
RSK-Stellungnahme
(447. Sitzung am 03.05.2012)

Zu unterstellende Leckagen an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren
Mehrfachrohrbruch/Lecköffnung wanddickengeschwächter DE-Heizrohre
(Veröffentlicht im Bundesanzeiger AT 26.07.2012 B3)

Inhaltsverzeichnis

1	Beratungsauftrag	2
2	Sachverhalt und sicherheitstechnische Bedeutung	2
3	Bewertungsmaßstäbe	2
4	Beratungsgang	3
5	Beratungsergebnisse	7
6	Empfehlungen	9

1 Beratungsauftrag

Der Bericht der GRS zur Grenztragfähigkeit geschädigter DE-Heizrohre und zur Einschätzung der Leck- und Bruchhäufigkeiten von DE-Heizrohren war als Ergebnis auf die Weiterleitungsnachrichten WLN 1998/08 (Leck in einem Dampferzeuger-Heizrohr in der Anlage Grafenrheinfeld und Anzeigen an Dampferzeuger-Heizrohren in der Anlage Unterweser) (Beratungsunterlage [1]), WLN 1999/04 (Kleinstleckage eines Dampferzeuger-Heizrohres im Kernkraftwerk Biblis B) (Beratungsunterlage [2]) in der 56. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 07.09.2005 (Beratungsunterlage [3]) vorgetragen und diskutiert worden. Dieser Bericht sowie die Weiterleitungsnachricht WLN 2005/07 („Wirbelstromanzeigen an Heizrohren im Rohrbodenbereich von Dampferzeugern“ im Kernkraftwerk Biblis, Block A am 10.04.2005) (Beratungsunterlage [4]) waren Anlass für den Ausschuss, die Beratung zu DE-Heizrohrbefunden und deren Auswirkungen mit dem Ziel aufzunehmen, eine Stellungnahme auszuarbeiten, ob die in dem Kerntechnischen Regelwerk festgelegten Postulate über Lecks/Leckagen an DE-Heizrohren, die bei der Störfallanalyse zu unterstellen sind, unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse über die Schadensmechanismen weiterhin gültig sind .

2 Sachverhalt und sicherheitstechnische Bedeutung

Die DE-Heizrohre sind Bestandteile der Druckführenden Umschließung (DFU). Die Heizrohre stellen die Schnittstelle zwischen dem Primärkreislauf und dem sekundärseitigen Wasser-Dampf-Kreislauf beim Kernkraftwerk mit DWR dar. Der Wärmeaustausch zwischen den beiden Kreisläufen erfolgt durch die DE-Heizrohre. Wanddurchdringende Schäden an einzelnen Heizrohren im Leistungsbetrieb führen auf Grund der unterschiedlichen Druckverhältnisse zum Übertritt von Primärkühlmittel in den Wasser-Dampf-Kreislauf und sind somit sicherheitstechnisch relevant. Je nach Anstieg der Aktivität im Sekundärkreislauf können betriebliche Systeme oder diejenigen Systeme, die zur Störfallbeherrschung (Sicherheitsebene 3) erforderlich sind, angefordert werden. Eine besondere sicherheitstechnische Bedeutung ergibt sich daraus, dass Lecks an Dampferzeuger-Heizrohren bei Störfällen zu einer Freisetzung von Primärkühlmittelaktivität in die Umgebung unter Umgehung des Sicherheitsbehälters führen können.

Die Auswirkungen von Wanddickenschwächungen (Rissen) und Lecköffnungen an DE-Heizrohren auf die Grenztragfähigkeit der Rohre sowie die durch die Schädigung freigesetzte Aktivität und die möglichen Folgen haben Einfluss auf den Betrieb und die Sicherheit von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor (DWR).

