
RSK - STELLUNGNAHME

403. Sitzung am 08.11.2007

***Folgerungen aus Schäden am Mantelrohr von stillgelegten Druckhalter-Heizstäben im Kernkraftwerk
Biblis, Block B , festgestellt am 03.10.2005***

1	Beratungsauftrag	2
2	Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund	2
3	Bewertungsmaßstäbe	2
4	Beratungsgang.....	3
5	Ergebnisse der Beratungen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE.....	6
6	Empfehlungen	7

1 Beratungsauftrag

Im Zuge der Billigung des Ergebnisprotokolls der 63. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE in der 64. Sitzung am 21.06.2006 bat das BMU, die dem Ergebnisprotokoll beigelegte Anlage 1 „Kernkraftwerk Biblis, Block B (KWB-B) *Schäden am Mantelrohr von stillgelegten Druckhalter-Heizstäben im Kernkraftwerk Biblis, Block B (KWB-B), festgestellt am 03.10.2005 (Weiterleitungsnachricht WLN 2006/02)*“ zu überarbeiten und in Form einer RSK-Stellungnahme abzugeben.

2 Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund

Der RSK-Ausschuss REAKTORBETRIEB hatte in der 173. Sitzung am 29.03.2006 die Weiterleitungsnachricht (WLN 2006/02) „Schäden am Mantelrohr von stillgelegten Druckhalter-Heizstäben“ im Kernkraftwerk Biblis, Block B (KWB-B), festgestellt am 03.10.2005“ behandelt und den RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE um Beratung gebeten. Anlass der WLN waren Schäden an den Mantelrohren von stillgelegten Druckhalter(DH)-Heizstäben, die bei einer Sichtprüfung der Innenoberflächen und der Einbauten des Druckhalters festgestellt worden waren. An zwei Heizstäben lagen klaffende Risse vor.

Die Barrierefunktion der Heizstäbe als Bestandteil der Druckführenden Umschließung (DFU) hängt von der Ausführung der Mantelrohre und der Konstruktion des Heizstabfußes ab. Die Integrität der DFU kann betroffen sein. Die Beurteilung der Barrierefunktion der DFU ist aufgrund der verschiedenen Konstruktionen der Heizstäbe und deren Montage am Druckhalterboden nur durch Einzelbetrachtungen möglich. Die DH-Heizung wird beim Anfahren und während des Leistungsbetriebs zur Druckhaltung und -regelung benötigt (Sicherheitsebene 1). Bei hohen Kühlmitteldrücken wird die DH-Heizung von der Kühlmitteldruckbegrenzung abgeschaltet (Sicherheitsebene 2). Die Öffnung des vollen Innenquerschnittes des Heizstab-Mantelrohres bedeutet ein „kleines“ Leck in der DFU und könnte zur Auslösung von Notkühlkriterien führen.

3 Bewertungsmaßstäbe

Die allgemeinen sicherheitstechnischen Anforderungen ergeben sich aus den BMI-Sicherheitskriterien, den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und den entsprechenden KTA-Regeln. Die Bewertung der RSK gründet sich darüber hinaus auf den in der Fachliteratur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik, sowie auf Informationen durch interne und externe Berichterstattung.

Die Bewertung gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik unterliegt folgenden allgemeinen Grundsätzen:

- Einhaltung der Vorgaben der betrieblichen Regelungen sowie der Anforderungen aus Spezifikationen
- Erhalt der Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe.

Die Bewertungsmaßstäbe sind im vorliegenden Fall:

- Die Sicherstellung der Integrität der DFU,

-
- die Anforderungen an die konstruktive Auslegung,
 - die Eignung, die Qualifizierung und die Häufigkeit der zur Anwendung kommenden Überwachungsmaßnahmen,
 - die Eignung, die Qualifizierung und die Häufigkeit der zur Anwendung kommenden Prüfmaßnahmen und
 - die Erfahrungen aus dem Betrieb und der Begutachtung vergleichbarer Anlagen.

Die RSK hat geprüft, ob diese Anforderungen bei der Bewertung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt worden und die Untersuchungen im Hinblick auf die vorgetragenen und erläuterten Sachverhalte plausibel sind.

4 Beratungsgang

In der 63. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 02.05.2006 berichtete die GRS über Schäden am Mantelrohr von stillgelegten DH-Heizstäben in der Anlage KWB-B (WLN 2006/02). Nach Darlegung der GRS war im Anschluss an die Primärkreisdruckprobe am 03.10.2005 eine Sichtprüfung der Innenoberflächen und der Einbauten des Druckhalters mit einer in einem sog. U-Boot installierten Unterwasserkamera vorgenommen worden. An zwei Heizstäben seien klaffende Risse festgestellt worden. Die Isolationsfüllung sei teilweise ausgetragen und auf dem Boden abgelagert gewesen. Die Heizwendeln seien freigelegt gewesen. Es sei nicht zu Leckagen außerhalb der DFU gekommen. Der Heizstab im Bündel 1, Rohr Nr. 6, sei seit dem Jahre 2001 und der Heizstab im Bündel 1, Rohr Nr. 5 seit dem Jahre 1998 wegen Erdschluss bzw. Sicherungsfall elektrisch frei geschaltet und seit dieser Zeit nicht mehr verfügbar gewesen.

