

Der Brand im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Von H. R. Lutz, A. Schreiber, F. H. J. Weehuizen und W. Diener*

1. EINLEITUNG

Am 28. Juli 1971 brach abends kurz nach 21 Uhr im 20 km westlich von Bern gelegenen Kernkraftwerk Mühleberg (Bild 1 und 2) ein Turbinenölbrand aus, welcher Gesamtschäden im Betrage von schätzungsweise 20 Mill. sFr. verursachte und die in der 50%-Leistungsphase stehende Inbetriebnahme für zehn Monate verzögerte. Im vorliegenden Bericht, der in enger Zusammenarbeit zwischen dem Bauherrn BKW (Bernische Kraftwerke AG) und dem federführenden Partner des erstellenden Konsortiums (Brown, Boveri & Cie. AG, Baden) verfaßt wurde, wird eine umfassende Übersicht über Vorgeschichte, Unfallhergang, Brandbekämpfung, Schadenumfang, die gezogenen Lehren und Verbesserungsmaßnahmen gegeben. Die Schadenursachenabklärung, welche im Auftrag des Untersuchungsrichters und im Einverständnis der drei Beteiligten (Versicherung, Bauherr und Ersteller) vom Allianz-Zentrum für Technik in Ismaning durchgeführt wurde, ist an anderer Stelle detailliert beschrieben [1, 2].

Dank der guten Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Ersteller konnten die Schäden in relativ kurzer Zeit behoben werden. Ende März 1972 konnte mit der durch den Brand nicht direkt tangierten Turbogruppe A – die Anlage besteht aus einem Siedewasserreaktor von General Electric und zwei 162-MW-Turbosätzen von Brown, Boveri – der Leistungsbetrieb wiederaufgenommen werden. Nach Beendigung der Wiedermontage der Turbogruppe B und deren Wiederinbetriebnahme wird im Juli, als nächstfolgende Phase, der 75%-Leistungsschritt durchgeführt. Mit der Übernahme der Anlage kann im Oktober 1972, d. h., ein Jahr nach dem ursprünglich geplanten Termin, gerechnet werden.

2. PLANUNGSGESICHTSPUNKTE FÜR DEN FEUERSCHUTZ

Während zur Beschreibung der Anlage auf die detaillierten Veröffentlichungen [3 bis 8] verwiesen wird, sollen die Planungsgesichtspunkte für den Feuerschutz hier kurz zusammengefaßt werden:

Bereits zu Beginn der Planung wurde das Anlagenkonzept im Hinblick auf den Feuerschutz in Zusammenarbeit mit den zuständigen kantonalen Behörden festgelegt. Auf Basis der damals bestehenden Ansichten wurden die Feuerschutzeinrichtungen ausgelegt und von den zuständigen Behörden genehmigt.

Das Grundkonzept bei der Auslegung war:

- Die einzelnen Gebäude sind als unabhängige Brandabschnitte auszuführen.
- Die Kabel sind weitgehend in getrennten Kanälen zu verlegen, um Brandabschnitte mit relativ geringer

* Dr. H. R. Lutz und Dipl.-Ing. A. Schreiber, Bernische Kraftwerke AG, Betriebsabteilung Kernkraftwerk Mühleberg, Mühleberg/Schweiz.
Dipl.-Ing. F. H. J. Weehuizen und Dipl.-Ing. W. Diener, Brown, Boveri & Cie. AG, Baden/Schweiz.

Brandbelastung zu erhalten; Kabeldurchführungen sind zu schotten.

- Möglichst weitgehend sind PVC-Kabel zu verwenden.

Die Feuerschutzeinrichtungen sind wie folgt konzipiert: Durch Rauchgasmelder wird ein Brandausbruch so schnell signalisiert, daß das Feuer bereits in seinen Anfängen von der Feuerwehr bekämpft und dessen Ausbreitung verhindert werden kann. Die wichtigsten Einrichtungen und Ausrüstungen sind:

Etwa 180 Ionisationsmelder mit den betreffenden Sammelalarmen in verschiedenen Gruppen aufgeteilt.

Diese Melder sind über die ganze Anlage verteilt und insbesondere in Kabelkanälen und in Bereichen mit elektrischen Ausrüstungen bzw. brennbaren Medien konzentriert.

Löschwassersystem

Dieses System besteht aus einer Ringleitung mit Hydranten, von der auch die Brauchwasser- und Feuerlöschleitungen in den Gebäuden gespeist werden. Die Ringleitung steht unter dem Druck des etwa 80 m über dem Kraftwerksareal liegenden Hochreservoirs von 500 m³ Inhalt, das eine sichere Feuerlöschreserve von 300 m³ aufweist. Eine Pumpstation (mit zwei 100-prozentiger Pumpen) in der Nähe des Kraftwerkes fördert über einen Teil der Ringleitung in das Hochreservoir.

In den Gebäuden ist eine größere Anzahl Feuerlöschkästen (Wandkasten mit eingebauter Schlauchrolle und Löschrohr) vorhanden. Für die außerhalb des Maschinenhauses aufgestellten Transformatoren sind automatische Sprühflutanlagen installiert.

Trockenlöschgeräte, die an etwa 60 Stellen installiert sind.

Mobile Feuerwehrrampe.

Diverse Ausrüstungen wie Gasschutzgeräte usw.

3. VORGESCHICHTE

Die Bau- und Montagearbeiten der gesamten Anlage verliefen vom ersten Spatenstich an (1. April 1967) bis zur ersten Kritikalität (8. März 1971) ohne größere Schwierigkeiten und Terminverzögerungen. Nach Abschluß der Vorinbetriebnahmeprüfungen und der 25%-Leistungstests begannen am 18. Juli die Tests bei 50% der Nennleistung des Reaktors, was für die Turbinen die erstmalige volle Belastung bedeutete.

Am 28. Juli, 13 Uhr, konnte der Abschaltversuch mit Gruppe B bei 156 MW erfolgreich durchgeführt werden.

Als nächster Versuch war das erstmalige Parallelschalten beider Gruppen geplant, wobei durch Reduktion der Leistung an Gruppe B, die Turbine A komplementär zunehmend belastet worden wäre, so daß die bewilligten 50% Reaktorleistung nicht überschritten worden wären.

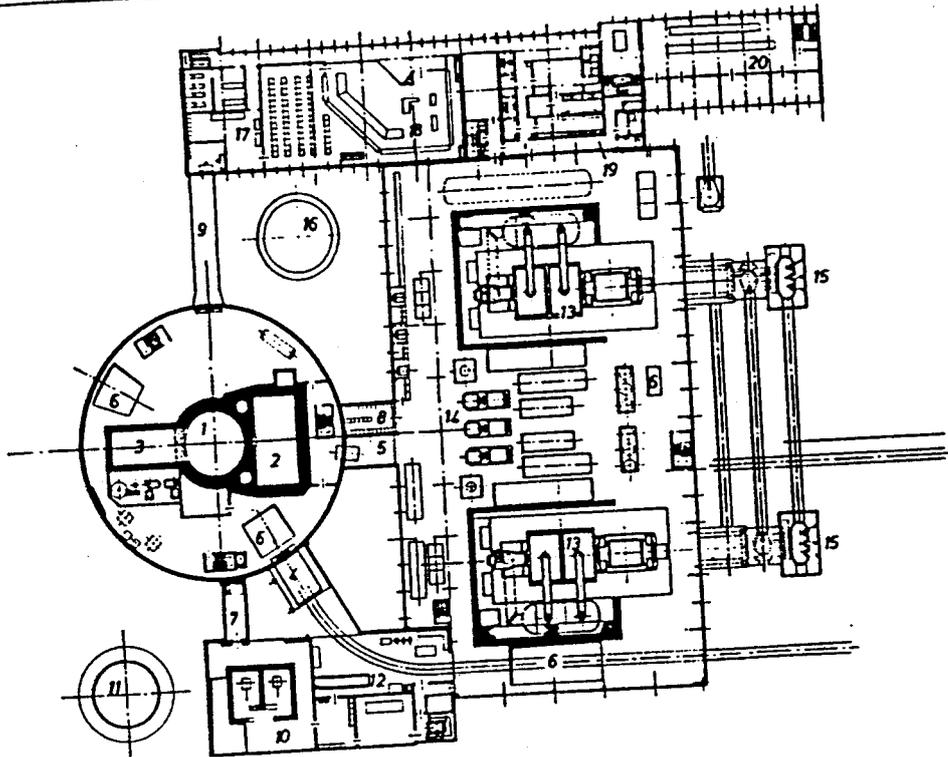


Bild 1. Grundriß der vier Hauptgebäude.

- | | | |
|---|--|------------------------------|
| 1 Reaktordruckgefäß | 8 Brücke für Rohrleitungen und Leistungskabel | 14 Reaktorspeisepumpen |
| 2 Brennelementlagerbecken | 9 Brücke für Steuer- und Meßkabel | 15 Haupttransformatoren |
| 3 Lagerbecken für Reaktoreinbauten | 10 Anlagen zur Behandlung radioaktiver Abfälle | 16 Kaltkondensatbehälter |
| 4 Materialschleuse | 11 Abluftkamin | 17 Computerraum |
| 5 Personalschleuse | 12 Dekontamination | 18 Kommandoraum |
| 6 Transportöffnung | 13 Turbogeneratorgruppen | 19 Wasch- und Umkleiraum |
| 7 Brücke für Rohrleitungen und Ventilationskanäle | | 20 Eigenbedarfsschaltanlagen |

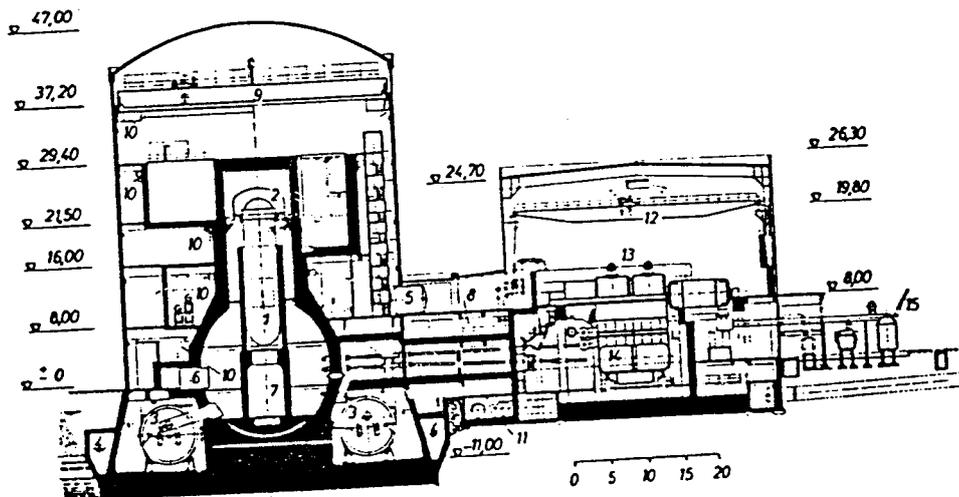


Bild 2. Querschnitt durch Reaktorgebäude und Maschinenhaus.

- | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------------|
| 1 Reaktordruckgefäß | 7 Steuerstabantriebe | 12 Maschinenhauskran |
| 2 Innere Druckkammer (Drywell) | 8 Brücke für Rohrleitungen und Leistungskabel | 13 Turbogeneratorgruppe |
| 3 Innerer Druckabbauring (Torus) | 9 Reaktorrundlaufkran | 14 Kondensator |
| 4 Äußerer Druckabbauring | 10 Ventilationskanäle für Reaktorgebäude | 15 Haupttransformator |
| 5 Personalschleuse zum Reaktorgebäude | 11 Kühlwasseraustrittsleitungen | |
| 6 Personalschleuse zum Drywell | | |

Kurz vor 21 Uhr dieses Tages versammelte sich eine stattliche Anzahl am Versuch Beteiligten und Beobachter im Kommandoraum, um dem geplanten Ereignis beizuwohnen. Die Turbine B war mittlerweile wieder mit einer Leistung von 150 MW am Netz. Bei dieser Leistung ist das dritte Regelventil annähernd voll geöffnet, während das vierte sich in der Nähe des Öffnungspunktes befindet. Die Isolationsventile in den beiden Frischdampfleitungen zur Gruppe A waren noch geschlossen. Etwa um 21 Uhr machte ein Monteur einen letzten Kontrollgang im Bereich der Kondensationsanlage, ohne dabei irgend etwas Abnormales festzustellen. Alle Anzeigen im Kommandoraum waren ebenfalls normal.

Mit Beginn um 21.15.40 Uhr spielten sich dann die im folgenden Abschnitt beschriebenen Ereignisse ab.

4. BRANDAUSBRUCH

Um 21.15.40 Uhr wurde an Gruppe B ein Alarm „Steueröldruck tief“ ausgelöst, unmittelbar gefolgt von einer leichten Erhöhung des Reaktordruckes. Dieser Druckanstieg wurde vorerst als Folge einer Störung des betreffenden Vordruckreglers gedeutet, weil die Einstellarbeiten am Regler noch nicht abgeschlossen waren und derartige Transienten schon wiederholt beobachtet worden waren. Ein ins Maschinenhaus geschickter Monteur meldete kurze Zeit später starke Rauchentwicklung in diesem Gebäude.

Etwa 45 s nach dem Alarm erfolgte völlig unerwartet ein Schnellschluß der Gruppe B mit gleichzeitiger Abschaltung des Generators und der Erregung und mit Vakuumbrechen. Kurz darauf folgten nacheinander ein Teilschram, d. h. das Einfahren von gewissen vorgewählten Steuerstäben, ein Reaktorschram und das Ansprechen der Abblaseventile.

Wegen der großen Anzahl der nach dem Schnellschluß ausgelösten Alarme – 20 innerhalb den ersten 5 s bzw. 80 innerhalb der ersten Minute – war es für das Betriebspersonal unmöglich, die Vorgänge unmittelbar richtig zu deuten, um so mehr, als bereits nach etwa 1,5 min die ersten Fehlalarme und Fehlanzeigen auftraten. Insbesondere der plötzliche Abfall des angezeigten Wasserstoffdruckes im Generator B ließ befürchten, daß erhebliche Mengen Wasserstoff ausgetrieben waren. Unmittelbar darauf traf die Meldung ein, daß im Maschinenhaus eine Explosion stattgefunden habe. Diese wurde als Knallgasexplosion gedeutet; andere Ursachen schienen undenkbar für ein solches Ereignis. Dadurch wurde die Lokalisierung eines gemeldeten Feuers im Bereich der Gruppe B erschwert.

Praktisch unmittelbar nach dem Reaktorschram wurde vom Reaktoroperateur eines der beiden RCIC-Systeme (Kernisolations-Kühlsystem zur Sicherstellung der Kernkühlung bei abgeschaltetem, isoliertem Reaktor und zum Abführen der von der Nachzerfallswärme erzeugten Dampfes) angefahren zur Druckabsenkung im Reaktor. Später übernahm dieses System auch die Speisewasserversorgung, nachdem die Speisepumpe B abgestellt worden war.

Nach dem Unfall wurde eine detaillierte Auswertung der Ereignisse durchgeführt. Diese erfolgte an Hand folgenden Registrierungen:

Zeitfolgemelder A und B,

Störschreiber der Turbogruppen A und B,

Spezialrecorder für dynamische Analyse der Anfahrversuche (dieser Recorder war eingeschaltet für die Versuche während dem geplanten ersten Parallelbetrieb der Vordruckregler),

normale Betriebsregistrierinstrumente.

Außerdem wurden die Eintragungen im Schichtbuch verwertet.

Mit diesen Unterlagen war es möglich, den chronologischen Ablauf der Ereignisse im Detail zu rekonstruieren. In der Tafel 1 sind die wichtigsten, während der ersten 2 min ausgedruckten Alarme zusammengefaßt. Während dieser Periode wurden die Auswirkungen der Störung von den Schutzsystemen der Turbogruppe B und des Reaktors automatisch abgefangen.

Wie im Abschnitt 8 beschrieben, wurde der Brand eindeutig verursacht durch das Ausströmen von Öl aus dem Steuerölsystem der Turbogruppe B. Das Lösen der Rohrverschraubung am Anschluß der Kraftölleitung am Servomotor des dritten Regelventils (Bild 5) verursachte den plötzlichen Abfall des Kraftöldruckes.

Der Zeitpunkt der Zündung des ausgeströmten Öles fiel vermutlich ungefähr zusammen mit dem Ausfall der Maschinenhauslüftung infolge von Überdruck, etwa 8,5 s nach dem Schnellschluß.

Der erste Rauchmelder (Ionisationsmelder) sprach erst etwa 10 s später an; allerdings waren im Bereich unterhalb der Turbogruppe keine solche Melder installiert.

Es konnte nicht geklärt werden, warum im Zeitpunkt 21.16.26 Uhr kein direkter, von der Schnellentlastung der Turbogruppe angeregter Vollschram stattfand.

Diese Störung war jedoch für die Sicherheit ohne Bedeutung, weil infolge des Teilschrams der Neutronenfluß, trotz des durch das Versagen des Bypasses verursachten raschen Druckanstieges auf etwa 78 kp/cm², nur einen Maximalwert von 59% erreichte, damit also wesentlich unter dem auf 95% eingestellten Schramwert blieb.

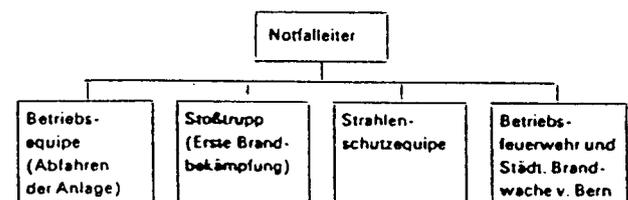
Alle automatischen Schutzvorrichtungen der Turbogruppe und des Reaktors haben einwandfrei funktioniert, und es traten keine unzulässigen Betriebszustände auf. Lediglich der Bypass konnte wegen des Druckverlustes im Ölsystem nicht mehr öffnen.

Zu erwähnen ist noch, daß sich zur Zeit des Brandausbruches zufälligerweise keine Personen im Maschinenhaus aufhielten.

5. NOTFALLORGANISATION, AUSBREITUNG UND BEKÄMPFUNG DES BRANDES, STRAHLENSCHUTZ

5.1. Notfallorganisation

Das Betriebsreglement des KKM definiert jeden Brand als Notfall, bei dem die Notfallorganisation zum Spieren kommt. Sie hat grundsätzlich folgenden Aufbau:



Tafel 1. Zusammenstellung der wichtigsten Alarme während der ersten 2 min.

Zeit h, min, s	Alarm	Ursache	Folgen	Bemerkungen
21.15.40,8	Steueröldruck minimal	Steueröl $\leq 15 \text{ kp/cm}^2$	Automatischer Anlauf der Hilfspumpe	Drittes Regelventil schließt, viertes Ventil öffnet. Frischdampfmenge vorübergehend um 180 t/h reduziert. Reaktordruck bleibend $1,4 \text{ kp/cm}^2$ erhöht (P-Bereich Vordruckregler), vorübergehend $1,8 \text{ kp/cm}^2$.
21.16.25,2	Niveau Ölbehälter tief	Ölverlust von etwa 250 l	Rückschub in Turbomatprogramm: Turbinenschnellschluß, Abschaltung von Generator und Erregung, Vakuumbrechen	Normalerweise sollte Bypass öffnen. Endkontakt meldet Anfang vom Öffnen, jedoch Frischdampfmenge nach 3 s auf Null zurückgegangen
21.16.25,4	Teils scram	Schnellentlastung wegen Schnellschluß der Turbine	Gewisse vorgewählte Steuerstäbe werden vollständig eingefahren	Normalerscheinung bei Schnellschluß
21.16.26,0	Scram Kanal B (Reaktorschutzsystem)	Wie Teils scram, bei Versagen bzw. Wiederschließen des Bypasses	Einer der beiden Kanäle des Reaktorschutzsystems entragt („halber“ Scram)	Es hätte ein Vollscram (Kanäle A und B) stattfinden sollen
21.16.26,4	Scram Kanal A	Reaktordruck $\geq 74,2 \text{ kp/cm}^2$	Alle Steuerstäbe werden vollständig eingefahren	
21.16.27,1	Reaktorabblaseventil(e) erregt	Reaktordruck $\geq 75,8 \text{ kp/cm}^2$	Überschüssiger Dampf wird in das Wasser des Torus abgelassen	Auf Grund der erreichten Druckspitze von 78 kp/cm^2 und des anschließenden Druckgradienten, war festzustellen, daß mindestens zwei, eventuell kurzzeitig alle drei Ventile angesprochen haben
21.16.33,7	Lüftung Maschinenhaus aus	Überdruck von $> 5 \text{ mm WS}$ im Maschinenhaus; wahrscheinlich infolge Zündung des ausgeströmten Öles	Zu- und Abluft des MH automatisch aus	Fensterscheiben ausgebrochen, Tor aufgesprengt
21.16.38,7	Reaktorniveau tief (Scramniveau)	Reaktorscram, starkes Abblasen von Dampf	Isolation gewisser Reaktor-Hilfssysteme sowie des Reaktorgebäudes. Automatischer Start des Notabluftsystems B	Notabluftsystem B war vorgewählt worden
21.16.43,3	Feuermelder angesprochen	Rauchentwicklung		Unbekannt welcher Melder, vermutlich im Anbau des Maschinenhauses über Ölbehälter
21.16.45,0 bis 21.17.48,8	Erste Fehlalarme (Öltemperaturen, H_2 -Druck)	Vermutlich Zerstörung von Steuerkabeln und/oder deren Anschlüsse	Es wurde eine H_2 -Explosion befürchtet	Nach dem Brand war H_2 -Druck im Generator in Ordnung, eine Dichtölpumpe blieb dauernd in Betrieb wegen räumlich getrennter Anspeisung
21.17.32,3	Niveau Ölbehälter minimal	Verlust von etwa 430 l Öl seit Alarm Niveau tief		Totaler Ölverlust nach dem Brand etwa 2200 l

Der Notfalleiter ist entweder ein Mitglied der Kraftwerksleitung oder ein sogenannter Pickettingenieur, welcher jeweils für eine Woche seinen Dienst versieht und in dieser Eigenschaft jederzeit erreichbar sein muß. Im Brandfall vom 28. Juli übernahm der im Kommandoanwesen Stellvertreter des Betriebsleiters diese Funktion. Seine Aufgaben laut Pflichtenheft lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Koordination sämtlicher Aktionen im Notfall.
- Vertretung der Kraftwerksleitung nach außen (Presse).
- Entscheidungen über Alarmierung von Behörden.