Es sollte geklärt werden, ob nach dem Bekanntwerden des in [4] beschriebenen Schädigungsmechanismus der Spannungsrisskorrosion (SpRK) die in den RSK-Leitlinien herangezogene einhüllende Annahme (hinsichtlich radiologischer Auswirkungen) eines vollständigen Bruches (2F) eines DE-Heizrohres weiter als Basis für eine Störfallbetrachtung zu Grunde gelegt werden kann. Dazu sollten Betreiber, Anlagelieferer und ggf. Stellen, die diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt und Bewertungen vorgenommen haben, gehört werden.

3 Bewertungsmaßstab

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an DE-Heizrohre sind im kerntechnischen Regelwerk, in den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und in den Störfall-Leitlinien festgelegt. Die Bewertung gründet sich ferner auf den in der Fachliteratur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik sowie auf zugezogenes Expertenwissen. Die übergeordnete Anforderung ist im vorliegenden Fall, dass keine Mehrfachleckagen an DE-Heizrohren auftreten, die nicht durch die Störfallannahmen abgedeckt sind. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei, dass nachgewiesen werden kann, dass kein Versagen von DE-Heizrohren bis zum Zeitpunkt der nächsten Prüfung zu erwarten ist.

4 Beratungsgang

Im Bericht der GRS in der 56. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 07.09.2005 zur Grenztragfähigkeit geschädigter DE-Heizrohre waren die Basis und Zielsetzung der zu Grunde gelegten Arbeiten, die Auslegungsgrundlagen bei DE-Heizrohren und die analytische Bestimmung der Grenztragfähigkeit dargelegt worden (Beratungsunterlagen [5] bis [9]). Die Auswertung der Ereignisse durch die GRS, wie sie als Ergebnisse in den WLN 1998/08, 1999/04 und 2005/07 (Beratungsunterlagen [1], [2] und [4]) vorgestellt worden waren, führen zu folgenden Einschätzungen:

Die Auslegungsreserven der Dampferzeuger-Heizrohre gegenüber Innendruckbeanspruchung seien relativ hoch. Dennoch können einzelne DE-Heizrohrbrüche nicht ausgeschlossen werden. Derartige Brüche seien in Deutschland bisher nicht aufgetreten. Die weltweite Betriebserfahrung zeige als dominante Ursachen für die Entstehung vieler Schäden an DE-Heizrohren Korrosionsmechanismen am Werkstoff Alloy 600 und sekundärseitige Wasserchemiebedingungen, die auf deutsche Anlagen, soweit bisher bekannt, nicht übertragbar seien. Aus der Betriebserfahrung sei bekannt, dass an DE-Heizrohren aus dem in den DE der Bauart KWU verwendeten Alloy 800 bisher fast ausschließlich flächige Wanddickenabträge an der Außenoberfläche entstanden sind. Der Werkstoff Alloy 800 sei im Allgemeinen gegen primärseitige SpRK unempfindlich.

Für das ungestörte gerade Heizrohr seien vereinfachte bruchmechanische Verfahren beschrieben worden, mit denen kritische Längen von axialen Rissen bestimmt worden seien. Verfeinerte bruchmechanische Methoden, die auf der Finite-Element-Methode und auf J-Integralberechnungen basierten, böten die Möglichkeit, mit einem geringen Aufwand genauere Ergebnisse zu erzielen und die Sicherheitsabstände zu quantifizieren. Diesbezüglich seien die Temperaturabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften, Innendruck und Gradienten in der Heizrohrwand, Verhalten von Rohrbögen sowie der Einfluss von Verformungsbehinderungen infolge Einspannung bzw. Führung von Belang. Vom Anlagenhersteller seien weiterführende Arbeiten zur Bestimmung des Berst- und Rissverhaltens, insbesondere im Einwalzbereich und für Rohrbögen sowie zu maximalen Leckraten, bei denen kein spontanes Heizrohrversagen auftritt, und zum Fehlerwachstum, z. B. beim Fretting, durchgeführt worden.

