

## STELLUNGNAHME der RSK

### ATWS-Ereignisse

#### 1 Beratungsauftrag

Die RSK hatte im Jahr 1998 über die sicherheitstechnischen Aspekte der Hochabbrand-Strategien sowie des Einsatzes von MOX-Brennelementen beraten und in ihrer 320. Sitzung am 16.09.1998 die Beratungen mit einer Stellungnahme abgeschlossen. In dieser Stellungnahme kam die RSK bezüglich des Anlagenverhaltens bei ATWS zu folgendem Ergebnis:

„Da ein funktioneller Zusammenhang zwischen Auslegungsparametern des Reaktorkerns und dem erreichbaren Abbrand besteht, ist die Abbrandzykluszeit so zu gestalten, dass in Verbindung mit der Borsäure- und der Gadolinium-Konzentration der Moderator-Temperaturkoeffizient und der Voidkoeffizient bei ATWS zu Temperatur- und Drucktransienten im Primärkühlsystem führen, die den maximalen Druckwert entsprechend dem ASME-Code, Level C, bei Vollast- und Teillastbetrieb nicht überschreiten. Die RSK bittet, zu prüfen, ob zur Schaffung von Sicherheitsreserven ein ausreichend negativer Moderator-Temperaturkoeffizient und Voidkoeffizient durch Optimierung von Abbrandzykluszeit und Gadoliniumkonzentration erreicht werden kann, so dass von einem frühen Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen nicht Kredit genommen werden muss.“

Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hat die Klärung dieses Sachverhalts in sein Beratungsprogramm aufgenommen.

#### 2 Sachverhalt

In der RSK-Leitlinie für DWR (3. Ausgabe vom 14.10.1981) ist im Kapitel 20 zum Versagen des Schnellabschaltsystems bei Betriebstransienten folgendes ausgeführt:

„Zur Verminderung des verbleibenden Risikos beim Versagen des Schnellabschaltsystems bei Betriebstransienten hält die RSK die im folgenden genannten Untersuchungen bzw. die Einhaltung der genannten Bedingungen für erforderlich:

(1) Der Verlauf von Betriebstransienten ist auch unter der Annahme zu untersuchen, dass das Schnellabschaltsystem vollständig ausfällt. Im Einzelnen ist zu zeigen, dass bei den folgenden Betriebstransienten auch bei Ausfall des Schnellabschaltsystems die unter (2) und (3) genannten Bedingungen eingehalten werden:

1. Ausfall der Hauptwärmesenke, z. B. infolge Verlustes des Kondensatorvakuums bzw. Schließen der Frischdampfschieber, bei vorhandener Eigenbedarfsversorgung.
2. Ausfall der Hauptwärmesenke bei ausgefallener Eigenbedarfsversorgung
3. Maximaler Anstieg der Dampfantnahme, z. B. infolge Öffnens der Umleitstation oder der Frischdampfsicherheitsventile.
4. Vollständiger Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung.
5. Maximale Reduzierung des Kühlmitteldurchsatzes.
6. Maximale Reaktivitätszufuhr durch Ausfahren von Steuerelementen oder Steuerelementgruppen, ausgehend von den Betriebszuständen Vollast und heißer Bereitschaftszustand.
7. Druckentlastung durch unbeabsichtigtes Öffnen eines Druckhaltersicherheitsventils.
8. Maximale Reduzierung der Reaktoreintrittstemperatur, verursacht durch einen Fehler in einer aktiven Komponente der Speisewasserversorgung.

Bei der Analyse dieser Ereignisse kann grundsätzlich vom normalen Betriebszustand ausgegangen werden. Allerdings sind in der Analyse die durch Steuerungs- und Regelvorgänge eventuell verursachten Änderungen von Betriebsparametern und Systemzuständen mit zu berücksichtigen. Mit Ausnahme der als gestört angenommenen Systeme können alle übrigen Systeme als funktionsfähig vorausgesetzt werden, solange ihre Funktionsfähigkeit nicht durch die Auswirkungen des Ereignisses beeinträchtigt wird, d. h. das gleichzeitige Auftreten eines Einzelfehlers ist nicht zu unterstellen, auch ein gleichzeitiger Instandsetzungsfall wird nicht postuliert.

(2) Bei diesen Störfällen dürfen in der Druckführenden Umschließung die nach ASME-Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C Service Limits, zulässigen Spannungen nicht überschritten werden.

(3) Das Borierungssystem (betriebliches System zulässig) und die Systeme zur Wärmeabfuhr müssen so ausgelegt sein, dass ihre Funktionsfähigkeit unter diesen Ereignisbedingungen bzw. nach diesen Ereignissen gewährleistet ist und der Reaktor abgefahren werden kann.“

### 3 Beratungsgang

Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK ließ sich in seiner 2. Sitzung am 16.12.1999 von der GRS über die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Nachweisführung für ATWS-Ereignisse informieren.