Tritt ein Notfall während der Nacht mit normaler Schichtbesetzung auf, so übernimmt der Schichtchef bis zum Eintreffen des Pickettingenieurs die Aufgabe des Notfalleiters.

Die Betriebsequipe (Schichtchef, Operateur und ein Mann) sind für das „In-sicheren-Zustand-Fahren“ der Anlage verantwortlich. Dazu gehört insbesondere das ordnungsgemäße Abfahren des Reaktors.

Der Stoßtrupp wird aus drei Mann des Schichtpersonals gebildet. Er rekonozziert vor Ort, birgt eventuell Verletzte, organisiert die erste Brandbekämpfung und nimmt erste Strahlenmessungen vor.

Die Strahlenschutzsequipe muß alarmiert werden. Sie nimmt die notwendigen Messungen vor, ist besorgt für Absperrungen und Personenkontrolle.

Die Betriebsfeuerwehr rekrutiert sich aus weiterem Schicht- und Werkstattpersonal und wird wie die Städtische Brandwache telefonisch alarmiert. Unter dem Kommando des Feuerwehrkommandanten werden die Löscharbeiten koordiniert.

5.2. Ausbreitung des Brandes und Brandbekämpfung

Kurz nach dem Reaktorscram um 21.16 Uhr wurde im Hauptkommandoanraum die telefonische Brandmeldung eines Maschinisten empfangen. Dieser spürte im Nebenkommandoanraum des Aufbereitungsgebäudes, das an das Maschinenhaus anschließt (Bild 3), die durch den explosionsartigen Brandbeginn ausgelöste Druckwelle. Er lief ins Maschinenhaus und stellte Feuer im Bereich der Turbogruppe B fest.

Die sofort einsetzende Überprüfung, ob sich noch Personen im Maschinenhaus befinden, war dadurch erschwert, daß sich noch einige des zahlreichen Montagepersonals nach den Unterlagen am Zugang zur kontrollierten Zone im Maschinenhaus befinden mußten. Schließ-

lich konnte festgestellt werden, daß glücklicherweise keine Personen im Maschinenhaus waren.

Um 21.19 Uhr wurde die Berufsfeuerwehr Bern, mit der ein Vertrag abgeschlossen war und die sich schon an einer Notfallübung im Kraftwerk beteiligt hatte, alarmiert. Sie war um 21.43 Uhr an Ort und Stelle.

Weiterhin wurde die Feuerwehr Mühlberg und der Strahlenschutz des Kraftwerkes angefordert.

Ein Stoßtrupp der Betriebsequipe, der um 21.24 Uhr mit Gasschutzausrüstung ins völlig verqualmte und dunkle Maschinenhaus eindrang, meldete starke Rauchentwicklung bei der Turbogruppe B. Die Verglasung des Maschinenhauses war im Bereich der Turbogruppe B durch die Explosion zerstört, das große Maschinenhaustor aufgesprungen.

Wie in Abschnitt 4 angedeutet, wurde zunächst angenommen, daß eine Knallgasexplosion vorlag. Die Berufsfeuerwehr und die Betriebsfeuerwehr bekämpften zuerst den Brand des Maschinenhausdaches und kühlten das Innere des Maschinenhauses durch Einspritzen von Wasser durch die geborstenen Lichtbänder. Der Chef der Sektion für Sicherheit von Atomanlagen wurde um 21.46 Uhr von dem Brand informiert.

Die im Bereich des Feuers befindlichen Motor-Generatorsätze (Bild 3) für die Reaktorwärmepumpen wurden außer Betrieb genommen, die Nachspeiseventile an den Wasserstoffflaschenbatterien wurden geschlossen, der Maschinentransformator B wurde freigeschaltet und geredet.

Parallel zu diesen ersten Aktionen wurde weiteres Betriebspersonal aufgebeten. Das naheliegende Wasserkraftwerk wurde ebenfalls um Unterstützung durch Personal mit Gasschutz gebeten. Um 21.53 Uhr drang die Berufsfeuerwehr in das Maschinenhaus ein und lokalisierte den Brandherd im Bereich der Hochdruckturbine B. Später kamen Meldungen von Bränden unter der Turbine B. Über den Notausgang des Aufbereitungsgebäudes wurde der Hauptbrandherd unter der Turbine mit Wasserdampf angegangen und rasch unter Kontrolle gebracht.

Um die sehr schlechten Sichtverhältnisse im Maschinenhaus zu verbessern, wurden um 22.43 Uhr die Abluftventilatoren für das Maschinenhaus eingeschaltet. Kurz darauf wurde Rauchentwicklung am Turbinenölbehälter B und um 22.50 Uhr Brand an diesem Behälter gemeldet. Darauf erhielt die Feuerwehr den Auftrag, den Ölbehälter mit Schaum abzudecken. Die Abluftanlage wurde wegen der gemeldeten offenen Flammen wieder außer Betrieb genommen. Später stellte sich heraus, daß der Brand des Ölbehälters eine Falschmeldung war. Wegen der äußerst schlechten örtlichen Sichtverhältnisse wurde erst jetzt klar, daß der Brand auf den Kabelkanal auf Kote 4 m des Maschinenhauses übergreifen hatte: Nicht der Ölbehälter, sondern die Kabeltrassen über dem Ölbehälter brannten (Bild 3). Der Brand wurde nun von Süden über den Notausgang des Maschinenhauses und von Norden über das Betriebsgebäude mit Wasserdampf und Geringerschauung gelöscht. Daneben wurden, allerdings mit geringem Erfolg, Handstaublöcher eingesetzt. Gegen 23.25 Uhr war der Brand im Kabelkanal unter Kontrolle.

Bild 3 macht die Ausbreitung des Brandes deutlich. Das brennende Öl unter der Turbine setzte die beiden unterhalb der Turbine parallel zur Turbinenachse verlaufenden

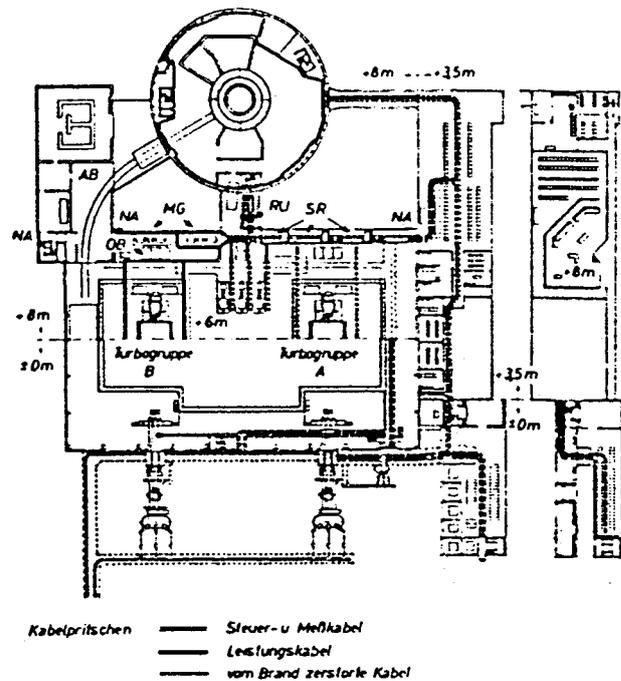


Bild 3. Kabelverlegungen.

NA = Notausgang
AB = Aufbereitungsgebäude
MG = Motor-Generatorsätze für die Reaktorwärmepumpen
SR = Elektronikschränke für die Speisepumpenregelung
RU = Reaktorunterverteilung

Kabeltrassen in Brand. Durch die Mauerdurchführungen gelangte das Feuer auf die Trassen des Kabelkanals im Maschinenhausanbau. Der Beginn des Überganges auf den Kabelkanal könnte mit den um 22.20 Uhr sich wiederholenden Alarmen „Aerosol Kamin hoch“ und „Aerosol Kamin Messung Störung“ in Verbindung gebracht werden. Die ab 22.44 Uhr einsetzenden Alarme der stehenden MG-Gruppe und andere Störmeldungen sind mit Sicherheit durch den Brand ausgelöst worden. Die verbrannten Kabeltrassen sind in Bild 3 gekennzeichnet. Es gelang, den Brand ungefähr in der Mittelachse des Maschinenhauses zu stoppen, kurz bevor er auf die zum Reaktorgebäude führenden Kabel übergreifen konnte. Bild 4 zeigt im Modell die räumliche Situation des Maschinenhauses mit dem Anbau.

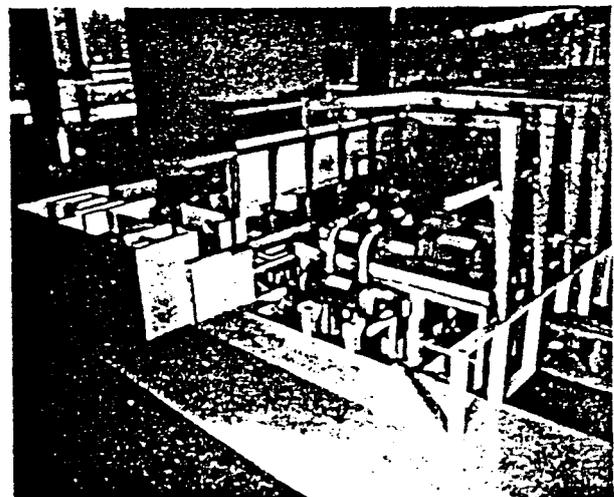


Bild 4. Modell des Maschinenhauses.

Tafel 2. Wichtigste Ereignisse beim Abfahren der Anlage.