Für die Entstehung von Leckquerschnitten $> 2 F$ waren als mögliche Ursachen genannt worden:

-
- Gleichzeitige Leckbildung an mehreren DE-Heizrohren aufgrund von Korrosionsmechanismen,
 - gleichzeitige Leckbildung an mehreren DE-Heizrohren aufgrund von Fretting (Wechselwirkung mit Strukturen bzw. losen Teilen) im Bereich der Sekundärseite,
 - gleichzeitige Schädigung mehrerer DE-Heizrohre aufgrund unsachgemäßer Einwirkung (z. B. Reinigung),
 - gleichzeitiges Lösen mehrerer Verschlussstopfen,
 - Folgeschäden an Nachbarrohren aufgrund verschiedener Ursachen (Leck/Bruch eines Rohres, Durchschlagen eines gelösten Stopfens, Absturz loser Teile oberhalb des Rohrbündels, Einwirkung durch Schäden an Einbauten im Wasserbereich, Abriss eines verschlossenen Rohres),
 - Folgeschäden aufgrund transientser Belastungen (Lecks und Brüche im Speisewasser- und Frischdampfbereich) und
 - Folgeschäden aufgrund von EVA-Lasten (EVA: Einwirkung von Außen).

Wiederholt seien Mehrfachschädigungen aufgrund loser Teile sekundärseitig aufgetreten. Das Potenzial zur Entstehung von Leckflächen $> 2F$ sei gering gewesen. In mehreren deutschen Anlagen sei eine Mehrfachschädigung an DE-Heizrohren aufgrund unsachgemäßer Einwirkung bei der mechanischen Rohrbodenreinigung aufgetreten. Auch in diesen Fällen sei das Potenzial zur Bildung von Leckflächen $> 2F$ gering gewesen. Für Leckquerschnitte $> 2F$ ergäben sich aufgrund der weltweiten Betriebserfahrung aus 0-Fehler-Statistikbetrachtungen Versagenswahrscheinlichkeiten $\leq 10^{-4}$ pro Jahr.

Die Bewertung des Ausschusses hat ergeben, dass Schädigungsmechanismen durch den Reinigungsprozess berücksichtigt sein müssen, und der weitere Betrieb unzulässig geschädigter DE-Heizrohre durch entsprechende Prüfmaßnahmen ausgeschlossen werden muss.

In der Diskussion in der 56. Sitzung am 07.09.2005 hatte der Ausschuss festgestellt, dass es zum flächigen Abtrag der Wand von DE-Heizrohren keinen neuen Kenntnisstand gibt. Bis zu einer Schwächung von 70 % der Wanddicke würden dynamische Belastungen infolge Erdbeben, Druckstoßwellen usw. nicht zu einer Leckage führen; ein systematischer Fehler an mehreren Rohren, der zu einem flächigen Abtrag führe, müsse ausgeschlossen werden. Der Ausschuss hatte die GRS gebeten, einen Bericht über die Absicherung der DE-Heizrohre gegen dynamische Belastungen zu erstatten, und hatte angemerkt, dass die Häufung von Schäden in den Randpositionen, wie in den Kernkraftwerken Biblis, Block A (KWB-A) und Unterweser (KKU) festgestellt, auffällig sei; mögliche Erklärungen seien geänderte Steifigkeitsverhältnisse und Strömungsbedingungen in den Randpositionen sowie Undichtigkeiten bei Einwalzungen. Des Weiteren sollten die zerstörungsfreien Prüfungen (zfP) zur Reduzierung von Geometrieinflüssen noch weiter optimiert werden. Diese Optimierung solle sich auch auf Umfangsfehler im Übergangsbereich der oberen Einwalzung, der bisher prüftechnisch nicht ausreichend erfasst wurde, erstrecken.

