
RSK - STELLUNGNAHME

Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor

07.07.2005 384. Sitzung

1 Beratungsauftrag

Die RSK hatte im Jahr 1998 über sicherheitstechnische 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. Die RSK bat dabei auch zu prüfen, ob bei Betriebstransienten mit unterstelltem Ausfall der Reaktorschnellabschaltung (ATWS: Anticipated Transients without Scram) zur Schaffung von Sicherheitsreserven ein ausreichend negativer Moderator-Temperaturkoeffizient und Void-Koeffizient durch Optimierung von Abbrand-Zykluszeit und Gadoliniumkonzentration erreicht werden kann, so dass von einem frühen Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) nicht Kredit genommen werden müsse. Der RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hatte dies in seiner 2. Sitzung am 16.12.1999 aufgegriffen und in seiner 7. Sitzung am 04.12.2000 den Entwurf einer Stellungnahme [1] abgeschlossen, den die RSK in ihrer 340. Sitzung am 03.05.2001 in überarbeiteter Form verabschiedete [2].

Mit Schreiben AG RS I 3 – 17018/1 vom 27.11.2002 [3] hatte das BMU die RSK [4] darüber informiert, dass es bei der Umsetzung der RSK-Stellungnahme seitens der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden zu Verständnisproblemen hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bewertung der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gekommen sei. Das BMU bat die RSK, die seitens Betreiber und Gutachter diesbezüglich vorgetragene Argumente zu prüfen, insbesondere im Hinblick auf die Frage, ob es durch die fortschreitende Auslegung der Reaktorkerne (Hochabbrand-Strategie sowie Einsatz von MOX-Brennelementen) und Leistungserhöhungen zu derartigen Änderungen des inhärenten Kernverhaltens kommen könne, die höhere Beanspruchungen zur Folge hätten und zusätzliche Sicherheitsaktionen bei ATWS-Ereignissen erforderlich machten [5-7]. Mit Schreiben AG RS I 3 - 17018/1 vom 04.03.2005 [8] bat das BMU die RSK, die Beratungen bis spätestens Mai 2005 abzuschließen.

2 Beratungsgang

Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hörte in seiner 17. Sitzung am 15.04.2003 einen Bericht der GRS über die Vorgehensweise bezüglich ATWS in den USA und in Frankreich an [9], [10]. Er beriet in seiner 24. Sitzung die weitere Vorgehensweise, setzte die Beratung in seiner 28. Sitzung

am 08.09.2004 mit einem Bericht des Herstellers fort [11], hörte in seiner 29. Sitzung am 21.10.2004 weitere Berichte der GRS [12] und des Herstellers [13] und beriet diese Berichte in seiner 31. Sitzung am 03.02.2005. In seiner 32. Sitzung am 30.03.2005 bat der Ausschuss eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe, den Entwurf einer Stellungnahme vorzubereiten, den er in seiner 33. Sitzung am 25.05.2005 unter Berücksichtigung der Kommentare und Unterlagen [14,15,16,17] beriet, aber aus Zeitgründen nicht abschließen konnte. In ihrer 383. Sitzung am 02.06.2005 befasste sich die RSK mit dem Entwurf. Eine weitere Ad-hoc-Arbeitsgruppe bereitete daraufhin auf Bitte der RSK in einer Sitzung am 01.07.2005 den Entwurf der Stellungnahme für die 384. Sitzung der RSK am 07.07.2005 vor.

3 Bewertungsmaßstäbe

Betriebstransienten mit unterstelltem Ausfall der Reaktorschnellabschaltung (ATWS-Ereignisse) gehören zu den zu betrachtenden postulierten sehr seltenen Ereignissen (Ebene 4a). Wegen ihrer geringen Eintrittshäufigkeit sind diese Ereignisse nicht den Störfällen zugeordnet.