Zeit h, min	Ereignis	Bemerkungen
etwa 21.17	RCIC-System A angefahren	Druckentlastung des Reaktors und Sicherstellung des Reaktorniveaus
21.18	Speisepumpe B abgestellt RCIC-System B angefahren	Um Überspeisung des Druckgefäßes zu vermeiden Allmähliche Druckentlastung. Der vom Reaktor erzeugte Dampf wird über die RCIC-Turbinen in den Torus abgeführt. Das Reaktorniveau wird mit den RCIC-Pumpen aufrechterhalten. Die übrige Zeit wird in den Kalt-kondensatbehälter zurückgefördert.
21.21	Frischdampfisolationsventile zur Turbine B geschlossen	Isolation des Reaktors von Turbine B (Ventile zu Gruppe A waren noch geschlossen)
21.44	Reaktor-Umwälzpumpen und Motorgeneratorgruppen abgestellt	Um in der Nähe des Brandherdes keine Anlagen mehr in Betrieb zu haben
21.48	Ventile in Wasserstoffanspeisung zum Generator B geschlossen	Um Nachströmen von Wasserstoff aus den Vorratsflaschen zu verhindern
21.56	6-kV-Eigenbedarfsschiene F der Gruppe B spannungsfrei geschaltet	Um Löscharbeiten im Bereich der Turbogruppe B nicht zu gefährden
..	Automatische Zuschaltung der 16-kV-Einspeisung C 2 vom Wasserkraftwerk auf 380 V Reaktorhauptverteilung M 21	Notstromversorgung von Wasserkraftwerk Mühleberg sichergestellt
22.09	220-kV-Seite der Gruppe B geerdet	
22.44	Große Anzahl Alarme von Motorgeneratorgruppe A	Feuer im Anbau des Maschinenhauses hat Steuerschränke der MG-Gruppen erreicht
etwa 23.00	Ausfall folgender Systeme: - Notabluft B - Kühlwassersystem Reaktorgebäude - Kühlwassersystem Maschinenhaus - Drywellventilatoren - Druckluftkompressoren	Als Folge der Brandausbreitung im Anbau des Maschinenhauses. Notabluftsystem A ebenfalls nicht mehr verfügbar
23.17	Abblaseventil erstmals betätigt	Um Reaktordruck möglichst schnell auf Betriebsdruck des Kernsprüh-systems zu reduzieren
23.26 bis 23.53	Regelmäßiges Abblasen mit beiden RCIC-Systemen im Betrieb	Reaktordruck in dieser Periode von 48 auf 17 kp/cm ² abgebaut
etwa 24.00	Toruskühlsystem B angefahren 16minütiger Probelauf des Dieselgenerators und der beiden Kernsprüh-systeme	Um Temperatur des Wassers im Torus zu reduzieren Zwecks Kontrolle der Verfügbarkeit der Notstromversorgung und der Kernnotkühlung. Kernsprüh-system wälzt Toruswasser um
00.15 bis 01.15	Folgende Systeme wieder zugeschaltet: - Kühlwassersystem A, Reaktorgebäude - Kühlwassersystem A, Maschinenhaus - Druckluftkompressor B	Manuelles Einschalten durch Überbrücken der Verriegelungen in der 380-V-Reaktor-Unterverteilung (fehlerhafte Minimalspannungsauslösung)
06.00	Bei 5 kp/cm ² Reaktordruck Abfahrkühlsystem zugeschaltet und Toruskühlsystem abgestellt	Zum Abführen der Nachwärme des Reaktors an das Hilfskühlwasser-system (normaler Vorgang bei jedem Abstellen des Reaktors)
07.00	Beide RCIC-Systeme abgestellt	
10.05	Reaktordruckgefäß entlüftet	

5.3. Strahlenschutz

Nach Schließen der Isolationsventile in den Frischdampfleitungen um 21.21 Uhr fiel der im Bereich der Turbine B vorhandene Strahlenpegel innerhalb weniger Minuten auf vernachlässigbare Werte.

Die Strahlenschutzkontrolle der ins Maschinenhaus eingedrungenen Personen zeigte zudem keine nennenswerte Kontamination. Sie wurde deshalb an den Kraftwerkeingang verlegt. Wegen des um 21.56 Uhr ausgelösten Alarms „Aerosolaktivität Kamin hoch“ wurden die Probenfilter der Kaminabluft ausgemessen. Die Auswertung ergab praktisch keine erhöhte Aktivitätsabgabe.

Das bei den Löschkaktionen ins Maschinenhaus gespritzte Fluß- und Trinkwasser wurde via Maschinenhaussumpf in den Gebäudeabwasserstrang geleitet und in den entsprechenden Auffangbehältern gesammelt. Die ausgewerteten Proben zeigten auch hier keinerlei Aktivitäten, die eine Aufarbeitung des Wassers notwendig gemacht hätten.

6. ABFAHREN DER ANLAGE, VERFÜGBARKEIT DER SICHERHEITS- UND HILFSSYSTEME

Nachdem die Auswirkungen der Störung in der in Abschnitt 4 beschriebenen Weise primär abgefangen worden waren, wurde das nukleare Dampferzeugungssystem vom Betriebspersonal vom Kommandoraum nach einem vorbestimmten Programm in den kalten Zustand gebracht. Dieser Zustand läßt sich wie folgt definieren:

- Reaktor isoliert, alle Steuerstäbe vollständig in den Kern eingefahren.
- Reaktorwassertemperatur <100°C.
- Ausreichendes Wasserniveau im Druckgefäß.

Dazu kommen die für den Normalbetrieb erforderlichen Sicherheitseinrichtungen, z. B. Notstromversorgung, Instrumentierung und Steuerung.

Wegen des Brandes im Maschinenhaus mußten folgende zusätzliche Bedingungen erfüllt werden:

- d) Gewisse elektrische Anlagen spannungsfrei geschaltet, um die Löscharbeiten im vom Brand betroffenen Bereich nicht zu gefährden.
- e) Reaktorgebäude isoliert, um das Eindringen von Rauchgasen zu verhindern, demzufolge Notabluftsystem im Betrieb.

Tafel 2 zeigt die wichtigsten Maßnahmen zur Sicherstellung der Anlage.

Der Abfahrvorgang des nuklearen Dampferzeugersystems läßt sich in vier Perioden unterteilen:

- Erste 30 min bis zum Abstellen der Reaktorumwälzpumpen. Die Druckreduktion betrug etwa 11 kp/cm². Die Temperaturgradienten waren vernachlässigbar klein.
- Nächste eine bis anderthalb Stunden bis zur eindeutigen Lokalisierung der Ausbreitung des Feuers auf die Kabeltrassen im Anbau des Maschinenhauses. Der Druck wurde allmählich bis etwa 48 kp/cm² abgebaut. Die größten Temperaturgradienten im Metall des Druckgefäßes wurden an der unteren Kugelschale registriert, was durch die Einspeisung von kaltem Kondensat verursacht wurde, insbesondere entlang den Durchführungen der Steuerstäbe. Im Intervall von 232 bis 100°C wurde ein maximaler Gradient von 167°C/h gemessen.
- Eine Periode von 27 min, gekennzeichnet durch periodisches Anregen der Abblaseventile. Die Ausbreitung des Feuers in den Anbau ließ es ratsam erscheinen, den Reaktordruck möglichst schnell auf den Betriebsdruck des Kernsprühsystems zu reduzieren. Der Druck wurde von 48 auf 17 kp/cm² abgebaut, die Reduktion der Wandtemperatur des Gefäßes betrug 65°C bei einem maximalen zehnminütigen Gradienten von 150°C/h.
- Langsame Druck- und Temperaturabnahme, bis etwa 8,45 h nach dem Brandausbruch das Abfahrkühlsystem bei 5 kp/cm² Reaktordruck in Betrieb genommen wurde.

Bei diesem zum Teil forcierten Abfahrvorgang lagen die Temperaturgradienten erheblich unter den für die Auslegung des Druckgefäßes zugrunde gelegten Werten, so daß auch keine unzulässige Materialspannungen aufgetreten sind.

Zur Sicherstellung der Kernkühlung waren beide RCIC-Systeme dauernd verfügbar, obwohl eines von beiden Systemen für diesen Zweck ausgereicht hätte. Zum Abführen der in das Toruswasser abgeführten Wärme blieben ein Subsystem des Toruskühlsystems und beide Subsysteme des Hilfskühlwassersystems dauernd verfügbar. Die beim praktisch drucklos gefahrenen Reaktor noch anfallende Nachzerfallswärme konnte problemlos mit den Abfahr- und Hilfskühlwassersystemen abgeführt werden.

Als zusätzliche Reserve war die Kernnotkühlung mittels Druckentlastung durch die Abblaseventile und Kernsprühen inklusive Fernsteuerung vom Kommandoraum jederzeit verfügbar.

Obschon die Speisepumpen nicht verfügbar waren, war die Kühlung des Kerns mit mehreren redundanten Systemen ununterbrochen sichergestellt. Eine Analyse hat gezeigt, daß der Abfahrvorgang grundsätzlich in gleicher

Weise stattgefunden hätte, auch wenn der Reaktor während längerer Zeit mit Vollast betrieben worden wäre.

Wie aus Tafel 2 hervorgeht, fiel eine Anzahl Hilfssysteme vorübergehend aus, was sich zwar störend auswirkte, jedoch den sicheren Zustand der Anlage nicht beeinträchtigte.

Diese Ausfälle wurden verursacht durch die Ausbreitung des Feuers entlang den auf etwa 4 m im Anbau des Maschinenhauses verlegten Kabeltrassen. Dieser Kabelbrand konnte erst kurz vor der Abzweigung der Trassen zum Reaktorgebäude unter Kontrolle gebracht werden. Er hatte Folgen für eine Anzahl Hilfssysteme, insbesondere auch, weil zwei der sechs oberhalb der Kabelkanäle aufgestellten 380-V-Reaktor-Unterverteilungen ausfielen. Als Folge der elektrischen und räumlichen Trennung der beiden elektrischen „Kanäle“ blieb jedoch, mit Ausnahme des Notabluftsystems und der Aktivitätsüberwachung, immer mindestens je ein Subsystem der aus jeweils zwei redundanten Subsystemen aufgebauten Sicherheitssystemen verfügbar. Der Zustand dieser Systeme ist in Tafel 3 zusammengestellt.

Der totale Ausfall des Notabluftsystems war im vorliegenden Fall ohne Bedeutung, weil die Aerosolkontamination der Reaktorgebäudeatmosphäre trotz der vollständigen Isolation dieses Gebäudes sehr bescheiden blieb und die Kontrollgänge in keiner Weise behinderte. Um etwa 23 Uhr wurde das Gebäude zum ersten Mal begangen und in Ordnung gemeldet.

Der Ausfall des Subsystems B der Notabluftanlage wurde verursacht durch die fehlerhafte Aufschaltung einer Hilfsspannung für die Minimalspannungsauslösung. System A fiel aus durch den Verlust der Unterverteilung.