Ferner war diskutiert worden, dass vom Anlagenhersteller Beul- und Kollapsversuche an wanddickengeschwächten Heizrohren aus dem Werkstoff Incoloy 800 vorgenommen wurden, deren Ergebnisse im GRS-Bericht (Beratungsunterlage [10]) Berücksichtigung gefunden haben. Beispielsweise war für einen elliptischen wastageartigen Fehler (Länge 40 mm, Breite 16,5 mm) ein Versagen bei einer Wanddickenschwächung von 90 % unter einem Betriebsüberdruck von 103 bar und bei einer Betriebstemperatur von 315°C ermittelt worden. Für den abdeckenden Lastfall des bestimmungsgemäßen Betriebs war eine zulässige Wanddickenschwächung WDS_{zul} von 68 % ermittelt worden. Diesem Ergebnis liegt eine Sicherheitsreserve von 2,7 gegenüber dem experimentell ermittelten Berstdruck des vorgeschädigten Rohres zu Grunde.

In der 62. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 05.04.2006 war der Ausschuss zusammenfassend über die Ergebnisse früherer Beratungen der RSK und der RSK-Ausschüsse DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN (DK) und SICHERHEITSFORSCHUNG UND GRUNDSATZFRAGEN (SIFO) (Beratungsunterlagen [11] bis [15]) sowie über die zum Thema ergangenen Weiterleitungsnachrichten WLN 1998/08, WLN 1999/04 und WLN 2005/07 (Beratungsunterlagen [1], [2] und [4]) in Kenntnis gesetzt worden. Darüber hinaus lag der Abschlussbericht über den DE-Heizrohrschaden im US-amerikanischen Kernkraftwerk Indian Point 2 als Beratungsunterlage [7] vor.

Die damaligen Beratungen der RSK und der Ausschüsse DK und SIFO waren zu den folgenden Ergebnissen gekommen:

Wegen der Ausgangsqualität, der Minderung schädigender betrieblicher Einflüsse, der rechtzeitigen Erkennung eintretender Schädigungen und der Möglichkeit, diese Schädigungsvorgänge zu verfolgen, könnten gleichzeitig wirkende Leckagen nur bei wenigen Rohren auftreten und wegen ihrer Kleinheit in der Summe auch nicht einen Öffnungsquerschnitt in der Größe des doppelten Rohrquerschnitts aufweisen. Selbst unter der konservativen Annahme einer rund umlaufenden flächenhaften tiefen Schädigung von DE-Heizrohren aus dem Werkstoff Incoloy 800 seien keine größeren Lecköffnungen als 0,5 der freien Rohrquerschnittsfläche zu erwarten. Bei Beanspruchungen, wie sie bei einem Frischdampfleitungsbruch auftreten würden, würden die DE-Heizrohre zuerst an Stellen mit Wanddickenschwächungen größer als 80 % leck. Eine Leckage an den Rohren sei überdies wenig wahrscheinlich, da aufgrund von Befunden durch die wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen Heizrohre mit mehr als 50 % Wanddickenschwächung durch Stopfen verschlossen werden.

Die Betriebserfahrungen und Untersuchungen hätten bestätigt, dass die in den RSK-Leitlinien Kapitel 21.2 (Anlage 5 zum Ergebnisprotokoll der 181. RSK-Sitzung am 15.12.1982) festgelegte Größe der zu unterstellenden Leckagen über den zu erwartenden Werten liegt. Die in den RSK-Leitlinien getroffenen Annahmen über zu unterstellende Leckagen an DE-Heizrohren seien abdeckend und somit ausreichend. Die stichprobenartige Prüfung auf mechanischen Abtrag (Fretting), verursacht durch Fremdkörper oder durch anliegende Strukturteile der Heizrohrbündelbefestigung, war als erforderlich angesehen worden.

