enthalten sind.

Aus den Berichten wird deutlich, daß wesentliche für das Verhalten des Reaktors bestimmende Eigenschaften beim "Post-Accident Review Meeting" (25. - 29. August 1986 in Wien) nicht mitgeteilt wurden, dafür aber der Bedienungsmannschaft eine Reihe von Verstößen gegen Betriebsvorschriften angelastet wurde, die in Wirklichkeit gar nicht existieren. Nach diesen Erkenntnissen ist nicht mehr zu bestreiten, daß schwere Mängel in der Auslegung des Reaktorkerns und der Kernüberwachungssysteme die eigentlichen Ursachen für die Katastrophe waren [12]:

Positiver Scram-Effekt:

Es gilt heute als sicher, daß die die Leistungsexkursion auslösende Reaktivitätszufuhr durch das Einfahren der Abschalt- und Regelstäbe bewirkt wurde, da die Stäbe des RBMK-Reaktortyps infolge ihrer (fehlerhaften) Konstruktion beim Einfahren aus dem völlig gezogenen Zustand unter gewissen Umständen Reaktivität nicht binden, sondern freisetzen, so daß die Kettenreaktion nicht beendet, sondern beschleunigt wird. Dieser Effekt ist später als positiver Scram-Effekt bekannt geworden. Er hat seine Ursachen in der besonderen konstruktiven Gestaltung der Absorberelemente und ihrer Folgestäbe (vgl. Anlage 2.4) sowie in der axialen Leistungsdichteverteilung, die vor dem Unfall vorlag. Es wird daher heute als gesichertes Wissen betrachtet, daß paradoxerweise die Aktivierung der Reaktorabschaltung durch den Operateur die Katastrophe auslöste.

Die Existenz dieses Effektes wurde von den Sowjets erstmals bei der IAEA-Conference on Nuclear Power Performance and Safety 1987 zugegeben. Der positive Scram-Effekt wurde aber schon 1983, also drei Jahre vor Tschernobyl, bei der Inbetriebnahme der Anlage von Ignalina beobachtet, nachdem 1975 in Leningrad zum erstenmal Hinweise aus dem Betrieb auf die Gefahren lokaler Reaktivitätsstörungen vorlagen. Obwohl beide Ereignisse sowohl den Reaktorbetreibern, den Reaktorkonstrukteuren und der Genehmigungsbehörde bekannt waren, wurden sie ignoriert und der Bedienungsmannschaft nicht mitgeteilt; ihre sicherheitstechnische Relevanz wurde offenbar nicht verstanden, ein Zeichen fehlender Sicherheitskultur [6].

Operating Reactivity Margin (ORM)

Für den Langzeitbetrieb (Kompensation von Brennstoffverbrauch und Aufbau von neutronenabsorbierenden Isotopen aus der Kernspaltung), zur Leistungsregelung und zur Regelung der Leistungsdichteverteilung ist auch in Reaktoren mit kontinuierlicher Brennstoffbeschickung, wie in Tschernobyl, eine Überschußreaktivität vorzuhalten. In RBMK-Reaktoren - ähnlich wie in westlichen

Siedewasserreaktoren - wird sie durch teilweise eingefahrene Absorberelemente kompensiert. Diese Überschußreaktivität nennt man auch betriebliche Reaktivitätsreserve oder operative Reaktivitätsmarge (vgl. Anhang 2.3).

Um den Reaktor schnell genug abschalten zu können, muß aber sichergestellt werden, daß die Stäbe nur in solchen Kernbereichen verfahren werden, die bei Auslösung der Schnellabschaltung eine sofortige, hinreichend große Reaktivitätsbindung gewährleisten. Dies ist aus den oberen Kernpositionen nicht der Fall, vielmehr wird durch den beschriebenen positiven Scram-Effekt beim Einfahren der Stäbe aus diesen Positionen dem Kern Reaktivität zugeführt.

Bindende Vorschriften, die das völlige Ausfahren von Steuerstäben untersagten, oder Ausfahrbegrenzungen, wie sie in westlichen Reaktoren üblich sind, existierten zum Zeitpunkt des Unfalles nicht.

Betriebsvorschriften

Unmittelbar nach dem Unfall in Tschernobyl wurde von den russischen Verantwortlichen als Hauptursache für die Katastrophe das Fehlverhalten des Betriebspersonals genannt. Dies wurde mit dem Verstoß gegen Betriebsvorschriften oder willkürlichen Ad-hoc-Änderungen der Testspezifikationen während eines Versuches begründet.

Heute steht fest, daß es für einige wichtige "Verstöße" gar keine Vorschriften gab. Der längere Betrieb des Reaktors auf einer thermischen Leistung von weniger als 700 MW, der ganz erheblich zur Katastrophe beitrug, war in keiner Betriebsvorschrift ausgeschlossen. Auch der gleichzeitige Betrieb aller Hauptkühlmittelpumpen inklusive der beiden Reservepumpen, der in Verbindung mit der niedrigen Reaktorleistung den Reaktor thermohydraulisch in einen extrem instabilen Zustand versetzte, war nicht untersagt. Ebenso wenig die Unterdrückung der Anregungen für die Kernnotkühlsysteme und die Reaktorschnellabschaltung.

Ein unmittelbarer Verstoß gegen vorhandene Vorschriften war zweifellos das Unterschreiten der zulässigen minimalen operativen Reaktivitätsmarge (ORM) mit Regelstabpositionen, die zu einem überhöhten Dampfblasenkoeffizienten und nach Auslösung der Reaktorschnellabschaltung durch den Operateur infolge des Positiven "Scram-Effekts" zur Zerstörung des Kerns führten. Man muß dem Operateur zugute halten, daß er die sicherheitstechnische Relevanz der ORM-Limite nicht überblickte, zumal in den Betriebsvorschriften auch kein Hinweis darauf enthalten war, daß sie ein Indikator für das ordnungsgemäße Funktionieren des Schnellabschaltsystems wäre. Selbst in den Planungsunterlagen wird die ORM nicht als kritischer Parameter ausgewiesen, der im Reaktorschutzsystem zu überwachen sei.