Dieselbe fehlerhafte Schaltung führte zum totalen Ausfall der geschlossenen Kühlwassersysteme im Reaktorgebäude bzw. im Maschinenhaus, sämtlicher vier Drywell-Umluftventilatoren sowie der drei Druckluftkompressoren. Wie Tafel 2 zeigt, konnten die Kühlwassersysteme und ein Kompressor kurz nach Mitternacht wieder in Betrieb genommen werden.

Der Ausfall dieser Systeme, die auch gemäß Auslegung in Unfallsituationen nicht verfügbar sein müssen, hatte keine Folgen für die Sicherheit der Anlage. Der Ausfall der Drywellumluft verursachte relativ hohe Temperaturen im oberen zylindrischen Teil des Drywells. Ausrüstungen wurden dabei jedoch nicht beschädigt. In diesem Bereich waren durchweg temperaturbeständige Pyrotex-Kabel verwendet worden. Die fehlerhafte Schaltung wurde bei der Wiederherstellung abgeändert.

Die Konsequenzen vom Ausfall der Aktivitätsüberwachung sind in Abschnitt 5 beschrieben worden. Die Kabelverlegung wurde bei der Wiederherstellung abgeändert.

Vom Kabelbrand wurden insbesondere noch folgende wichtige Hilfssysteme betroffen:

Speisewassersystem durch Ausfall der drei unsynchronen Stromrichteraskaden. (Die Auslegungskriterien schreiben vor, daß die HD-Not einspeisung nur bei Betrieb mit einem Reaktordruck > 7 kp/cm² verfügbar sein muß.)

Steuerungen der Motor-Generatorgruppen der Reaktorumwälzpumpen. Für die Sicherheit ohne Bedeutung.

Tafel 3. Übersicht über Betriebszustand der wichtigsten Sicherheitssysteme.

System	Zustand	Bemerkungen
Reaktorinstrumentierung	Vollbetriebsfähig	Verkabelung über Kabelbrücke
Abblaseventile	Vollbetriebsfähig	Verkabelung über Kabelbrücke
Isolationsventile und Isolationslogik	Vollbetriebsfähig mit Ausnahme einer Entwässerung	Entwässerung wurde von Hand geschlossen bei Kontrollgang durch das Reaktorgebäude
Reaktorschutzsystem	Vollbetriebsfähig	Verkabelung über Kabelbrücke
Toruskühlsystem	Eines der beiden Subsysteme ausgefallen Zweites System vollbetriebsfähig	Durch Verlust der Reaktorunterverteilung
Abfahrkühlsystem	Vollbetriebsfähig	
Hilfskühlwassersystem	Vollbetriebsfähig	
Vergiftungssystem	Ein Subsystem ausgefallen, zweites System vollbetriebsfähig	Durch Verlust der Reaktorunterverteilung
RCIC-System	Vollbetriebsfähig	Autarkes System, Hilfsbetriebe nur Gleichstrom
Kernsprühsystem	Vollbetriebsfähig, mit Ausnahme der Fernsteuerung einiger Schieber des A-Systems	Systeme wurden in Probetrieb geprüft (Tafel 2)
Kondensat- und Speisewassersystem (für HD-Notinspeisung)	Zunächst verfügbar, später jedoch vollständig ausgefallen	Speisewassersystem B etwa 2 min nach Feuer- ausbruch von Hand abgestellt (Tafel 1) Später Ausfall der drei Stromrichteraskaden durch Rauchgase
Notabluftsystem	Subsystem B zunächst in Betrieb, dann ausgefallen und A nicht mehr verfügbar	B ausgefallen durch Verlust der Hilfsspannung, A durch Ausfall der Reaktorunterverteilung
Dieselgenerator	Betriebsfähig, vom Brand nicht betroffen, abgesehen von einigen Hilfsbetrieben	Gruppe absolvierte Probelauf (Tafel 2)
Aktivitätsüberwachung Kaminabluft	Beide Meßkanäle ausgefallen	Fehlerhafte gemeinsame Verlegung der Kabel (ohne Bedeutung für die Sicherheit)
Aktivitätsüberwachung Hilfskühlwasseraustritt	Ausgefallen	Zerstörung des Kabels Ausgemessene Proben zeigten keine Aktivität

Hauptventilationssysteme für Reaktor- und Aufbereitungsgebäude sowie für das Maschinenhaus. Der Ausfall des letzten Systems wirkte sich nach dem Brand möglicherweise nachteilig aus, weil die aggressiven Gase nicht abgesaugt werden konnten.

Wie aus Tafel 2 auch hervorgeht, blieb die Notstromversorgung dauernd gesichert, und zwar sowohl vom Wasserkraftwerk als auch vom Dieselgenerator. Auch die 24-V- und 125-V-Gleichstromversorgung der benötigten Systeme wurde nicht betroffen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß infolge der konsequenten Anwendung des „Ein-Fehler-Kriteriums“ bei der Auslegung [4, 5], wonach alle Schutzsysteme zweikanalig ausgeführt wurden, die Sicherheit der nuklearen Anlage nie gefährdet war.

7. SCHADENUMFANG

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, beläuft sich der Gesamtschaden auf schätzungsweise 20 Mill. sFr. Eine grobe Aufschlüsselung zeigt folgendes Bild:

Reinigungsarbeiten	10%
Gebäude	22%
Elektrisch (Montage und Material)	25%
Mechanisch (Material, Revision und Montage)	33%
Planung und Leitung (einschließlich GE-Inbetriebnahme-equippe)	10%

Diese Summe wird von der Sachschadenversicherung gedeckt.

In Tafel 4 sind die wichtigsten Primär- und Sekundärschäden getrennt nach Gebäuden, elektrischen und mechanischen Komponenten zusammengestellt.

Die Bilder 6 und 7 geben einen Eindruck von der Größe der Zerstörungen.

Die Schäden an den Betonteilen des Maschinenhauses waren gering, weil der für die Dekontamination erforderliche Zweikomponentenanstrich das Eindringen der Salzsäure fast überall verhinderte.

Abgesehen von Oberflächenverschmutzungen sind insbesondere die Hauptkomponenten wie Turbinen, Generatoren und die Speisewasserpumpen mit den zugehörigen Armaturen mehr oder weniger unversehrt geblieben, was für den Termin der Wiederinbetriebnahme des Werkes von ausschlaggebender Bedeutung war.

8. SCHADENURSACHE

Nach dem Brandunfall wurden von seiten der Behörden zwei Experten mit der Untersuchung der Schadenursache und Erstellung eines Gutachtens beauftragt. Der Bericht über die in diesem Zusammenhang vom Allianz-Zentrum für Technik (AZT), Ismaning, durchgeführten, sehr detaillierten Versuche wird nächstens in der Fachpresse veröffentlicht [1, 2]. Es wird an dieser Stelle eine kurze Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen gegeben.

In den ersten Morgenstunden nach der Brandnacht wurde bei einem Rundgang durch das Maschinenhaus festgestellt, daß sich die Rohrverschraubung des Kraftölschlusses am Servomotor des dritten Regelventils der Turbine B vollständig gelöst hatte (Bild 5). Damit bestand vom Anfang an kein Zweifel, daß der Brandunfall auf diese gelöste Verschraubung zurückzuführen war.

Auch der Umfang und die Art der Zerstörung durch Hitze-wirkung deuteten darauf hin, daß der Brandherd beim betreffenden Ventilgehäuse gelegen hat.

Tafel 4. Schadensumfang.

	Gebäude	Elektrische Ausrüstungen	Mechanische Ausrüstungen
Primärschäden	75% des Dachbelages Einige Dachpfetten (verkrümmt) 60% des Fensterbandes 50% der Anstriche Betonoberflächen im Bereich Turbine B Gitterroste Wandisolationsplatten	50 km Kabel (rund 3000 kg verbranntes PVC) Schaltschränke MG-Gruppen Instrumentierung Turbine B (Druck-schalter, Thermostaten, Geber usw.) Einige Telefonapparate und Lautsprecher Maschinenhausbeleuchtung	Zu- und Abluftkanäle Ventilation Steuer- und Schmierleitungen Diverse kleinere Armaturen B Wärmeschutzisolation Turbogruppe B Kran (Kabel, Farbe, Laufschiene) Farbschäden an Servomotoren der Gruppe B Motor zu Wellendrehvorrichtung B Steuer- und Werkluftleitungen bei Gruppe B
Sekundärschäden		Reaktorunterverteilung Untersynchrone Stromrichterkastaden Erregung für Gruppe A und B Instrumentierung allgemein und Turbine A Turbinenunterverteilung Steuertafel Kondensatreinigungsanlage	Korrosion an Turbinen A und B Hydraulische Regelapparate Isolation Rohrleitungen

Das Hauptziel der Versuche und Untersuchungen galt somit den beiden grundsätzlichen Fragen:

Wie und unter welchen Umständen konnte sich die Verschraubung lösen?

Durch welche Zündquelle wurde der Brand ausgelöst?

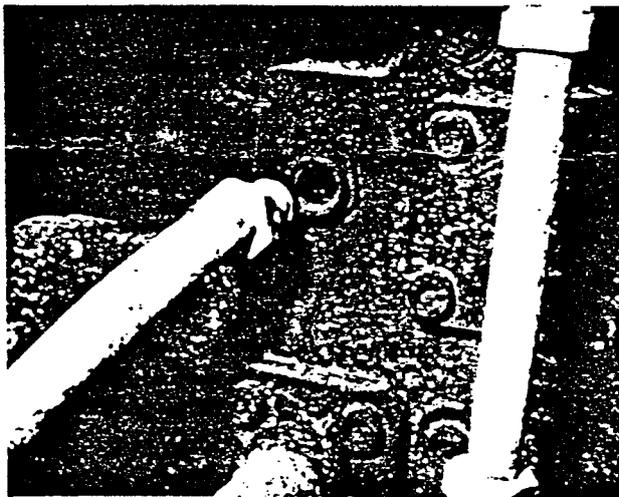


Bild 5. Gelöste Rohrverschraubung am Servomotor des Regelventils.

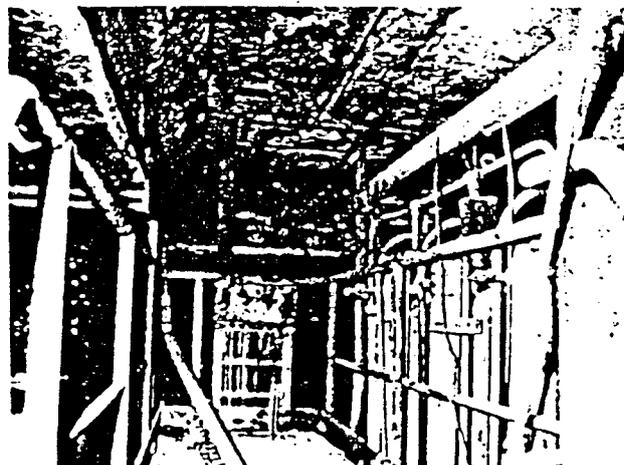


Bild 6. Podest bei den Einlaßventilen der Gruppe B (Brandherd).