In den folgenden Sitzungen setzte der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE die Beratung der vorliegenden Stellungnahme fort:

- 83. Sitzung am 04.06.2008,
- 84. Sitzung am 23.07.2008 (Diskussion der WLN 2008/04 [16],
- 85. Sitzung am 10.09.2008,
- 89. Sitzung am 14.01.2009,
- 90. Sitzung am 13.02.2009,
- 91. Sitzung am 30./31.03.2009,
- 93. Sitzung am 27./28.05.2009,
- 97. Sitzung am 07.10.2009,
- 98. Sitzung am 06.11.2009,
- 99. Sitzung am 18.12.2009,
- 108. Sitzung am 02.03.2011,
- 109. Sitzung am 06.04.2011,
- 110. Sitzung am 25./26.05.2011,
- 111. Sitzung am 21./22.06.2011,
- 113. Sitzung am 05.10.2011 und
- 114. Sitzung am 16.11.2011.

In der 88. Sitzung am 11.12.2008 wurde zum Thema „Abschätzung kritischer Risstiefen bei DE-Heizrohren unter Innendruckbelastung“ vorgetragen und diskutiert [17].

In der 91. Sitzung am 30./31.03.2009 erstatteten die Betreiber einen Bericht [18] zu den folgenden Themen:

- Konstruktive Merkmale,
- Werkstoff,
- Wasserchemie,
- Absicherung gegen Schädigungsmechanismen,
- DE-Heizrohr-Leckage: Auslegung, Detektion und Beherrschung des Störfalls DE-Heizrohr-Leckage und
- zfP und Betrieb.

Zusammenfassend wurde ausgeführt, dass systematische SpRK nicht zu unterstellen sei. Die vereinzelt aufgetretenen Fälle von SpRK seien anlagenspezifisch, die durch lokale Aufkonzentration von sekundärseitigen Verunreinigungen verursacht worden seien. Eine Leckage oder ein Abriss eines DE-Heizrohres würden beherrscht. Nach den Betriebserfahrungen sei die Eintrittswahrscheinlichkeit für das DE-Heizrohrversagen äußerst gering; Mehrfachversagen sei unrealistisch. Im äußersten Grenzfall könnten mehrfache Leckagen auftreten, ohne dass es zu einem Abriss komme. Die bisherigen Prüfkonzepte seien zielgerichtet. Die Festlegungen des Regelwerks seien abdeckend. Die Betriebserfahrungen mit dem Werkstoff Alloy 800, der in den DE-Heizrohren der DWR-Anlagen des Herstellers Siemens/KWU

verwendet werde, seien gut. Diese positiven Betriebserfahrungen würden auch durch die Fehler aus der jüngsten Vergangenheit nicht grundsätzlich in Frage gestellt.

Der Ausschuss beriet zu den Anforderungen an die Nachweisführung, deren Erfassung im KTA-Regelwerk und zu der Berücksichtigung von Schädigungsmechanismen wie SpRK in DE-Heizrohren bei der Auslegung.

In einem weiteren Bericht [19] wurde zur Abschätzung von Lecköffnungsflächen für unterkritische, wanddurchdringende axiale Risse in DE-Heizrohren vorgetragen. Aus der Beratungsunterlage [19] ergeben sich quantitative Informationen zu den maximal zu erwartenden Rissöffnungsflächen (ca. 0,1 F) für einen einzelnen unterkritischen Riss (Risslänge ≤ 17 mm). Um die in den RSK-Leitlinien für Anlagen mit DWR (Fassung 11/96) zu unterstellende Leckannahme ($\leq 2F$) für die zu unterstellenden Störfallszenarien nicht zu überschreiten, dürften somit maximal ca. 20 solcher wanddurchdringender Risse gleichzeitig auftreten.

