

## **RSK - STELLUNGNAHME**

**Wirbelstrombefunde an Steuerelementen** - Meldepflichtige Ereignisse 02/2003 im Kernkraftwerk Brokdorf, 02/2004 im Kernkraftwerk Neckarwestheim, Block 2, und 08/2004 im Kernkraftwerk Emsland

07.07.2005 (384. Sitzung)

### **INHALT**

- 1 Veranlassung
- 2 Sicherheitstechnische Bedeutung
- 3 Beratungsauftrag und -ablauf
- 4 Beratungsgang
- 5 Bewertungsmaßstäbe
- 6 Beratungsergebnis
- 7 Beantwortung der Fragen des BMU
- 8 Unterlagen

## **1 Veranlassung**

Bei den 2002 und 2003 durchgeführten Wirbelstromprüfungen (WS-Prüfungen) an den Steuerelementen (SE) im Kernkraftwerk Brokdorf (KBR) wurden an vier bzw. neun SE (16 x 16-Konfiguration) Defekte festgestellt. Es wurden geringe Überschreitungen der Fertigungstoleranz des Hüllrohrdurchmessers und bei den visuellen Inspektionen axial verlaufende feine Risse ohne sichtbare Aufklaffung festgestellt. In den Kernkraftwerken Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim, Block 2 (GKN-II), und Emsland (KKE) wurden in 2004 zwei bzw. drei entsprechende Defekte an je 61 untersuchten SE festgestellt (18 x 18-Konfiguration).

## **2 Sicherheitstechnische Bedeutung**

Die Steuerstäbe gehören als Stellglied des Schnellabschaltsystems zu den wesentlichen sicherheitstechnischen Einrichtungen eines Kernkraftwerkes. Das Schnellabschaltsystem muss jederzeit in der Lage sein, den Reaktor abzuschalten und zusammen mit den sonstigen Abschalteinrichtungen dauerhaft im unterkritischen, leistungslosen Zustand zu halten. Die Nichtverfügbarkeit eines einzelnen SE (Versagen des reaktivitätswirksamen Steuerelements) wird in der Auslegung des Abschaltsystems als Einzelfehler berücksichtigt.

## **3 Beratungsauftrag und -ablauf**

Mit Schreiben vom 01.10.2004 (Az.: AG RS I 3 – 17018/1) wurde die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) vom BMU mit der Beratung zu den vorgenannten Vorkommnissen beauftragt. Von der RSK sollten die in den bisherigen Beratungen vorgestellten Betreibermaßnahmen (Austausch befundbehafteter SE, WS-Prüfungen aller SE ab einer Fluenz von  $30 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  vor dem Einsatz, Prüfung ca. 25 % der übrigen SE bei jedem BE-Wechsel) bewertet werden.

Die Beratungen zu dem Vorkommnissen wurden in den RSK-Ausschüssen DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE (45. Sitzung am 22.06.2004) und REAKTORBETRIEB (157. Sitzung am 21.01.2004, 162. Sitzung am 20.10.2004 und 165. Sitzung am 25.02.2005) abgehalten. Im Rahmen der Beratungen wurden Berichte des Herstellers der BE, des Sachverständigen und der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) vorgetragen. Die RSK hat die Stellungnahme in ihrer 384. Sitzung am 07.07.2005 beraten und verabschiedet.

## **4 Beratungsgang**

### **157. RB-Sitzung am 21.01.2004**

Der Hersteller Framatome ANP erläuterte das Betriebsverhalten von DWR-Steuerstäben und stellte technische Details zum Aufbau und zur Auslegung der in KBR betroffenen Steuerstäbe vom Typ 16 x 16 vor. Bei einer maximal zulässigen Rückdehnung von 0,75 % für den 16 x 16 Steuerstabtyp sei vom Hersteller konservativ eine zulässige Neutronenfluenz von  $49 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  festgelegt worden<sup>1</sup>. Die

---

<sup>1</sup> Alle Fluenzangaben beziehen sich auf Energien > 0,6 eV.

anlagenübergreifende Auswertung der Betriebserfahrung mit diesen SE habe bei ca. 150 Elementen Überschreitungen der Auslegungsneutronenfluenz ergeben, die aber nur in wenigen Fällen zu Schäden geführt hätten. Die in KBR in 2002 und 2003 ermittelten SE-Defekte seien bereits ab einer Neutronenfluenz von  $44 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  aufgetreten.