8.1. Das Lösen der Verschraubung

Die wichtigsten Feststellungen der Untersuchungen waren:

Am Vormittag vor dem Unfall wurde bei einem sehr sorgfältig durchgeführten Kontrollgang keine Leckage an der betreffenden Stelle festgestellt.

Bei periodischen Kontrollgängen, dem letzten davon etwa 15 min vor dem Unfall, wurden von verschiedenen Beobachtern keine Leckage und keine Rauchentwicklung festgestellt.

Nach dem Brand fehlte am betreffenden Rohr eine Befestigungsbrücke, die Verschraubung am anderen Rohrende war locker.

Die Verschraubung war bei der letzten Montage vor dem Schaden vorschriftsgemäß bis zur Dichtheit angezogen, wie auch sämtliche anderen Verschraubungen.

Hammerspuren am Rohr beweisen, daß die Verschraubung mindestens beim Lösen einer starken Schwingungsbeanspruchung unterworfen war.

Mit den vom AZT durchgeführten Vibrationsversuchen konnte gezeigt werden, daß in Abhängigkeit der Art der Rohrvibration, der Amplitude und des Anzugsmomentes ein selbsttätiges Lösen der Verschraubung möglich ist [1].



Bild 7. Pritschen mit verbrannten Kabeln im Anbau des Maschinenhauses.

Im Normalbetrieb und auch bei der plötzlichen Beaufschlagung des Bypass-Systems während der Abschaltversuche konnten keine übermäßigen Rohr- oder Bypass-Schwingerbewegungen festgestellt werden. Größere Schwingungen des Frischdampf- und Bypass-Systems werden von einer größeren Anzahl hydraulischer Stoßdämpfer verhindert. Weil genaue Meßwerte über die Art der Rohrvibration und ihrer Amplitude nicht vorliegen, werden bei der Wiederinbetriebnahme Vibrationsmessungen an der betreffenden Leitung durchgeführt. Bis diese Ergebnisse vorliegen, können über die Ursache(n) des Lösens der Verschraubung noch keine endgültigen Aussagen gemacht werden.

8.2. Zündquelle

In die Untersuchungen und Überlegungen sind unter anderem folgende Möglichkeiten einbezogen worden:

1. Zündung des Öles durch Funken an den Endschaltern der Ventile.
2. Zündung des Ölstrahles an einer Fluoreszenzlampe.
3. Zündung durch statische Aufladung des ausströmenden Öles.
4. Zündung des Öles an heißer Metalloberfläche des Ventilgehäuses.
5. Zündung des Öles an glimmender Oberfläche der Spritzasbestisolation des Ventilgehäuses durch Einsickern von Lecköl.

Bei näherer Untersuchung schieden die vier ersten Möglichkeiten aus. Die Endschalter sind in einem Leichtmetallgehäuse eingeschlossen und mit einem RC-Glied zur Funkenlöschung versehen. Es wurden bei Einstellarbeiten nie Funken beobachtet. Die Leuchtröhren weisen keine Oberflächentemperaturen auf, die eine Entzündung des Öles verursachen können. Außerdem war die betreffende Lampe der direkten Einwirkung des ausspritzenden Öles nicht ausgesetzt. Nach Auffassung der zuständigen Fachkreise war eine statische Aufladung des Ölstrahles im vorliegenden Fall kaum denkbar. Die Turbinenanlage war vorschriftsgemäß geerdet.

Eine Selbstzündung des Öles an einer Metalloberfläche ist nur möglich, wenn die Metalltemperatur über dem Zündpunkt des Öles liegt. Das in Mühleberg verwendete Schmieröl hat einen Flammpunkt von etwa 197°C und einen Zündpunkt von 354°C. Bei der vorliegenden Frischdampf- oder Öltemperatur von etwa 280°C ist also eine Selbstzündung nicht möglich.

Bei den Versuchen, die dies bestätigten, wurde lediglich eine starke weißliche Rauchbildung beobachtet.

Die von AZT und Brown, Boveri durchgeführten Versuche haben den Nachweis gebracht, daß sich bei Leckage von Öl auf eine faserige Oberfläche durch Oxydation mit dem in der Umgebungsluft enthaltenen Sauerstoff eine Glimmstelle bilden kann. Der zeitliche Ablauf dieser Reaktion wird allerdings von vielen Faktoren beeinflußt, z. B. aufgespritzte Ölmenge, Luftzufuhr, Ausgangstemperatur. Jedenfalls braucht die Reaktion je nach den Verhältnissen eine gewisse Anlaufzeit. In den Versuchen wurden Anlaufzeiten von etwa 30 min bis mehreren Stunden beobachtet.

Hat sich einmal eine Glimmstelle gebildet, kann eine Selbstzündung eines z. B. bei einer Leckage entstandenen Ölnebels eintreten. Wird jedoch eine größere Ölmenge

auf die Glimmstelle gespritzt, kann diese so stark gekühlt werden, daß das Glimmen aufhört.

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse kann die fünfte Möglichkeit somit als wahrscheinlichster Zündmechanismus betrachtet werden. Jedoch bleibt der zeitliche Ablauf ungeklärt.

Das Ergebnis der Untersuchungen und Versuche hat dazu geführt, daß bei der Wiederherstellung Maßnahmen getroffen wurden zur Kontrolle der Montage und zur Sicherung der Rohrverschraubungen. Außerdem wurden im betroffenen Bereich der Ventilgehäuse mehrere passive und aktive Brandschutzmaßnahmen getroffen (Abschnitt 8).

Abschließend ist noch zu erwähnen, daß während der Auslaufphase der Turbogruppe B insgesamt etwa 2200 l Öl ausgelaufen sind, die vollständig verbrannten. Das Lagerölsystem wurde nicht betroffen. Trotz Ausfall der Motorhilfsölpumpen war die Lagerölversorgung bis praktisch zum Stillstand durch die von der Turbinenwelle angetriebene Zahnradölpumpe sichergestellt. Abgesehen von leichten Streifspuren im vorderen Lager wurden keine Schäden festgestellt. Die Ausführung mit direkt angetriebener, volumetrischer Pumpe hat sich also bewährt.

9. LEHREN AUS DEM UNFALL – VERBESSERUNGSVORSCHLÄGE

Die Lehren, welche aus dem Brand gezogen werden können, betreffen einerseits organisatorische Maßnahmen für die Alarmierung sowie Einsatzkoordination der Notfall- und Brandbekämpfungsequipen, auf der anderen Seite Anlageverbesserungen wie zusätzliche Brandabschnitte, Installation von weiteren Hilfssystemen zur Feuerbekämpfung oder Bereitstellen von zusätzlichem Material und Kommunikationsmitteln. Nach umfangreichen Abklärungen und Diskussionen sind die folgenden Verbesserungsvorschläge zur Ausführung gelangt:

9.1. Notfallorganisation

Vier Monate vor dem Brand wurde die Notfallorganisation bei einer Übung mit externer Unterstützung ausgeprägt, wobei als Übungsanlage im wesentlichen die gleiche Situation angenommen wurde, wie sie in der Nacht vom 28. Juli auftrat. Diese Übung hat viel dazu beigetragen, daß die Notfallorganisation besser spielen konnte. Jedoch konnte eine Reihe von Lehren gezogen werden:

- Neben den schon beschriebenen drei Notfallequipen wird eine weitere Gruppe gebildet, die im Notfall die elektrische Eigenbedarfsversorgung zu überwachen und eventuelle Hilfsschaltungen und Noteinspeisungen zu errichten hat.
- Für die bessere Verbindung zwischen Notfalleiter und den Einsatzgruppen werden vier tragbare Funkgeräte angeschafft.
- Die Betriebsfeuerwehr wird in ihrem Bestand verdoppelt. Es wird besonderer Wert auf die genaue Kenntnis der Standorte von Feuerbekämpfungsmaterial in der Anlage gelegt.
- Für die Alarmierung der Notfallequipen wird ein telefonisches Gruppenrufsystem eingeführt. Bei Wahl einer Nummer werden dabei gleichzeitig zehn Teilnehmer alarmiert.

- Die Verbindung zur Feuerwehr Bern wird mit einer zweiten, vom normalen Netz unabhängigen Telefonleitung sichergestellt.
- In den Notfallanweisungen wird eine Checkliste für die Aktionen unmittelbar nach Brandausbruch beigelegt.
- Die Portierloge ist bei einem Notfall sofort zu verstärken, damit die Aufgaben des Pförtners (Verweigerung des Zutrittes für Unbeteiligte, Einweisung von Feuerwehr oder anderer Hilfsmannschaften, Telefondienst nach außen) leichter zu erfüllen sind.

9.2. Zusätzliche Brandschutzmaßnahmen

Bei der Auslegung der zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- a) Verhinderung eines Brandausbruchs, insbesondere am Turbinenölsystem.
- b) Begrenzung der Brandausbreitung, insbesondere entlang der Kabelwege.
- c) Rasche Entdeckung und Lokalisierung eines Brandausbruchs, damit die Bekämpfung bereits im Anfangsstadium möglich wird.
- d) Begrenzung der Ausbreitung von Brandgasen.
- e) Verbesserung der Brandbekämpfungsmöglichkeiten.

Die Maßnahmen unter a bis d gehören zum Bereich des passiven, diejenigen unter e des aktiven Brandschutzes.

Mit Ausnahme der am Turbinensystem getroffenen Vorkehrungen (a) stellen die zusätzlichen passiven Maßnahmen im wesentlichen eine Ergänzung des bereits bei der Planung festgelegten Schutzes dar.

Die Montagevorschriften enthielten bereits Instruktionen für das Abdichten von Kabeldurchführungen. Diese Arbeiten waren zur Zeit des Brandausbruchs insbesondere im Reaktorgebäude vollständig ausgeführt. Im vom Brand betroffenen Bereich des Maschinenhauses waren sie jedoch, wie bei Beginn von Inbetriebnahmen üblich, nur teilweise vorhanden.

Das Konzept des passiven Schutzes konnte bereits kurz nach dem Unfall festgelegt werden. Die Details der Ausführung ergaben sich auf Grund der Ergebnisse der vom AZT an den Rohrverschraubungen bzw. von Brown, Boveri an Kabelschottungen durchgeführten Versuche.

An Stellen mit hoher Brandbelastung oder mit für die Sicherheit der nuklearen Anlage wichtigen Kabelwegen wurden automatische und manuell auslösbare Sprühflutanlagen installiert, insbesondere an schlecht erreichbaren Stellen.

Die wichtigsten Verbesserungen sind:

Passiver Brandschutz

a) Turbinenölsystem

Vervollständigung der Vorschriften des Lieferanten der Rohrverschraubungen für die Montage. Sicherung der Verschraubungen.