Die in der vorliegenden Stellungnahme angewendeten Bewertungsmaßstäbe ergeben sich aus der grundsätzlichen Zielsetzung der Reduzierung der Gefährdungszustände für Ereignisse der Sicherheitsebene 4a. Dabei sind nachzuweisen:

- Die Reduzierung der Reaktorleistung durch inhärente Reaktivitätsbindung,
- die langfristige Sicherstellung der Reaktivitätsbindung (Unterkritikalität) durch ein zweites Abschaltssystem (Boreinspeisung),
- die Sicherstellung der Wärmeabfuhr und
- ein ausreichender Sicherheitsabstand zum Versagen der druckführenden Umschließung (DFU).

Entsprechend den RSK-Leitlinien (Ziffer 20 (1)) kann bei der Analyse von ATWS-Ereignissen grundsätzlich vom normalen Betriebszustand ausgegangen werden. In der Analyse sind 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.

Bei der Bewertung der Berücksichtigung des Abschaltens der Hauptkühlmittelpumpen in der Analyse von ATWS-Ereignissen sind zudem die BMI-Sicherheitskriterien 3.2 („Inhärente Sicherheit“) sowie 5.3 („Einrichtungen zur Steuerung und Abschaltung des Reaktors“) heranzuziehen.

Bei ATWS-Ereignissen dürfen in der Druckführenden Umschließung die zulässigen Beanspruchungen nach ASME Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C nicht überschritten werden.

Systeme zur Borierung und zur Wärmeabfuhr müssen so ausgelegt sein, dass ihre Funktionsfähigkeit unter diesen Ereignisbedingungen bzw. nach diesen Ereignissen gewährleistet ist und der Reaktor abgefahren werden kann (RSK-Leitlinien (Ziffer 20 (3))).

4 Beantwortung der Fragen des BMU

Die RSK beantwortet die vom BMU gestellte Frage,

„ob es durch die fortschreitende Auslegung der Reaktorkerne (Hochabbrand-Strategie sowie Einsatz von MOX-Brennelementen) und Leistungserhöhungen zu derartigen Änderungen des inhärenten Kernverhaltens kommen kann, die höhere Beanspruchungen zur Folge haben und Sicherheitsaktionen bei den ATWS-Ereignissen erforderlich machen“

wie folgt:

Die in den letzten Jahren realisierten Kernausslegungen (Erhöhungen der Anreicherung mit Uran-235, Abbranderhöhungen sowie der Einsatz von MOX-Brennelementen) haben in der Summe ihrer Auswirkungen auf das inhärente Kernverhalten - bei den heute üblichen Zyklusdauern - zu einem günstigeren reaktorphysikalischen Rückkopplungsverhalten beim ATWS geführt (stärker negative Reaktivitätsrückwirkung bei Abnahme der Kühlmitteldichte (Void-Kurve)).

Andererseits jedoch zeigte sich durch Weiterentwicklungen in den ATWS Analysemethoden, dass es

- bei Berücksichtigung der Änderungen, die sich infolge von Temperaturerhöhungen des Kühlmittels im Neutronenspektrum ergeben (Spektraleffekt), sowie
- beim Einsatz fortgeschrittener Analysemethoden zur Berechnung des Ausdampfverhaltens der Dampferzeuger

bei sonst unveränderten Randbedingungen zu einem Anstieg des berechneten Druckmaximums im Primärsystem kommt.

Zudem zeigen der RSK präsentierte Ergebnisse für vorgenommene Erhöhungen der thermischen Reaktorleistung beim ATWS-Ereignis „Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung“, dass bei sonst unveränderten Randbedingungen höhere als bisher berechnete Druckmaxima im Primärsystem auftreten.