5. Maßnahmen zur Verbesserung der RBMK-Reaktoren

Aufgrund der vorstehend beschriebenen Erkenntnisse waren die Ursachen für den Unfall eine Kombination von folgenden Fakten:

- das spezifische, auslegungsbedingte Reaktivitätsverhalten des Reaktorkerns,
- die konstruktive Gestaltung der Regel- und Abschaltstäbe,
- die Tatsache, daß der Reaktor in einem Leistungsbereich gefahren wurde, der weder durch die Betriebsvorschriften abgedeckt noch durch geeignete, unabhängige Störfallanalysen abgesichert war.

Die Katastrophe von Tschernobyl war somit nur zu einem geringen Teil auf menschliches Versagen im Bereich des Betriebspersonals zurückzuführen; sie ergab sich vielmehr aus Mängeln in der Reaktorauslegung. Dies bietet die Chance, durch gezielte Maßnahmen die Sicherheit der Anlagen so weit zu verbessern, daß eine Wiederholung der Katastrophe vermieden werden kann. Unmittelbar nach dem Unfall wurden daher von den Verantwortlichen sowohl administrative wie auch technische Maßnahmen ergriffen, die sich an dieser Zielsetzung orientieren [8], [9], [12].

Verwendete Quellen, weiterführende Literatur (Auswahl)

[1] Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident

Safety Series No. 75-INSAG-1; International Atomic Energy Agency, Vienna, 1986

Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl
Stand 06.06.1986; GRS - S - 39 (Juni 1986); ISBN 3-923875-11-8
Stand Oktober 1986; GRS - S - 40 (November 1986); ISBN 3-923875-13-4

J. Wolters, G. Breitbach, W. Kröger: Der sowjetische Druckröhren-Siedewasserreaktor;
Anlagenbeschreibung und erste Unfallbetrachtung; Atomwirtschaft Juni 1986, S 286 - 289

E. Hicken: Erste Auswertung des sowjetischen Berichtes
Atomwirtschaft, Oktober 1986, Seite,486 - 488

K. Kotthoff, U. Erven: Stand der Analysen des Tschernobyl-Unfalls
Atomwirtschaft, Januar 1987, Seite 32 - 37

[2] Bericht der Bundesregierung über den Reaktorunfall in Tschernobyl und seine
Konsequenzen auf die Bundesrepublik Deutschland.

Deutscher Bundestag - Drucksache 1016442 vom 12.11.1986

[3] K. Köberlein: Sicherheitsanalysen im Lichte von TMI und Tschernobyl

Atomwirtschaft, Mai 1987, Seite 237 - 243

[4] J. Wolters: Aufgetretene Unfälle mit Kernschäden; Ursachen, Ablauf und
Konsequenzen

Atomwirtschaft, Juni 1987, Seite 285 - 293

[51] S.A. Khan: The Chernobyl Source Term: A Critical Review

Nuclear Safety, Vol. 31, No. 3 (July-September 1990), Seite 353 - 374

[6] Safety Culture; Safety Series No. 75-INSAG-4

International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991

[7] Anatoly Dyatlov; How it was: an operator's perspective
Nuclear Engineering International, November 1991, S. 43 - 50

[8] The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1; Safety Series No. 75-INSAG-7

International Atomic Energy Agency, Vienna, 1992

Andrew Cruickshank: INSAG reconsiders the causes of Chernobyl

ATOM 427 March/April 1993, S. 44 - 47

James Varley: Who was to blame for Chernobyl - INSAG's second thoughts

Nuclear Engineering International, May 1993, S. 51 - 52

[9] V.A. Sidorenko: Situation und Entwicklungskonzept der Kernenergienutzung

Atomwirtschaft, August/September 1992, Seite 410 - 415

[10] Safety Assessment of Proposed Improvements to RBMK Nuclear Power Plants

Report of the IAEA Extrabudgetary Programme on the Safety of RBMK Nuclear
Power Plants

IAEA - Tecdoc - 694; International Atomic Energy Agency, Vienna, March 1993

S. Chakraborty, E. Knoglinger: Bericht über das IAEA-Consultant-Meeting on Safety Assessment

of Proposed Improvements of RBMK NPPs; 27. Oktober - 5. November 1992 in Wien

SVA-Bulletin Nr. 2/1993, S. 18 - 24

[11] Luis Ledermann, IAEA: Priorities for Safety Improvements of RBMK Reactors

Jahrestagung Kerntechnik'94, Stuttgart, 1994

[12] Ernst Knoglinger, Paul Scherrer Institut, Würenlingen: Ist Tschernobyl wirklich überall? Nachrüstung der sovjetischen Reaktoren; Neue Zürcher Zeitung, 15. Juni 1994

[13] E. Knoglinger, E.V. Burlakov, 1.A. Stenbock; RBMK Shut-down Systems

Atomwirtschaft, Mai 1995, Seite 319 - 323

[14] J.P.Weber, D. Reichenbach, J.M.Tschkashow: Sicherheitsfragen des RBMK
Atomwirtschaft, Mai 1995, Seite 314-319

Gesellschaft für Anlagen - und Reaktorsicherheit (GRS): Reaktorsicherheit in Osteuropa;
Vorträge auf dem 18. GRS-Fachgespräche in Garching, 24.11.1994
GRS-117, 153 Seiten, Februar 1995, ISBN 3-923875-67-3