5 Beratungsergebnisse

Im Hinblick auf die Frage, ob auch unter Berücksichtigung des in [4] beschriebenen Schädigungsmechanismus der Spannungsrisskorrosion (SpRK) die in den RSK-Leitlinien herangezogene einhüllende Annahme (hinsichtlich radiologischer Auswirkungen) eines vollständigen Bruches (2F) eines DE-Heizrohres weiter als Basis für eine Störfallbetrachtung zu Grunde gelegt werden kann, kommt die RSK zu folgenden Ergebnissen:

- Die Abschätzung von kritischen Rissgrößen mittels einer Grenztragfähigkeitsanalyse [17] für die Beanspruchungsstufen 0, A, B, C, D und P und unter Berücksichtigung einer abdeckenden Risswachstumsgeschwindigkeit für Spannungsrisskorrosion von 35 % der Wanddicke pro Jahr ergab einen Zeitraum von 1,5 bis 2 Jahren (je nach Beanspruchungsstufe) bis mit einem wanddurchdringenden Riss gerechnet werden müsste. Somit wird bei einer Anzeige, die auf den beschriebenen Schädigungsmechanismus hinweist, nach dem derzeitigen Kenntnisstand das betroffene DE-Heizrohr verschlossen [20].
- Hinsichtlich der Leckquerschnitte bei Mehrfachleckagen, hervorgerufen durch SpRK-induzierte Schädigungen, ergibt eine Abschätzung von Lecköffnungsflächen für einen unterkritischen, wanddurchdringenden axialen Riss (Risslänge ≤ 17 mm entsprechend [19] bei einer betrachteten Druckdifferenz von 166 bar [10] und der Beanspruchungsstufe D) eine maximale Rissöffnungsfläche von ca. 10 % des DE-Heizrohrquerschnitts.
- Um in die Nähe der nach den RSK-Leitlinien (Fassung 11/96) zu unterstellenden Leckannahmen ($\leq 2F$) für die dabei zu unterstellenden Störfallszenarien zu kommen, müssten theoretisch somit ca. 20 unterkritische Risse gleichzeitig auftreten, was unter Umsetzung der in [20] genannten Empfehlungen zur Überwachung der DE-Heizrohre als unwahrscheinlich eingestuft werden kann.

-
- Unter der Annahme von Sicherheitsmargen ($S \geq 3$ für die Beanspruchungsstufen A, B und $S \geq 1,5$ für die Beanspruchungsstufen C, D) berechnet sich ein zulässiger unterkritischer Riss zu 8 mm Länge für die in diesem Fall führende Beanspruchungsstufe B. Bei allen anderen Beanspruchungsstufen ist die unterkritische Risslänge größer. Die Abschätzung der minimalen Leckagemenge bei diesem Riss ergab unter Berücksichtigung der Oberflächenrauigkeit (50 μm) des Risses ca. 40 kgd^{-1} .
 - Durch die Forderung, kontinuierlich die Aktivität und Wasserchemie in der DE-Abschlammung zu beobachten, können auch bei defektfreiem Kern Leckagen mit der Größe von 50 gh^{-1} (entsprechend 1,2 kgd^{-1} , zugehörige Lecköffnungsfläche $\ll 0,1\text{F}$) so früh festgestellt werden, so dass ein ausreichender Sicherheitsabstand gegenüber den o. g. Lecköffnungsflächen für einen unterkritischen Riss und dem entsprechenden Leckmassenstrom von bis zu 40 kgd^{-1} im Nennbetrieb gegeben ist. Insbesondere durch Messen des Aktivitätseintrages von Tritium, der mit ca. 500 ml Primärkühlmittel als summarisch erkennbarer Eintrag angenommen werden kann, hat man eine weitere empfindliche Messgröße. Dieser erkennbare Eintrag ist weitaus geringer als die durch einen unterkritischen Riss von 8 mm Länge in einer Stunde erzeugte Leckagemenge. Vor diesem Hintergrund kann der Aktivitätseintrag eines axialen Risses mit einer Länge von 8 mm oder mehrerer Risse mit einer Leckagerate entsprechend dem Aktivitätseintrag eines 8 mm Risses sicher erkannt werden.
 - Unter den Voraussetzungen, dass die Empfehlungen aus [20] umgesetzt sind und die Anlage spätestens bei einem Aktivitätswert, der einem Leckmassenstrom von $> 40 \text{kgd}^{-1}$ (im Nennbetrieb) entspricht, abgefahren wird, kann der vollständige Bruch (2F) eines DE-Heizrohres weiter als einhüllende Annahme (hinsichtlich radiologischer Auswirkungen) für Störfallbetrachtungen zu Grunde gelegt werden.