In diesem Zusammenhang stellte die GRS fest, dass in einigen Anlagen vom frühzeitigen Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen zur Begrenzung des Anstiegs des Reaktordrucks Kredit genommen wird. Die Formulierung der RSK-Leitlinie lässt diese Vorgehensweise zu.

Die GRS führte aus, dass es auf Grund unterschiedlicher Kernausslegung Reaktoranlagen mit steilem und flachem Kurvenverlauf der Reaktivität in Abhängigkeit von der Moderatordichte („Moderatordichtefunktion“) gibt. Bei Anlagen mit steilem Verlauf kann der Leistungsanstieg durch die Reaktivitäts-Rückwirkungen der Moderatordichte ausreichend begrenzt werden, um den zulässigen Druck nicht zu überschreiten. Bei Anlagen mit flachem Verlauf ist zusätzlich ein Abschalten der HKP erforderlich.

Die GRS nahm im Hinblick auf die Maßnahmen zur Beherrschung der ATWS-Fälle eine Einteilung der Anlagen in drei Gruppen vor:

- Die 1300-MW-Anlagen Biblis A und B, Unterweser, Grafenrheinfeld und Grohnde haben eine aktive Abschaltung der HKP von RESA-K (ATWS-Signal). In Biblis A und B wurde dies 1989 nachgerüstet.
- Die Konvoi-Anlagen haben ein ATWS-Signal, das für die Anregung des Zusatzboriersystems genutzt wird, nicht aber für die Pumpenabschaltung. Unabhängig hiervon erfolgt eine Abschaltung der HKP durch den betrieblichen Pumpenschutz (Auslösung durch Dichtungsschutz in Brokdorf bei 17,1 MPa; in Emsland, Isar-2 und GKN-2 bei 18 MPa).
- Die Anlagen Obrigheim, Stade und GKN-1 haben Sicherheitsventile mit einer großen Abblasekapazität und benötigen daher keine Abschaltung der HKP.

Zu den Anlagen mit flacher Moderatordichtefunktion zählen die Anlagen Biblis A und B, Unterweser, Grafenrheinfeld, Grohnde und Brokdorf, zu den Anlagen mit steiler Moderatordichtefunktion die Anlagen Emsland, Isar-2, GKN-2 und KKP-2.

Der Ausschuss setzte auf seiner 5. Sitzung am 21.09.2000 die Beratung mit der Prüfung der Frage fort, ob die Kernausslegung bei den Anlagen, die eine Pumpenabschaltung benötigen, mittelfristig so verändert werden kann, dass eine Störfallbeherrschung auch ohne Pumpenabschaltung gewährleistet ist. Hierzu wurden die Betreiber angehört, die den Standpunkt vertraten, dass ATWS-Ereignisse als spezielle, sehr seltene Ereignisse der Sicherheitsebene 4a zuzuordnen sind. Entsprechend den RSK-Leitlinien für DWR sei es daher zulässig, alle Systeme als verfügbar anzunehmen sowie keinen Einzelfehler und keine Instandsetzung zu unterstellen.

Am Beispiel des auslegungsbestimmenden Ereignisses „Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung mit gleichzeitig postuliertem mechanischen Klemmen aller Steuerstäbe“ stellten die Betreiber exemplarisch die Berechnungsergebnisse bei ATWS dar.

Die Betreiber führten weiter aus, dass die sicherheitstechnische Zulässigkeit im Nachweisverfahren für Folgekerne für jeden Reaktorkern erbracht wird, da sich die Eigenschaften des Reaktorkerns von Zyklus zu Zyklus ändern. Der Nachweis erfolgt entweder durch explizite Berechnung z. B. der Leistungsdichte und Abschaltbarkeit für jeden Kern, oder durch den Nachweis anhand abdeckend gewählter Kernparameter. Im Hinblick auf den Reaktivitätseinfluss der Moderatorichte sind der Brennstoff-Temperaturkoeffizient, der Spektralkoeffizient des Kühlmittels und der Voidkoeffizient zu betrachten. Die stärkste Abhängigkeit von Variationen der Kernauslegung (z. B. Zykluslängenänderung) zeigt hierbei der Voidkoeffizient („Voidkurve“).

Die Betreiber legten dar, dass es prinzipiell drei Möglichkeiten der Wahl von abdeckenden Kernparametern für die abdeckende Voidkurve (Auslegungs-Voidkurve) zur Nachweisführung bei ATWS gibt:

- Wahl eines Grenzfalles, der aus physikalischen Gründen von Folgekernen nicht überschritten werden kann.

Dieses Verfahren wird in KKK, KWG und KBR angewendet. Da ein frühes Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen zu verstärkter Voidbildung führt, war die Wahl einer flachen, extrem konservativen „Erstern-Voidkurve“ möglich, bei der der zulässige Druckwert noch deutlich unterschritten wird.

- Wahl des Parameters, der in der Störfallanalyse gerade die zulässige Grenze erreicht.

Bei den Anlagen KKP-2, GKN-2 und KKE wurde, ohne vom Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen Kredit zu nehmen, eine „Void-Grenzkurve“ ermittelt, mit der der zulässige Druck knapp unterschritten wurde. Auf Grund der nötigen stärkeren Reaktivitätsrückwirkung ist diese Kurve steiler als die „Erstern-Voidkurve“.