Diese letzteren, für den ATWS Druckverlauf ungünstigen Einflüsse haben in den Fällen, in denen die Nachweise nicht mit den zyklusspezifischen Void-Kurven durchgeführt wurden, sondern mit Void-Kurven, die die zyklusspezifischen Void-Kurven in die ungünstige Richtung abdecken (Auslegungsvoidkurve), dazu geführt, dass die Berücksichtigung von in den Anlagen technisch schon realisierten Systemfunktionen, wie das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen, in den Analysen erforderlich geworden ist. Die

Berücksichtigung des Abschaltens der Hauptkühlmittelpumpen führte über die damit einhergehende stärkere Abnahme der Kühlmitteldichte auch unter Berücksichtigung der o. g. ungünstigen Einflüsse sowie bei Verwendung der Auslegungsvoidkurven zu einer für die Nachweisführung ausreichenden Begrenzung des berechneten Druckmaximums.

Bei Rechnungen, die mit zyklusspezifischen Void-Kurven durchgeführt wurden, war es trotz der o. g. ungünstigen Einflüsse bisher nicht erforderlich, das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen zu berücksichtigen, um die gemäß RSK-LL Ziffer 20 (2) maximal zulässigen Spannungen in der Druck führenden Umschließung bzw. den daraus abgeleiteten maximal zulässigen Druck einzuhalten.

Diese Situation könnte sich zukünftig anders darstellen, wenn Kerne für längere Zyklusdauern als heute üblich ausgelegt und/oder keine MOX-Brennelemente mehr beladen werden.

5 Schlussfolgerung

Entsprechend des Beratungsauftrages des BMU hat die RSK die seitens des Herstellers, der Betreiber und der GRS vorgetragenen Argumente geprüft und ist zu den in den Abschnitten 5.1 und 5.2 dargelegten Ergebnissen gelangt.

5.1 Vergleich der deutschen Anforderungen mit denen in Finnland, Frankreich und in den USA bei den Nachweisen zur Beherrschung von ATWS-Ereignissen

Im Unterschied zur deutschen Vorgehensweise ist in den USA und in Frankreich bei Nachweisen zu ATWS lediglich von einem Versagen des Steuerelementeinfalls durch ein fehlendes Signal oder durch ein mechanisches Versagen der Schalter in der Stromversorgung der Haltespulen für die Steuerelemente auszugehen. Ein mechanisches Blockieren der Steuerelemente ist in den USA und in Frankreich nicht zu unterstellen. In den USA werden für den Nachweis der ausreichenden Schadensvorsorge bei ATWS hinsichtlich des Ausfalls der KMT-Regelung in den ersten zehn Minuten keine Steuerstabbewegungen angenommen, sofern es sich nicht um einen ATWS-Notstromfall handelt.

Für die Planungen des finnischen EPR wird die Beherrschung eines ATWS als Auslegungsstörfall bei vollständigem Nicht-Einfallen der Steuerstäbe gefordert. Die Maßnahme des Abschaltens der Hauptkühlmittelpumpen bei einem ATWS als leittechnisch hochwertig ausgeführte Maßnahme bzw. die Berücksichtigung dieser Maßnahme bei Nachweisen zur Beherrschung von ATWS ist in Finnland zulässig. Bei den ATWS-Nachweisen für den finnischen EPR sind konservative Randbedingungen mit Berücksichtigung des Einzelfehlerkonzepts anzuwenden.

Die im Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK vorgetragenen erforderlichen Sicherheitsnachweise zur Beherrschung von ATWS für DWR-Anlagen in Finnland, Frankreich und den USA sind sehr unterschiedlich. So werden in den USA u. a. nicht nur deterministische Nachweise geführt.

Eine Übertragung dieser Vorgehensweisen ist wegen der unterschiedlichen Anforderungen und Nachweiskriterien aus Sicht der RSK nicht sinnvoll.