6 Empfehlungen

Es wird empfohlen in das BHB aufzunehmen, dass bei einer Leckage von $> 40 \text{kgd}^{-1}$ die Anlage abgefahren wird und zur Unterstützung der Ursachenklärung des Eintrages Hide-Out-Return-Messungen vorgenommen werden.

Beratungsunterlagen

- [1] Weiterleitungsnachricht zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 1998/08), Leck in einem Dampferzeuger-Heizrohr in der Anlage Grafenrheinfeld und Anzeigen an Dampferzeuger-Heizrohren in der Anlage Unterweser, GRS, 27.04.1999

- [2] Weiterleitungsnachricht zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 1999/04), Kleinstleckage eines Dampferzeuger-Heizrohres im Kernkraftwerk Biblis-B, GRS, 09.03.1999

- [3] TOP 6 des Ergebnisprotokolls der 56. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 07.09.2005

- [4] Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2005/07) „Wirbelstromanzeigen an Heizrohren im Rohrbodenbereich von Dampferzeugern“ im Kernkraftwerk Biblis, Block A, am 10.40.2005, GRS, 25.05.2005

- [5] H. Reck/GRS
Grenztragfähigkeit geschädigter Dampferzeugerheizrohre
Kopien von Folien; 18.10.2005

- [6] H. Schulz/GRS
Einschätzung der Leck- und Bruchhäufigkeiten von DE-Heizrohren
Kopien von Folien

- [7] Indian Point 2 Steam Generator Tube Failure, Lessons-Learned Report
(TAC No. MA9163), US NRC, Final Report, October 23, 2000

- [8] H. Schulz/GRS
Einschätzung der Leck- und Bruchhäufigkeiten von DE-Heizrohren
Kopien von Folien

-
- [9] T. Just
Heizrohrbefunde im Rohrbodenbereich (WLN 2005/007)
Ergebnisse der Nachbewertungen und der WKP 2005
02.09.2005
- [10] D. Azodi, H. Reck, H. Schulz, R. Arenz
Grenztragfähigkeit geschädigter Dampferzeuger-Heizrohre
GRS-A-1142, Sept. 1985
- [11] TOP 4 des Ergebnisprotokolls der 123. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN am 07.03.1984
- [12] TOP 5 des Ergebnisprotokolls der 124. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN am 11.05.1984
- [13] TOP 4 des Ergebnisprotokolls der 133. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN am 02.07.1985
- [14] TOP 4.3 des Ergebnisprotokolls der 251. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN am 03.06.1997
- [15] TOP 4 und Anlage 2 des Ergebnisprotokolls der 240. Sitzung des RSK-Ausschusses
DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN am 18.01.1989
- [16] Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik
Deutschland (WLN 2008/04) „Befunde an Dampferzeuger-Heizrohren“ im
Kernkraftwerk Unterweser, GRS, 28.05.2008
- [17] X. Schuler
Abschätzung kritischer Rissgrößen bei DE-Heizrohren unter Innendruckbelastung,
(08.12.2008)
Vortrag in der 88. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE
KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 11.12.2008

-
- [18] Qualitätsstatus von Dampferzeuger-Heizrohren in deutschen DWR-Anlagen, Kopien der im Vortrag des VGB PowerTech in der 91. Sitzung des RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 30.03.2009 gezeigten Bilder
- [19] X. Schuler
Abschätzung von Lecköffnungsflächen für unterkritische, wanddurchdringende Risse in DE-Heizrohren
06.04.2009
- [20] Schäden an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren durch Spannungsrisskorrosion – Ursache und Nachweis, Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission aus der 428. Sitzung am 15.07.2010