Nach Angaben der GRS hat der DH drei Heizstabbündel mit jeweils 24 Heizstäben. Die Heizstabbündel seien in die Flanschstützen im unteren Halbkugelboden des DH eingebaut. Die Heizstäbe seien durch die Flanschdeckel gesteckt und dort verschweißt. Die Flanschverbindungen seien verschraubt und mit Schweißlippendichtungen versehen. Laut dem Bericht der GRS sind die Heizstäbe wie folgt konstruktiv aufgebaut:

- Die Heizstäbe bestehen aus einem Mantelrohr (Werkstoff: X 2 CrNiMoMo 18 14 3 (Werkstoff-Nr. 1.4435)), das mit Magnesiumoxid (MgO) als Isolator gefüllt ist. In der Isolatorfüllung befinden sich die Heizwendel und die Rückleiter. Die Heizstäbe sind ca. 3 m lang und haben einen Außendurchmesser von ca. 31 mm. Die Wanddicke des Heizrohrmantels beträgt 2 mm. Der beheizbare Teil ist ca. 1,6 m lang.
- Die MgO-Füllung ist nach oben mit Endkappen gesichert. Nach unten besteht die Sicherung aus einer Bördelung der unteren Mantelrohrkante und einem zusätzlich eingeführten Porzellanstopfen. An das Mantelrohr ist eine Muffe geschweißt, die ihrerseits mit einer Buchse auf der Innenseite des Flanschdeckels verschweißt ist. Zur Verdichtung der MgO-Füllung wurde das Mantelrohr von der Außenseite her gehämmert.

Wie die GRS erläuterte, wurden die folgenden Hinweise zur Schadensursache ermittelt:

- Örtliche Überhitzungen des Heizleiters können zum partiellen Abschmelzen von Leiterabschnitten und zu Kurzschlussbrücken im Heizleiterkreis führen. Hierdurch kann sich die Leitfähigkeit des MgO durch Ausdampfungen ändern. Kontakte zur Innenoberfläche des Mantelrohres können im Falle eines geerdeten Netzes zu elektrischen Überschlügen führen, die wanddurchdringende Aufschmelzungen der Mantelrohre verursachen.
- Die wanddurchdringenden Öffnungen im Mantelrohr führten zu Wassereinträgen in die MgO-Füllung. Die Reaktion des MgO mit Wasser bewirkte die Bildung von Magnesiumhydroxid ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Hierdurch wurde eine Volumenvergrößerung der Füllung (Aufquellen) verursacht; diese führte zur Aufweitung und schließlich zum Aufreißen der Mantelrohre.
- Die Beschädigung der Heizstäbe war auf elektrische Fehler zurückzuführen.

Wie die GRS berichtete, hat der Betreiber die folgenden Maßnahmen getroffen:

- Alle Heizstabbündel wurden gegen Bündel mit gleicher Funktion, jedoch mit verbesserter Konstruktion ausgetauscht. Die Umhüllung des Heizstabes ist jetzt als Doppelrohr ausgebildet.
- Die elektrische Überwachung der Heizstäbe wurde verbessert. Zukünftig werden die aktuellen Heizleiter- und Isolationswiderstände monatlich gemessen.
- Eine regelmäßige Kontrolle des Primärkühlmittels im DH wird hinsichtlich des Magnesiumgehaltes durchgeführt.
- Die genannten Kontroll- bzw. Überwachungsmaßnahmen wurden in die Betriebsvorschriften aufgenommen.

Die GRS misst dem Ereignis die folgende sicherheitstechnische Bedeutung bei:

- Die DH-Heizung wird beim Anfahren und während des Leistungsbetriebs zur Druckhaltung und -regelung benötigt (Sicherheitsebene 1). Bei hohen Kühlmitteldrücken wird die DH-Heizung von der Kühlmitteldruckbegrenzung abgeschaltet (Sicherheitsebene 2).
- Bestandteil der DFU: Die Hüllrohre der einzelnen Heizstäbe sind durch den Heizstabdeckel geführt und mit einer Buchse auf der Innenseite des Flanschdeckels angeschweißt. Bei Schäden an den Mantelrohren besteht die „Barriere“ nach außen nur noch aus dem verfestigten MgO und einem Porzellan-Stopfen.
- Während des vorangegangenen Betriebs und der diesjährigen Wasserdruckprüfungen wurden keine Leckagen an den Durchführungen der Heizstäbe festgestellt. Beginnende Leckagen können durch die Lecküberwachung erkannt werden.
- Bei unterstellter Durchlässigkeit der MgO-Füllung würde die Leckage durch den freien Querschnitt des betroffenen Heizstabes begrenzt bleiben. Die Öffnung des vollen Innenquerschnittes des Mantelrohres könnte jedoch zur Auslösung von Notkühlkriterien führen.