Einrichtungen zur raschen Absenkung des Kraftöldruckes mit manueller und automatischer Auslösung. Blechverschalung um die Spritzasbestisolation der Ventilgehäuse.

b) Brandabschnitte, Kabelschottungen

Die Turbinenölbehälter wurden vollständig mittels feuerhemmender Wände von den wichtigen Kabel-

wegen abgetrennt. Der zentrale Bereich des Anbaus und die beiden Kabelkanäle unterhalb der Reaktorverteilung (Bild 3) werden komplett abgeschottet.

Die langen Kabelkanäle im Betriebsgebäude, im Maschinenhaus und auf der Kabelbrücke zum Reaktorgebäude wurden an beiden Enden komplett durch Kabelschottungen mit Brandschutztüren verschlossen.

Schottungen für Kabeldurchführungen durch Wände, Decken, Schaltschränke und für Kabelschächte wurden ergänzt.

Auf langen Kabelpritschen und insbesondere bei Kabelkreuzungen und -abzweigungen wurden spezielle, feuerhemmende Barrieren angebracht. Diese bestehen zum größten Teil aus Schottungen, in gewissen Fällen aus einer feuerhemmenden Beschichtung.

- c) Die Rauchgasmeldeanlage wurde ergänzt, insbesondere im Elektronikraum unterhalb des Kommandoraumes, im Bereich unterhalb der Turbinen und in den neu entstandenen Brandabschnitten.

- d) Die unter b beschriebenen Abschottungsmaßnahmen haben zur Folge, daß eine größere Anzahl Abschnitte mit begrenzter Brandbelastung entstanden sind. Demzufolge wird im Brandfall die Ausbreitung der Gase stark behindert. Im Maschinenhaus wurden die Belüftungskanäle für die Brandabschnitte im Bereich des Anbaus neu verlegt, um eine Ausbreitung der Rauchgase in benachbarte Abschnitte zu verhindern.

Im Betriebsgebäude wurden in den Lüftungskanälen zu den wichtigsten Räumen Brandschutzklappen installiert, die bei Brandausbruch von Hand oder automatisch geschlossen werden.

Für die beiden komplett getrennten Hälften des Steuerelektronikraumes wurden Rauchgasabzugsventilatoren vorgesehen, durch welche Rauchgase direkt ins Freie geleitet werden können. Die Lüftung der anderen Raumhälfte kann dabei in Betrieb bleiben. Die Ventilatoren saugen zwar zusätzlich Luft ein, jedoch wird das Eindringen von Gasen in benachbarte Räume dadurch erschwert und die Brandbekämpfung erleichtert.

Aktiver Brandschutz

e) Feuerlöscheinrichtungen

Die bereits vorhandenen Löscheinrichtungen innerhalb der Gebäude wurden ergänzt durch zusätzliche Trockenlöschgeräte, Löschschaumreserven, Löschkästen und Innenhydranten. Das Konzept dieser Erweiterung war, für gewisse wichtige Bereiche wie Steuerelektronik und Kabelkanäle, die Möglichkeit zu schaffen, ein Feuer innerhalb des Bereiches unmittelbar von zwei Seiten bekämpfen zu können.

Im Maschinenhaus wurden acht Sprühflutanlagen installiert. Es betrifft hier die Bereiche der Turbinenventile und Ölbehälter, der zentrale Bereich des reaktorseitigen Anbaus und die angrenzenden Kabelkanäle zum Reaktor unterhalb der Reaktorunterverteilung sowie der Bereich mit den massierten Leistungskabeln auf -3 m (Bild 3).

Basierend auf dem Gedanken, daß ein Brandausbruch sehr schnell von der Feuermeldeanlage erfaßt wird,

wurden diese Sprühflutanlagen grundsätzlich mit manueller Fernauslösung vom Kommandoraum konzipiert. Jedoch wurden für die besonders kritischen Bereiche bei den Ventilen zusätzlich automatische Auslösungen über pneumatische Anregersysteme mit Schmelzzapfen installiert.

Bei einem Brandausbruch im Bereich der Turbinenventile wird das betreffende Brandschutzventil gleichzeitig mit der Sprühflutanlage automatisch betätigt.

Die getroffenen Maßnahmen wurden im Detail mit der Versicherung und mit den zuständigen Behörden diskutiert.

10. WIEDERIN STANDSTELLUNG DER ANLAGE PROGRAMM FÜR DIE WIEDERINBETRIEBNAHME //

10.1. Zielsetzung

Unmittelbar nach dem Brand wurden an Koordinations-sitzungen zwischen den BKW und dem Generalunternehmer die Richtlinien für die Wiederherstellung des Kraftwerkes festgelegt. Gemeinsame Zielsetzung war die möglichst baldige Aufnahme der Stromerzeugung, wenigstens mit der vom Brand nicht direkt betroffenen Turbogruppe A.

Von der Generalunternehmung wurde eine spezielle Organisation für die Materialbeschaffung und die Wiederherstellung des Kraftwerkes aufgestellt. Eine lückenlose Schadenbestandsaufnahme war vordringlich, um das beschädigte Material nachbestellen zu können.

Auf der Baustelle ging es primär darum, die richtigen Maßnahmen zu treffen, um eine Ausdehnung der Schäden auf noch intakte Bauteile zu verhindern und unmittelbar nach der Freigabe der Anlage durch die Schadenexperten und die Versicherung mit den Aufräum- und Reinigungsarbeiten zu beginnen.

10.2. Schadenbestandsaufnahme

Wichtigste Voraussetzung für die Erstellung des Wiederinstandstellungsprogramms war eine möglichst umgehende und vollständige Erfassung der vorhandenen Schäden (siehe Abschnitt 7).

Die Schäden an den Gebäudeteilen konnten relativ schnell und einfach bestimmt werden, und entsprechend früh konnte die Bestellung von neuem Material erfolgen.

Für die Mithilfe bei der Erfassung und Analysierung der Schäden auf dem baulichen, dem elektrischen und mechanischen Sektor wurde in Absprache mit der Versicherung, den BKW und dem Generalunternehmer das Allianz-Zentrum für Technik (AZT) in Ismaning beauftragt. Das AZT hatte dabei eine beratende Funktion bezüglich der Beurteilung der Verwendbarkeit von Anlageteilen und bei der Behebung von Schäden. Das Kriterium für die Verwendbarkeit von Anlageteilen war die festgestellte Beaufschlagung von chlorwasserstoffhaltigen Brandgasen. Umfangreiche Untersuchungen auf diesem Gebiet liegen vor [9].

Die Bestandsaufnahme der Schäden war insofern erschwert, als infolge des relativ großen Umfangs der Gebäudebeschädigung die größeren Komponenten (Turbinen, Speisewasservorwärmer, Wasserabscheider-Zwi-

schenüberhitzer, Speise- und Kondensatpumpen, größere Armaturen usw.) nicht unmittelbar demontiert werden konnten, da einerseits durch die chlorwasserstoffhaltige Atmosphäre im Maschinenhaus die Gefahr einer Vergrößerung des Schadenumfanges bestand und andererseits die Anlage infolge teilweise offener Gebäude Witterungseinflüssen ausgesetzt war. Auch ließen die notwendigen, umfangreichen Naßreinigungsarbeiten keine Demontage von Anlageteilen zu.

Die Schadenbestandsaufnahme zog sich daher über eine längere Zeit hin und konnte erst Ende November, d. h. vier Monate nach Brandausbruch, als abgeschlossen betrachtet werden.

10.3. Schadensanierung

Es stellte sich schon bald heraus, daß sich die Schäden nicht nur auf die direkt vom Brand betroffene Turbogruppe beschränkten, sondern daß infolge Chlorbildung der Sekundärschaden sich auf alle installierten Anlageteile im Maschinenhaus ausweitete.

Bereits am Tag nach dem Brand wurden die noch in Betrieb stehenden elektrischen Anlageteile mit Passivierungsmitteln besprüht und neutralisiert. Man hoffte, mit dieser Maßnahme den größten Teil von noch nicht beschädigten Teilen zu retten. Leider stellte sich heraus, daß nur ein teilweiser Erfolg vorhanden war, da bereits wertvolle Zeit bis zur Inangriffnahme der Schutzmaßnahmen verstrichen war. So zeigte sich auf Grund von Messungen des Chloridgehaltes auf der Oberfläche von Komponenten beispielsweise, daß die komplette Steuerelektronik für die Speisepumpen-Drehzahlregulierung aller drei Pumpen, die gesamte 380-V-Unterverteilung für die Reaktorhilfsbetriebe sowie sämtliche mechanischen und elektrischen Instrumente, Geber, Transmitter usw., auch an der nicht brandgeschädigten Turbogruppe zum Teil ersetzt, zum Teil repariert werden mußten.

Alle diese Ereignisse, die in der Natur der Behebung eines solchen Großschadens liegen und die zu einem Zeitpunkt eintraten, bei dem die Wiederherstellung bereits zu einem gewissen Grade fortgeschritten war, gestalteten sich die Terminplanung und das Einhalten der vorgegebenen Termine äußerst schwierig.

Die Reinigung des Gebäudes wurde durch eine Spezialfirma für Brandsanierung sofort aufgenommen. Das ganze Gebäude war innen von einem Belag von öligem Ruß bedeckt. Es kam daher für die Reinigung nur eine Naßreinigung mit Zugabe von Netzmitteln und anschließender Bedampfung in Frage.

Für diese Reinigungsarbeiten und das notwendige Abdecken von zu schützenden Anlageteilen waren zeitweise über 100 Mann eingesetzt. Da diese Arbeiten vordringlich waren, wurden sie im Dreischichtenbetrieb einschließlich Wochenende durchgezogen. Die Reinigung von noch verwendbaren, kleineren Anlageteilen wurde in einem trockenen Raum abseits der Brandstätte meist durch Handarbeit ausgeführt. Größere mechanische Teile wurden durch Bedampfung gereinigt. Auch bei diesen Arbeiten sind die vom AZT erarbeiteten Richtlinien verwendet worden.

10.4. Terminplanung

Es wurde angestrebt, zu einem möglichst frühen Zeitpunkt nach dem Brand einen für alle an der Wiederherstellung Beteiligten verbindlichen Netzplan aufzustellen.

Da es sich bei den Wiederherstellungsarbeiten und den Inbetriebnahmearbeiten um eine teilweise Wiederholung von bereits ausgeführten Tätigkeiten handelte, war die Logik des Planes relativ leicht zu erstellen. Allerdings traten im Laufe der Wiederherstellungsarbeiten die bereits geschilderten „Überraschungen“ bezüglich Schadenumfang auf. Die Struktur des Netzplanes und die Terminangaben mußten daher laufend geändert und nachgetragen werden. Entsprechend dieser Änderungen änderte auch der kritische Weg. Es waren total sechs Neuausgaben des Netzplanes notwendig.