Auswertungen von Durchmesseränderungen an Steuerstäben des gleichen Typs hätten ergeben, dass bereits bei geringen Fluenzen ( $20 - 25 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ ) eine deutliche Rückdehnung des Hüllrohres festzustellen sei. Der Durchmesser nehme entsprechend der Absorberschwellrate langsam zu, diese Werte lägen aber unter den konservativ berechneten. Es seien aber auch Dehnraten gemessen worden, die über diesen Werten lägen. Belastbare Erklärungen für dieses Verhalten gebe es nicht. Die Schadenshypothese des Herstellers sei, dass sich in Einzelfällen durch das Verklemmen des Absorbers im Hüllrohr eine erhöhte radiale Dehnraten ergeben könne, da in axialer Richtung keine Bewegungen des Absorbers möglich sei (anisotropes Schwellen).

Aus der Betriebserfahrung mit diesen Stahlhüllrohren habe sich gezeigt, dass auch bei Rückdehnungen  $< 0,75 \%$  beim Überschreiten einer bestimmten Dehngrenzgeschwindigkeit Hüllrohrdefekte auftreten könnten. Die kritische Dehngeschwindigkeit liege bei ca.  $0,1 - 0,3 \%$  für eine Neutronenfluenz von  $10^{21} \text{ cm}^{-2}$ . Unter ungünstigen Bedingungen (Verklemmen der Absorbersäule) könne das Schwellen des Absorbers AgInCd zu einer Dehngeschwindigkeit des Hüllrohres im Bereich der kritischen Dehngeschwindigkeit führen.

Zu den Befunden in KBR erläuterte der Hersteller, dass die bei der Fertigung der Steuerstabhüllrohre seinerzeit aufgetretenen Oberflächenfehler (Überwalzungen) kein hinreichender Grund für die hohe Defektrate seien, da aus dem gleichen Material hergestellte Hüllrohre in anderen Anlagen ohne Befund seien. Eine metallografische Untersuchung der defekten Hüllrohre sei nicht erfolgt, weil nicht klar sei, nach welchen Ursachen zu suchen sei. Erschwerend komme hinzu, dass bei Untersuchungen in der heißen Zelle nur wenig Probenmaterial verwendet werden könnte. Die Aussagefähigkeit dieser Untersuchungen sei daher von vorn herein sehr eingeschränkt.

Zusammenfassend führte der Hersteller aus, dass in KBR eine Häufung von Defekten bei Fluenzen bereits ab ca.  $44 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  festgestellt worden sei. Die Schäden seien durch anisotropes Absorberschwellen aufgrund eines Verklemmens des Absorbers erklärbar. Die Häufung der Schäden in KBR bleibe jedoch ungeklärt. Vorsorglich würden in KBR zukünftig bei jedem BE-Wechsel alle Steuerelemente mit einer Fluenz  $\geq 30 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  mittels Wirbelstromprüfung auf Defektfreiheit geprüft. In den übrigen EON-DWR-Anlagen würde diese Prüfung vorsorglich bei jedem BE-Wechsel an SE mit einer Fluenz von ca.  $40 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  durchgeführt. Steuerelemente mit defekten Steuerstäben würden ausgetauscht. Ihr Einsatz sei jedoch prinzipiell unbedenklich, da die Abschaltwirksamkeit aus folgenden Gründen nicht beeinträchtigt sei:

- Bei defekten Steuerstäben sei keinerlei Auswaschen des Absorbers festgestellt worden.
- Es sei ein sehr großes radiales Spiel zwischen Steuerstab und Führungsrohrinnendurchmesser vorhanden, so dass auch bei verstärktem Schwellen eine Behinderung des Einfallens in den Kern bei einer Einsatzdauer von max. einem Zyklus auszuschließen sei.
- Der Absorber reiche bei Anlagen mit 16 x 16-Konfiguration nicht in den Stoßdämpferbereich hinein.
- Bisher seien aus dem Betrieb von defekten Steuerstäben über den Zyklus, in dem sie defekt gingen, keine Probleme erkennbar gewesen.