-
- Versuche im Autoklaven über mehr als 2.000 Stunden zu vergleichbaren Schäden im Kernkraftwerk Stade (KKS) im Zeitraum 1985/86 hatten gezeigt, dass auch bei defekten Mantelrohren der Heizstäbe die Dichtheit nach außen gegeben war.

Zur Übertragbarkeit machte die GRS die folgenden Angaben:

Es bestehen zwei verschiedene Konstruktionsprinzipien für die DH-Heizungen in deutschen Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor (DWR):

- Das Heizstabbündel mit den Heizstäben ist im DH-Stutzen des DH-Bodens untergebracht: Die Mantelrohre sind als Einfach- oder Doppelrohrausführung konzipiert. Die auf der Innenseite des DH angeschweißten Mantelrohre haben Barrierefunktion.
- Die Heizstäbe sind in Einzelstabdurchführung im DH-Boden untergebracht. Der auf der Innenseite des DH angeschweißte Durchführungsstutzen und das Mantelrohr des Heizstabes haben Barrierefunktion. Ein weiterer Dichtungsabschluss liegt in einer Flanschverbindung mit O-Ringdichtung außerhalb des DH.

Die Barrierefunktion der Heizstäbe als Bestandteil der DFU hängt von der Ausführung der Mantelrohre und der Konstruktion des Heizstabfußes ab. Die Beurteilung der Barrierefunktion der DFU ist aufgrund der verschiedenen eingesetzten Konstruktionen nur durch Einzelbetrachtungen möglich.

Die DH-Heizstäbe sind in deutschen DWR-Anlagen unterschiedlich ausgeführt. Merkmale sind:

- Nichtumhüllte Heizwendel in MgO-Füllung,
- metallische Umhüllung der Heizwendel mit MgO-Füllung und gesintertes Kupferpulver als Wärmeüberträger zwischen der umhüllten Heizwendel und dem Mantelrohr und
- verschiedene Hersteller.

Die GRS sprach die folgenden Empfehlungen aus:

Schäden in anderen Anlagen können, insbesondere nach einer Perforation der Mantelrohre, infolge elektrischer Überschlüge nicht ausgeschlossen werden. Die mögliche Beeinträchtigung der Integrität der DFU hängt von der typspezifischen Gestaltung ab:

- Sollte es Hinweise auf eine Beschädigung von Heizstabmantelrohren aufgrund elektrischer Überschlüge geben oder sind wegen elektrischer Fehler freigeschaltete Heizstäbe vorhanden, empfiehlt die GRS für Anlagen mit nicht umhüllten Heizwendeln, das Kühlmittel im DH hinsichtlich eines erhöhten Magnesiumgehaltes zu überwachen. Der Magnesiumgehalt liefert Hinweise auf ausgetragenes MgO. Bei Hinweisen auf Schäden an den Heizstabmantelrohren sollten diese, z. B. im Rahmen der Revision, inspiziert und ggf. ausgetauscht werden. Grenzwerte und durchzuführende Maßnahmen sind in den Betriebsvorschriften festzulegen.
- In allen DWR-Anlagen sollten im Rahmen der routinemäßigen DH-Inspektionen Inneninspektionen

vorgenommen und dabei die Heizelemente visuell geprüft werden.

In der anschließenden Diskussion wurden die folgenden Sachverhalte angesprochen:

- Konstruktive Verbesserungen z. B. durch eine Doppelrohrausführung,
- konstruktive Änderungen der Heizrohre durch Austausch,
- Stand der Entwicklung der hier zur Anwendung kommenden Überwachungs- und Prüfmaßnahmen wie z. B. visuelle Prüfungen, Erdschlussüberwachung mit Meldung auf der Warte und
- Prüfmaßnahmen und deren Häufigkeit.

In der 64. Sitzung am 21.06.2006 schloss der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE die Beratungen mit der Billigung des Ergebnisprotokolls der 63. Sitzung ab und erstellte in der 65. Sitzung am 26.07.2006 den Entwurf für eine RSK-Stellungnahme.

Die RSK beriet diesen Entwurf in ihrer 401. Sitzung am 13./14. 06.2007 und 403. Sitzung am 09.10.2007 und verabschiedete die vorliegende Stellungnahme.