5.2 Berücksichtigung des Abschaltens der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) bei den Nachweisen zur Beherrschung von ATWS-Ereignissen

In der deutschen Nachweispraxis zur Beherrschung von ATWS-Ereignissen wird der dauerhafte Nichteinfall aller Steuerelemente unterstellt. Dabei war in der jüngeren Vergangenheit für einige Anlagen wegen der in Abschnitt 4 dargestellten Einflüsse wichtiger Parameter auf der Basis bereits vorhandener Anregesignale die Abschaltung der HKMP in die analytische Nachweisführung neu eingeführt worden. Unabhängig davon wurde und wird in der Nachweispraxis - wie international üblich - von weiteren, sowohl primär- als auch sekundärseitig automatisch eingeleiteten Maßnahmen im Kurzzeitbereich Kredit genommen.

Die RSK kommt vor dem Hintergrund der geführten Beratungen zu folgendem Ergebnis:

Mit der Formulierung zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen in der Stellungnahme der RSK (Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 340. Sitzung der RSK am 03.05.2001) „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.“ ist beabsichtigt gewesen, den Schwerpunkt auf die inhärent sichere Auslegung des Reaktorkerns zu legen. Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 4 dargestellten Argumente bedarf es aus Sicht der RSK folgender Neubestimmung der hinsichtlich der ATWS-Ereignisse einzuhaltenden Anforderungen:

1. Der Reaktorkern ist so auszulegen, dass es infolge der gemäß den RSK Leitlinien zu unterstellenden ATWS-Ereignissen
 - a) nicht zu einem Integritätsverlust der Druckführenden Umschließung,
 - b) nicht zu einem Verlust der Kühlbarkeit des Reaktorkerns sowie
 - c) nicht zu einem Verlust der dauerhaften Abschaltbarkeit des Reaktorkerns

kommt.

Die Integrität der Druckführenden Umschließung ist gewährleistet, wenn die nach ASME Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C Service Limits, zulässigen Beanspruchungen in der Druckführenden Umschließung nicht überschritten werden.

Die Kühlbarkeit des Reaktorkerns ist nachzuweisen. Die Kühlbarkeit ist dann gewährleistet, wenn kein DNB (Departure from Nucleate Boiling) auftritt; andernfalls sind andere Kriterien, wie z. B. die Restduktilität der Hüllrohre zur Bewertung heranzuziehen und bezüglich ihrer Eignung zu bewerten.

Die dauerhafte Abschaltung des Reaktorkerns ist durch Boreinspeisung gemäß RSK Leitlinien Ziffer 20 (3) sicherzustellen. Die dauerhafte Abschaltbarkeit des Reaktorkerns ist sichergestellt, wenn die Kühlbarkeit des Reaktorkerns gewährleistet ist.

2. Die Analyse kann mit realistischen Anfangs- und Randbedingungen durchgeführt werden. Als Anfangszustand ist vom quasistationären Leistungsbetrieb im ungünstigsten Zykluszeitpunkt auszugehen. Hinsichtlich der Reaktivitätsrückwirkung sind abdeckende Werte zu berücksichtigen.
3. Mit Ausnahme der als gestört angenommenen Maßnahmen oder Einrichtungen können generell alle übrigen Systeme als funktionsfähig vorausgesetzt werden, solange ihre Funktionsfähigkeit nicht durch die Auswirkungen des Ereignisses beeinträchtigt wird.

Im Kurzzeitbereich (Zeit bis einschließlich des Druckmaximums) können im Rahmen der Analyse von ATWS-Ereignissen nur Funktionen mit höherwertiger Ansteuerung (Kapitel 7 RSK-LL- Kategorie 1 und 2) berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass das Abschalten der HKMP bei entsprechender Auslegung der Ansteuerung in der Analyse von ATWS-Ereignissen berücksichtigt werden kann.

Die RSK empfiehlt, dass die Betreiber in etwa einem Jahr der RSK zu folgenden Punkten berichten:

- Anwendung und Eignung der Kühlbarkeitskriterien,
- Sensitivität der Einflussgrößen auf das Nachweisziel,
- Überblick, welcher Lastzustand und Zykluszeitpunkt zu ungünstigsten Ergebnissen bei den ATWS Ereignissen führt,

Ergänzend bittet die RSK, dass über die oben behandelte Fragestellung hinaus die Betreiber in etwa einem Jahr zu folgenden Punkten berichten:

- Darstellung der Konsistenz der Belastungsvorgaben und
- Darstellung der vollständigen Erfüllung des ASME Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C Service Limits.