- Der Einsatz von Steuerstäben mit Anrissen über mehr als einen Zyklus habe bisher keine Besonderheiten ergeben.

Der Sachverständige bestätigte die Aussagen des Herstellers. Bei den Prüfungen der befundbehafteten SE seien geringe Überschreitungen der Fertigungstoleranz des Hüllrohrdurchmessers um max. 5 µm und bei den visuellen Inspektionen axial verlaufende feine Risse ohne sichtbare Aufklaffung festgestellt worden. Ein Vergleich der Fallzeitmessungen der betroffenen SE mit denen vor der Revision habe keine Auswirkungen der Befunde erkennen lassen. Das Einfallen der SE sei bei den gemessenen Dehnungen bzw. Aufweitungen der SE nicht behindert und ihre sicherheitstechnische Funktion nicht beeinträchtigt. Vom Betreiber seien Wirbelstromprüfungen an allen SE mit Fluenzen  $\geq 30 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  vor ihrem Einsatz und weitere Prüfungen an 25 % der übrigen SE bei jeder Revision eingeführt worden. Befundbehaftete SE seien ausgetauscht worden.

Die vom Betreiber vorgesehenen WS-Prüfungen seien geeignet, Risse an SE sicher zu erkennen. Die Betriebserfahrung zeige, dass solche Risse vereinzelt bei Fluenzen  $\geq 30 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  aufgetreten seien, größtenteils jedoch bei Fluenzen  $\geq 40 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ . Die getroffenen Maßnahmen des Betreibers seien daher geeignet, die erforderliche Schadensvorsorge zu gewährleisten. Die vom Hersteller vorgestellte Schadenshypothese sei nachvollziehbar und könne die Befunde erklären. Ob sie zutreffe, könne vom Gutachter nicht beurteilt werden.

#### **47. DKW-Sitzung am 22.06.2004**

Die GRS stellte eine Übersicht über meldepflichtige Ereignisse (ME) zu Befunden an SE vor. Ab dem Jahre 1990 habe es vergleichbare ME (1990 in KWO, 2002 in KWB-A, 2002 und 2003 in KBR) gegeben. In allen Fällen hätten Längsrisse am unteren Ende vorgelegen. Die Durchmesseränderung durch Absorberschwellen hätten in KWB-A bei ca. 0,5 - 0,7 % gelegen; in dieser Anlage hätte es andere Finger mit einem entsprechenden Vergleichswert von 0,6 - 0,8 % gegeben.

Nach Darlegung der GRS lagen folgende Mechanismen vor:

- Bestrahlungsinduziertes „Niederkriechen“ des Hüllrohres: Etwa -0,2 % Dehnung (abhängig von Herstellungstoleranzen/Spaltbreite), d. h. der Spalt zwischen Absorber und Hüllrohr werde geschlossen.
- Bestrahlungsinduziertes Schwellen des Absorbers AgInCd: „Rückdehnung“ des Hüllrohres, d. h. für Fluenzen  $> 49 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  könnten Rückdehnungen  $> 0,75 \%$  auftreten.
- Bestrahlungsinduzierte Versprödung des Hüllrohres: Rissbildung durch Dehnungerschöpfung bei Dehnungen  $> 0,75 \%$  sei möglich. Die Auslegungswerte lägen bei  $49 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ .

Bei einem fertigungsbedingten Durchmesser des Hüllrohres von  $10,2 \pm 0,5 \text{ mm}$  lasse sich aus der Messung des Durchmessers nach Bestrahlung kein Rückschluss auf die Durchmesseränderung ziehen. Diese werde vielmehr durch Relativmessungen im Vergleich mit dem von Bestrahlung unbeeinflussten Hüllrohrbereich bestimmt. Das Ausmaß des Niederkriechens könne jedoch auch dabei nicht erfasst werden, so dass die Rückdehnung nicht genau ermittelt werden könne.

Der Hersteller Framatome ANP und der Sachverständige wiederholten ihre Berichte zur 157. RB-Sitzung. Der Sachverständige berichtete dem Ausschuss weiterhin über aktuelle Ergebnisse von WS-Prüfungen. Die Erfahrungen aus der zweiten Prüfkampagne in der Anlage KBR hätten gezeigt, dass alle Befunde innerhalb eines BE-Zyklusses aufgetreten seien.