5 Ergebnisse der Beratung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE und der RSK

Durch Beschädigungen an DH-Heizstäben mit Konstruktionsmerkmalen, wie sie in KWB-B vorlagen, kann die Integrität der DFU betroffen sein. Um den Verlust der Integrität an dieser Stelle vorbeugend zu erkennen, kommen betriebsüberwachende Maßnahmen und wiederkehrende Prüfungen in Betracht.

Zu den betriebsüberwachenden Maßnahmen gehören beispielsweise Prüfungen der elektrischen Funktion und die Überwachung der Wasserchemie; zu den regelmäßigen wiederkehrenden Prüfungen gehören beispielsweise gezielte visuelle Prüfungen.

Dem RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE wurde berichtet, dass im vorliegenden Fall als zusätzliche Maßnahme eine Doppelrohrkonstruktion gewählt wurde. Die RSK sieht eine solche Konstruktion, wie sie im Fall KWB-B vorliegt, als eine weitere absichernde Maßnahme an, um zukünftige Leckagen an der DFU zu vermeiden. Der RSK ist bekannt, dass in neueren Anlagen eine elektrische Überwachung, z. B. durch Erdschlussüberwachung mit Meldung auf der Warte, technisch realisiert ist. Hierdurch ist auch eine Lokalisierung des defekten Heizstabes möglich. Die RSK hält die technische Lösung des Monitoring von elektrischen Kenngrößen für den Stand von Wissenschaft und Technik. Eine zusätzliche Maßnahme im Sinne der Prävention ist die Überwachung der Magnesiumgehalte des Kühlmittels des Primärkreislaufes.

Nach dem Kenntnisstand der RSK sind, die elektrische Funktion und die Isolierung der Druckhalter-Heizstäbe in neueren Anlagen bislang problemlos. Es ist auch bekannt, dass es Anlagen mit einer konstruktiven Trennung zwischen den Heizstäben und DFU gibt. Weiter ist bekannt, dass durch die unterschiedlichen Ausführungen der Heizspiralen bei einem elektrischen Kurzschluss nicht „zwangsläufig“ das Hüllrohr beschädigt werden muss.

6 Empfehlungen

Die RSK empfiehlt, im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen Inspektionen im Druckhalter (DH) zur Fehlererkennung vorzunehmen und in diesem Zusammenhang gezielt nicht nur die Plattierung, sondern auch den Zustand aller Einbauten visuell zu prüfen. Diese Empfehlung gilt für alle DH, bei denen die Heizstäbe Teil der DFU sind. Die KTA-Regeln „Herstellung, Auslegung und Berechnung“ (KTA 3201.2) und „Wiederkehrende Prüfung und Betriebsüberwachung“ (KTA 3201.4) sind entsprechend anzupassen. Die RSK weist darauf hin, dass in den letzten Jahren die Gerätetechnik für die visuelle Prüfung, insbesondere in Bezug auf deren Auflösung, erheblich verbessert wurde. Die RSK empfiehlt, im Zuge von Austauschmaßnahmen oder bei Reparaturen dieser Heizstäbe eine verbesserte Konstruktion z. B. als Doppelrohr auszuführen.

Im Hinblick auf die Überwachung der elektrischen Funktion der Heizstäbe und der Überwachung der Magnesiumgehalte des Kühlmittels des Primärkreislaufes ist die RSK der Auffassung, dass die Prüfungen zur Sicherstellung der Integrität an den DH-Heizstäben verbessert werden müssen. Dieses kann z. B. durch eine regelmäßige Messung (z. B. auf Erdschlussüberwachung durch Messung der Heizleiter- und Isolationswiderstände) erfolgen. Die RSK empfiehlt weiter, die regelmäßige Überwachung der elektrischen Funktion der Heizstäbe durch eine Überwachung der Wasserchemie auf Magnesiumgehalte des Kühlmittels des Primärkreislaufes zu ergänzen.

Bezüglich der betriebsbegleitenden Überwachung sollen aus Sicht der RSK die Grenzwerte der Meldesignale und die in den betrieblichen Vorschriften im Falle einer Überschreitung des Grenzwertes anlagenspezifisch festgelegt werden. Diese Kontroll- bzw. Überwachungsmaßnahmen sollten in die Betriebsvorschriften der Anlage aufgenommen sein.

Beratungsunterlagen

- [1] Schreiben der GRS vom 21.03.2006 (Az.: vos-tug, B60/KO/09420), betr.: Weiterleitungsnachrichten zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2006/02); WLN 2006/02 „Schäden am Mantelrohr von stillgelegten Druckhalter-Heizstäben“ im Kernkraftwerk Biblis, Block B, festgestellt am 03.10.2005

- [2] Schäden am Mantelrohr von stillgelegten Druckhalter-Heizstäben im Kernkraftwerk Biblis, Block B, GRS, Kopien von Folien