Von größter Wichtigkeit war, daß der Netzplan möglichst frühzeitig allen beteiligten Stellen verbindlich abgegeben werden konnte. Aus diesem Grund begnügte man sich bei der Bearbeitung des Netzplanes mit einer Handrechnung. Der verwendete Netzplan weist etwa 1300 Tätigkeiten auf. Er ist nach dem CPM-System aufgebaut. Bereits drei Wochen nach dem Brandfall wurde der Plan eingesetzt. Ein Teilplan für die Wiederherstellung des Gebäudes konnte schon früher in Kraft gesetzt werden.

Nachfolgend sind die benötigten Zeiten für die Instandstellungsarbeiten der wichtigsten Komponenten zusammengestellt (ab 28. Juli 1971):

Reinigungsarbeiten Brandschaden, Entrostern und passivieren von Anlageteilen	4,5 Monate
Instandstellung Maschinenhaus allgemein (Dach, Stahlkonstruktion)	3,5 Monate
Bausanierung Bereich Brandherd Gruppe B	7 Monate
Reparatur und Revision Turbogruppe A	7 Monate
Reparatur und Revision Turbogruppe B	9 Monate
Ersatz und Wiederinbetriebnahme der 380-V-Reaktorunterverteilung	4,5 Monate
Beginn Wiederinbetriebnahme der Turbogruppe A	8 Monate

10.5. Programm für die Wiederinbetriebnahme

Die Durchführung der Vorinbetriebnahmeprüfungen und -versuche, als Voraussetzung für das Wiederauffahren des Reaktors, mußte praktisch zu 100% wiederholt werden. Diese Maßnahme ergab sich daraus, daß die elektrischen Verteilanlagen für die Anspeisung der Hilfsbetriebe des Reaktors vollständig erneuert werden mußten (PVC-Folgeschäden).

Beim Entscheid über die Wiederinstandstellung der Reaktorunterverteilung war aus Termingründen und aus wirtschaftlichen Überlegungen von vornherein klar, daß nur der Ersatz der geschädigten Teile und nicht eine komplette Neuerstellung in Frage kam. Infolgedessen mußten die für die Aufrechterhaltung des Betriebes der nuklearen Hilfssysteme notwendigen Verteilungen komplett demontiert werden, da eine Reparatur der Unterverteilungen auf der Baustelle undurchführbar war. Andererseits mußte aber während der gesamten Stillstandszeit die Wasserqualität im nuklearen Dampferzeugersystem über die Reaktorwasser-Reinigungsanlage unter Kontrolle gehalten werden. Auch die Sicherheits- und Kühlsysteme des Reaktors mußten in Betrieb gehalten werden. Für die Anspeisung dieser Systeme wurde nach Genehmigung durch die Sicherheitsbehörde eine provisorische elektrische Verteilung installiert. Dank dieser

Maßnahme konnte einerseits eine einwandfreie Kontrolle der Reaktorsysteme gewährleistet und andererseits wertvolle Zeit gewonnen werden.

Nach der Wiederinbetriebnahme der revidierten elektrischen Unterverteilungen konnte anfangs Dezember mit den Vorinbetriebnahmeprüfungen an den nuklearen Systemen wieder begonnen werden. Am 12. Dezember 1971 wurde der Reaktor erstmals nach dem Brand wieder kritisch gefahren.

Die Vorinbetriebnahmeprüfungen an den Systemen im konventionellen Teil der Anlage waren auch bei der nicht direkt vom Brand betroffenen Turbogruppe 100prozentig zu wiederholen. Dieses Vorgehen erwies sich als notwendig, da die Instrumentierung und die im Maschinenhaus installierten Teile zu den Steuerungen vollständig in den Herstellerwerken revidiert bzw. ersetzt werden mußten.

Nach dem Stillstand von mehreren Monaten und nachdem zwecks Kontrolle Rohrleitungssysteme bzw. Armaturen demontiert waren, mußten diese Systeme gründlich gespült werden. Das Spülen erfolgte analog der ersten Inbetriebnahme, zuerst ins Freie und anschließend im geschlossenen Kreislauf, wobei der Hotwell als Absetzbecken diente. Vor Beginn der Inbetriebnahme der Speisepumpengruppen wurde das System über die Kondensatreinigungsanlage gereinigt. Die Prüfungen an den drehzahlregulierten Speisepumpen und die anschließenden Umschaltversuche der 6-kV-Einspeisungen mit zugeschalteten Verbrauchern verliefen gemäß Terminprogramm.

Um die Arbeiten an der Turbogruppe A zu beschleunigen, wurde auch für die Wiederinbetriebnahme eine Hilfsdampfanspeisung zur Turbinen- und Vorwärmanlage installiert. Damit konnten die Dichtheit und die Funktion der einzelnen Komponenten unter Vakuum geprüft werden. Das Anfahren der Turbogruppe selbst geschieht von allem Anfang an mit Dampf aus dem Reaktor.

Mitte März wurde der Reaktor erstmals wieder aufgeheizt. Am Ende dieses Monats wurde der Betrieb mit der Turbogruppe A wiederaufgenommen.

11. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Der Brandunfall im Kernkraftwerk Mühleberg ist einer der größten seiner Art und wird sowohl für bereits in Betrieb stehende, in Bau befindliche wie auch für künftig zu planende Kernkraftwerke gewisse Konsequenzen haben. Aus diesem Grund versuchten die Autoren des vorliegenden Berichtes, sämtliche Aspekte möglichst vollständig zu schildern. Es scheint ihnen wichtig, daß die dabei gemachten Erfahrungen einem möglichst großen Kreis von Kraftwerksbetreibern und Herstellern sowie den Versicherungsgesellschaften zur Verfügung stehen. Durch die Verarbeitung von wichtigen Einzelerfahrungen in allgemein gültigen Richtlinien sollte dafür gesorgt werden, daß derartige Erfahrungen verwertet werden und nicht verlorengehen. Es sollten daher unter Mitarbeit aller Beteiligten auch in Europa brauchbare Richtlinien geschaffen werden, die einen optimalen Brandschutz in Kraftwerken ermöglichen, unter Vermeidung der Nachteile von extremen Lösungen.

Die wichtigsten, nach dem Brand von Mühleberg gemachten Überlegungen lassen sich wie folgt gliedern.

Passiver Brandschutz

Der passive Brandschutz erhöht die inherente Sicherheit gegen Brand. Er fängt an mit der sorgfältigen Konstruktion bzw. Auslegung von Komponenten und Systemen. Daneben lassen sich insbesondere durch eine gezielte Planung die Folgen eines Brandausbruches sehr wesentlich einschränken. Beispiele sind:

Richtige Materialauswahl,

Maßnahmen zur Verhinderung von Vibrationen und Leckagen,

die Bildung von logischen Brandabschnitten mit Brandmauern oder zumindest feuerbeständigen Wänden,

die konsequente Trennung der Kabelwege von den maschinellen Ausrüstungen sowie

die konzentrierte feuer- und gasdichte Durchführung von Leitungen und Kabeln durch Wände und Decken.

Die Forderung der Trennung der Kabelwege, die in Zusammenhang mit der für Kernkraftwerke ohnehin notwendigen Trennung der Ausrüstungen und Kabelwege der Schutz- und Notsysteme gesehen werden muß, drückt sich durch erheblich größeren Aufwand auf der Bauseite aus.

Aktiver Brandschutz

Das Konzept des aktiven Brandschutzes verlangt unter anderem detaillierte Analysen der potentiellen Brandherde und ihrer Zugänglichkeit im Brandfall, der für die verschiedenen Brandklassen am besten geeigneten Löschmittel, der Sicherstellung von ausreichenden Löschwasserreserven, die Möglichkeiten des Rauchgasabzuges und insbesondere während der Bauphase der Zugänglichkeit für Fahrzeuge der Feuerwehr.

An kritischen Stellen sind stationäre, im Betrieb prüfbar löschanlagen mit ferngesteuerter oder automatischer Auslösung zu installieren. Damit kann trotz des zeitweise geringen Personalbestandes sofort wirksam die Brandbekämpfung eingeleitet werden. Außerdem wird das

Personal weniger gefährdet. Es muß jedoch immer sorgfältig untersucht werden, ob Fehlauslösungen zu Schäden führen können (z. B. Thermoschock, Kurzschluß usw.).

Notfallorganisation

Die passiven und aktiven Brandschutzmaßnahmen kommen erst dann voll zur Geltung, wenn das Konzept der Notfallorganisation mit gleicher Sorgfalt aufgestellt wurde und durch regelmäßige Übungen der Betriebsfeuerwehr und der Notfallequipen, zum Teil unter Mitwirkung der öffentlichen Feuerwehrorganisationen, überprüft und bei Bedarf den neuen Erfahrungen angepaßt wird.

Obwohl eine absolute Sicherheit niemals erreicht werden kann, lassen sich doch die Wahrscheinlichkeit eines Brandausbruches und seine Folgeschäden durch gezielte Maßnahmen verkleinern.

SCHRIFTTUM

- [1] L. Hagn und H. Huppmann: Untersuchungen zur Klärung der Schadenursache des Ölbrandes im Maschinenhaus des KKW Mühleberg. Der Maschinenschaden 45 (1972), demnächst.
- [2] H. Christian und H. Grupp: Untersuchung der chemischen und thermischen Einflüsse der Brandgase auf den Schadenumfang im KKW Mühleberg. Der Maschinenschaden 45 (1972), demnächst.
- [3] R. Caprez und E. Kallas: Das 300-MW-Atomkraftwerk der Bernischen Kraftwerke AG. Allgemeine Beschreibung der Anlage. Neue Technik, B 2/1970.
- [4] K. Marti: Die elektrischen Eigenbedarfsanlagen des Atomkraftwerkes Mühleberg. Neue Technik, B 2/1970.
- [5] K. Marti: Die elektrische Ausrüstung des Atomkraftwerkes Mühleberg. Brown-Boveri-Mitteilung 1971, M 110, S. 473-484.
- [6] G. H. Hentschel: Die im Kernkraftwerk Mühleberg zum Schutz der Bevölkerung vorgesehenen Maßnahmen. Neue Technik, B 2/1970.
- [7] F. H. J. Weehuizen: Die wichtigsten Regelsysteme eines Siedewasserkernkraftwerkes. Neue Technik, B 2/1970.
- [8] A. Schreiber: Das Atomkraftwerk Mühleberg der BKW und sein gegenwärtiger Bauzustand. Wasser- und Energiewirtschaft/WEW (Baden) Nr. 1/1969.
- [9] P. H. Effertz, H. Grupp und W. Jach: Einwirkung chlor-wasserstoffhaltiger Brandgase auf Werkstoffe und Bauteile. Der Maschinenschaden 43 (1970), Heft 3.

Eingegangen am 19. April 1972