- Wahl eines Parameters, der geplante Folgekerne abdeckt, jedoch keine Grenze erreicht. Bei Änderung der Planung müssen dann ggf. neue Nachweise geführt werden.

Dieses Verfahren wurde für die restlichen Anlagen gewählt, bei denen ebenfalls vom Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen Kredit genommen wird und unterschiedliche Void-Auslegungskurven zum Nachweis bei ATWS verwendet worden sind.

Das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen erfolgt zu Beginn der Transiente (Überschreitung des Druckwertes beim Pumpenschutz oder RESA-Kontroll-Signal).

Unter den Randbedingungen, dass

- die Anlagen im allgemeinen maximal im Jahreszyklus betrieben werden, und

- alle Brennelemente für Nachladungen mit Ausnahme von Biblis eine Anreicherung von ca. 4 % haben und entsprechend hohe Kernabbrände aufweisen,

deckt selbst die steilste Auslegungskurve (KKP-2, GKN-2, KKE) nach Aussage der Betreiber die Voidkurven heute üblicherweise realisierter Zyklen ab, so dass in der Realität ein ATWS-Ereignis auch ohne Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen nicht zum Überschreiten des zulässigen Druckes führen würde.

Ergänzend brachten die Betreiber ihre Erwartung zum Ausdruck, dass durch Abbau von Konservativitäten bei der Nachweisführung z. B. durch den Einsatz von Programmen mit einer 3D-Kernabbildung der Nachweis der Störfallbeherrschung auch ohne das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen gelingen könnte.

Andererseits wiesen sie darauf hin, dass das Abschalten der Pumpen zu einem erheblich günstigeren Druckverlauf bei ATWS führt. Die hiermit gewonnene größere Flexibilität wäre für den aus betrieblicher Sicht evtl. notwendigen Übergang auf längere Zyklen wünschenswert.

#### **4 Sicherheitstechnische Bewertung**

Die RSK legte ihrer Bewertung bei der Behandlung von ATWS-Fällen

- die RSK-Leitlinie für DWR (3. Ausgabe vom 14.10.1981, Kapitel 20),
- die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Bekanntmachung des Bundesministers des Inneren vom 21. Oktober 1977, Abschnitt 3, Kriterium 3.2) und
- die von der GRS ermittelte Praxis in Frankreich und in den USA

zugrunde. Die RSK-Leitlinie für DWR und die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke enthalten keine expliziten Aussagen zur Kreditnahme vom Abschalten der HKP bei Sicherheitsnachweisen zu ATWS. Nach Meinung der RSK ist die Vorgehensweise, vom Abschalten der HKP bei Sicherheitsnachweisen zu ATWS keinen Kredit zu nehmen, Stand von Wissenschaft und Technik. Dies entspricht der Praxis in Frankreich und den USA.

In ihrer Beratung stellt die RSK fest, dass die Nutzung der Abschaltung der Hauptkühlmittelpumpen zum Nachweis der Druckbegrenzung bei ATWS-Fällen formal nicht im Widerspruch zur RSK-Leitlinie steht.

Das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS ist eine sicherheitsgerichtete Maßnahme, die zu einer wirkungsvollen Begrenzung des Druckanstiegs führt und damit die auftretenden Beanspruchungen der Komponenten des Primärkreises reduziert. Sie sollte daher als ergänzende betriebliche Maßnahme beibehalten werden.

Unabhängig hiervon vertritt die RSK die Auffassung, dass die Störfallbeherrschung im Kurzzeitbereich durch ein inhärent sicheres Verhalten des Reaktorkerns in Verbindung mit dem selbsttätigen Öffnen der Sicherheitsventile ohne Kreditnahme von aktiv angesteuerten Maßnahmen wie z. B. dem Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen künftig gewährleistet sein muss.

## Beratungsunterlagen

- [1] Untersuchungen zu ATWS-Ereignissen  
RSK-Information AST2/5  
22.11.1999
  
- [2] Beschreibung der Behandlung von ATWS-Ereignissen in deutschen DWR-Anlagen  
und Einzeluntersuchungen zum Ereignisablauf  
S. Langenbuch, G. Höppner, W. Horche  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, 25.06.1999
  
- [3] Untersuchungen zu ATWS in deutschen DWR-Anlagen  
G. Höppner, H. Hörtnner, W. Horche, S. Langenbuch  
Bericht zur 2. Sitzung des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK  
am 16. Dezember 1999  
GRS, Folienkopien
  
- [4] AST-Information AST5/3.1 vom 05.09.2000
  
- [5] PreussenElektra Kernkraft  
ATWS-Ereignisse NTT-Dr. So/Len 14.09.2000, Folienkopien
  
- [6] ATWS-Fall: Ausfall Hauptspeisewasserversorgung  
Kopien von Folien der GRS zum Vortrag in der 5. Sitzung AST am 21.09.2000