#### **162. RB-Sitzung am 20.10.2004**

Der RSK-Ausschuss REAKTORBETRIEB nahm das Beratungsergebnis des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE zur Kenntnis. Da zwischenzeitlich vom BMU ein Beratungsauftrag [1] erteilt worden war, beschloss der Ausschuss seine Beratungen fortzusetzen. Bei der Beratung sollten auftragsgemäß weitere Befunde an SE in den Anlagen GKN-II und KKE aus 2004 berücksichtigt werden.

#### **165. RB-Sitzung am 25.02.2005**

Der Hersteller AREVA (früher Framatome ANP) stellte den aktuellen Kenntnisstand der Befunde dar. In den Anlagen KKE und GKN-II seien drei bzw. zwei Risse an je 61 untersuchten SE mit maximalen Fluenzen von  $38 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  festgestellt worden (18 x 18-Konfiguration). Die betroffenen Steuerstäbe hätten maximale Fluenzen von 32,8 bzw.  $36,4 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  aufgewiesen. In der Anlage KBR seien seit 2003 vier weitere Befunde an SE (16 x 16-Konfiguration) bei Fluenzen von maximal  $48,5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  festgestellt worden.

Die Häufung der Schäden in KBR, GKN-2 und KKE sei nicht erklärbar, der Wissensstand seit 2003 sei unverändert. Die höhere Defektrate sei bisher nur in KBR, KKE und in GKN-2 festgestellt worden. Deshalb würden in diesen Anlagen vorsorglich bei jedem BE-Wechsel alle Steuerelemente, die über eine Fluenz von  $30 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  (KKE ab Fluenz von  $25 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ ) hinaus eingesetzt werden sollten, mittels Wirbelstromprüfung auf Befundfreiheit geprüft. Zur weiteren Verfolgung des Betriebsverhaltens und zur Erweiterung der Datenbasis bzgl. Durchmesseränderungen an Steuerstäben des Typs 18 x 18 würden in den betroffenen Anlagen – wie bisher – ergänzend Durchmessermessungen an ausgewählten Steuerstäben durchgeführt. Steuerelemente mit befundbehafteten Steuerstäben würden weiterhin ausgetauscht. Steuerelemente ohne Befund könnten unabhängig von der akkumulierten Fluenz wieder eingesetzt werden.

Der Sachverständige bestätigte in seinen Ausführungen die Aussagen des Herstellers. Die neuen Befunde lägen vermehrt im Bereich von niedrigeren Fluenzen. Die Art der Wirbelstromsignale der Befunde in GKN-II und KKE sowie ihre axiale Lage sei identisch mit den Befunden in den Revisionen 2002 und 2003. Bei der visuellen Inspektion seien mit den Wirbelstromsignalen übereinstimmend vereinzelt feine Risse ohne sichtbare Aufklaffung beobachtet worden. Bei den befundbehafteten Steuerelementen hätten sich keine Auffälligkeiten bei Vergleich der Fallzeitmessungen mit denen unmittelbar vor der Revision gezeigt.

Die bisher bekannten Ergebnisse stützten die Ursachenhypothese des Herstellers. Heißzellenuntersuchungen in Frankreich hätten eine feste Bindung zwischen Absorber und Hüllrohr im Schwellbereich gezeigt. Das Absorberschwellen werde hauptsächlich durch den Neutronenfluss verursacht. Untersuchungen in Japan und Frankreich kämen zu ähnlichen Ergebnissen.

Zur sicherheitstechnischen Bewertung führte der Sachverständige aus, dass

- die sicherheitstechnische Funktion der Steuerelemente auch bei verstärktem Absorberschwellen und Rissbildung gewährleistet sei,
- ein Weiterbetrieb von Steuerelementen bis zum Zyklusende, bei denen während des laufenden Zyklus ein Riss auftritt, die sicherheitstechnische Funktion nicht in Frage stelle,
- Wirbelstromprüfungen geeignet seien, derartige Defekte sicher zu erkennen,
- die gewählten Grenzwerte für die Wirbelstromprüfung den anlagenspezifischen Erfahrungsbereich, bei dem Defekte aufgetreten sind, konservativ abdecke und
- befundbehaftete Steuerelemente ausgetauscht werden sollten.