Beratungsunterlagen

- [1] Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 7. Sitzung des RSK-Ausschusses ANLAGEN-UND SYSTEMTECHNIK am 04.12.2000
ATWS-Ereignisse
Entwurf/STELLUNGNAHME

- [2] Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 340. Sitzung der RSK am 03.05.2001
ATWS-Ereignisse
STELLUNGNAHME

- [3] Schreiben des BMU Az. AG RS I 3 – 17018/1 vom 27.11.2002
Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren
340. Sitzung der RSK am 03.05.2001

- [4] Auszug aus dem Protokoll der 358. Sitzung der RSK am 23.01.2003
TOP 3.4: Beratungsaufträge des BMU

- [5] Schreiben des TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. Energie und Systemtechnik ETB-Ka/KKE-01.1 vom 13.06.2002
Kernkraftwerk Emsland (KKE)
Atomrechtliches Aufsichtsverfahren
Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen

- [6] Schreiben E.ON Kernkraft TG-Dr.Mf/Ost vom 01.03.2002
Kernkraftwerke Unterweser, Stade, Grohnde, Grafenrheinfeld, Isar 2, Brokdorf
Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen

- [7] Framatome ANP
Arbeitsbericht NGES1/2002/de/0039 vom 18.02.2002
ATWS-Beherrschung bei DWR
Internationale und deutsche Vorgehensweise

-
- [8] Schreiben des BMU RS I 3 – 17018/1 vom 04.03.2005
Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-
Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren
340. Sitzung der RSK am 03. Mai 2005
- [9] TOP 4: Informationen zur Behandlung von ATWS
S. Langenbuch, GRS, 15.04.2003, Folienkopien
- [10] AST-Information AST 24/3 vom 08.01.2004
Zusammenstellung der Beratungen zum Themenbereich Berücksichtigung des 1,2-
bzw. 1,3-fachen Auslegungsdrucks bei Nachweisen zu ATWS in der RSK und in den
Ausschüssen DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE und
ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK
mit 7 Anlagen
- [11] Framatome ANP, ATWS-Präsentation
Framatome ANP GmbH
RSK-AST-Sitzung am 08.09.2004
Folienkopien
- [12] Zusätzliche Informationen zur ATWS-Behandlung für Westinghouse-DWR-Anlagen
und derzeitige Anforderungen an die nuklearen Reaktivitätsrückwirkungen in
deutschen DWR-Anlagen
S. Langenbuch, GRS, Folienkopien, 21.10.2004
- [13] Framatome ANP
RSK-AST-Sitzung am 20.10.2004
Folienkopien
- [14] Horst Nagel
Richard Donderer
Entwurf/Stellungnahme
Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-
Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor
Kiel, 21.04.2005

-
- [15] ILK-Stellungnahme zu Anforderungen bei Betriebstransienten mit unterstelltem Ausfall der Schnellabschaltung (ATWS)
März 2005, Nr. ILK-20
- [16] Horst Nagel
Richard Donderer
Entwurf/Stellungnahme
Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS-Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor
Kiel, 21.04.2005: Anmerkungen Waas (e-Mail vom 11.04.2005)
- [17] K.Keckeis, 23.05.2005
ATWS
Entwurf/Stellungnahme der RSK zum Abschalten der HKMP bei ATWS-Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren, AG-AST vom 18.04.2005
- [18] G. Höppner, H. Hörtner, W. Horche, S. Langenbuch, GRS
Untersuchungen zu ATWS in deutschen DWR-Anlagen
Bericht zur 2. Sitzung des RSK-Ausschusses Anlagen- und Systemtechnik
am 16. Dezember 1999