Die vom Hersteller geschilderten Maßnahmen seien insgesamt geeignet, die erforderliche Schadensvorsorge zu gewährleisten.

## **5 Bewertungsmaßstäbe**

Die Bewertung durch die RSK gemäß Stand von Wissenschaft und Technik unterliegt folgenden Aspekten:

- Einhaltung der Vorgaben der betrieblichen Regelungen sowie der Anforderungen aus Spezifikationen und Anforderungen des kerntechnischen Regelwerkes.
- Ausreichende Sicherheitsabstände zum Erhalt des Schutzzieles „Sicherstellung der Unterkritikalität“.
- Umfang und Art der wiederkehrenden Prüfungen müssen geeignet sein, Schäden an SE in den Revisionen zu erkennen.
- Betriebserfahrungen mit rissbehafteten DWR-SE.

## **6 Beratungsergebnis**

Die RSK stimmt der Auffassung des Sachverständigen zu, dass auch bei Rissbildung an einem Steuerelement während eines Zyklus eine sicherheitstechnischen Beeinträchtigung der Funktion des SE nicht zu erwarten ist, da die Aufweitung des Steuerelementes bei Rissen im Vergleich zu dem Spiel zum Führungsrohr gering ist und potenzielle Auswaschungen hinsichtlich der Abschaltwirksamkeit des Steuerelementes lokal begrenzt und unbedenklich bleiben.

Unabhängig davon empfiehlt die RSK die Umsetzung folgender Maßnahmen für alle DWR:

- Zu Beginn eines Zyklus sollen keine befundbehafteten SE eingesetzt werden. Befundbehaftete SE sind zu ersetzen.
- Die Prüfgrenzen (Fluenz) für SE sollten BE-abhängig und nicht anlagenspezifisch festgelegt werden. Bei der Überschreitung folgender Fluenzen sollten nach Ansicht des Ausschusses Prüfungen dieser SE

vorgenommen werden:  $30 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  bei 15 x 15- und 16 x 16-Konfigurationen und  $25 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  bei 18 x 18-Konfigurationen.

- 25 % aller SE sollten weiterhin bei jedem BE-Wechsel unabhängig von der Fluenz geprüft werden.

Unbefriedigend bleibt, dass die Unterschiede in den Schadensumfängen der festgestellten SE-Schäden in den einzelnen Anlagen nicht erklärbar sind und die Ursache nicht zweifelsfrei geklärt ist. Neben der dargestellten Rissbildung aufgrund anisotropen Absorberschwellens sind auch Korrosionsmechanismen nicht auszuschließen. Insgesamt wären mehr Informationen über Korrosionsart und evtl. beitragende Faktoren wünschenswert. Sollten unterhalb der empfohlenen Prüfgrenzen zukünftig Befunde auftreten, empfiehlt die RSK die Ursache mit Hilfe werkstofftechnischer Untersuchungen zu bestimmen. Unabhängig davon ist nach Meinung der RSK das Ergebnis der sicherheitstechnischen Bewertung des Sachverständigen eindeutig.

## **7 Beantwortung der BMU-Fragen**

Die RSK beantwortet den Beratungsauftrag des BMU [1] wie folgt:

Es bestehen keine Bedenken gegen die von den Betreibern vorgestellten Maßnahmen (Austausch befundbehafteter SE, WS-Prüfungen aller SE ab einer Fluenz von  $30 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  vor dem Einsatz, Prüfung ca. 25 % der übrigen SE bei jedem BE-Wechsel) für Anlagen mit 15 x 15- und 16 x 16-Konfigurationen. Bei Anlagen mit 18 x 18-Konfigurationen sollte die Prüfgrenze auf  $25 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  festgesetzt werden. Sollten unterhalb der empfohlenen Prüfgrenzen Befunde auftreten, empfiehlt die RSK die Ursache mit Hilfe werkstofftechnischer Untersuchungen zu bestimmen.

## **8      Unterlagen**

- [1]      Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Wirbelstrombefunde an Steuerelementen  
Beratungsauftrag vom 01.10.2004, Az.: AG RS I 3 – 17018/1