
RSK-Stellungnahme
(454. Sitzung am 17.01.2013)

Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter des belgischen Kernkraftwerks Doel, Block 3 (Doel-3)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Beratungsauftrag	2
2	Sicherheitstechnische Bedeutung und Anforderungen	2
3	Bewertungsmaßstäbe	3
4	Beratungsgang	3
5	Beratungsergebnisse	4
6	Empfehlung	10

1 Einleitung und Beratungsauftrag

In der Revision 2012 sind im Rahmen eines Sonderprüfprogramms betriebsbegleitende Ultraschall(UT)-Prüfungen am Grundwerkstoff des Reaktordruckbehälters (RDB) des belgischen Kernkraftwerks Doel, Block 3 (Doel-3) durchgeführt worden. Hierbei ist eine speziell für die Erkennung von Unterplattierungsrisse qualifizierte Ultraschalltechnik zum Einsatz gekommen, wobei sich der Prüfumfang über den gesamten kernnahen RDB-Bereich erstreckte. Diese Prüfung soll zukünftig alle zehn Jahre wiederholt werden. Die Prüfung erfolgte in Doel-3 zum ersten Mal. Der Grund hierfür ist ein Ereignis in der französischen Anlage Tricastin-1 im Jahr 1999 (IRS 7368). Das eingesetzte Ultraschallverfahren ist ausgelegt, Risse im Interfacebereich der Plattierung-Grundwerkstoff bis zu einer Tiefe von ca. 25 mm zu finden. Durch den Nachweis der sog. Rissspitzenechos ist eine Tiefenbestimmung der Anzeige möglich.

Mit der vorläufigen IRS-Meldung Nr. 8244 ist von der belgischen Behörde FANC über dabei gefundene Anzeigen berichtet worden. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit einer Stellungnahme zu dem Ereignis beauftragt. Die GRS hat am 09.08.2012 ([1]) eine vorläufige Stellungnahme abgegeben.

Auch die RSK ist vom BMU mit Schreiben vom 23.08.2012 mit einer Stellungnahme beauftragt worden ([2]). In dem Schreiben bittet das BMU die RSK um eine schriftliche Stellungnahme nach § 9 Abs. 2 der Satzung. Von der RSK sind die folgenden Fragen hinsichtlich der derzeit im Leistungsbetrieb befindlichen Reaktordruckbehälter zu beantworten:

- 1 Entspricht das Prüfkonzept des RDB (Methoden, Umfang, Intervall) vor dem Hintergrund der Erkenntnisse in Doel-3 noch dem Stand von Wissenschaft und Technik oder sind zusätzliche Prüfungen z. B. außerhalb der Schweißnahtbereiche erforderlich?
- 2 Ist die Qualitätssicherung und Dokumentation bei Herstellung, Fertigung und insbesondere der Wärmebehandlungsschritte der betriebenen Reaktordruckbehälter so angelegt, dass mögliche Herstellungsbesonderheiten, die derartige Befunde wie in Doel-3 verursachen können, hätten erkannt werden können?

2 Sicherheitstechnische Bedeutung und Anforderungen

Die Integrität des RDB ist unerlässlich zur Einhaltung der kerntechnischen Schutzziele „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ und „Kühlung der Brennelemente“. Ein Versagen des RDB wurde bei der Auslegung von Druckwasserreaktoren (DWR) ausgeschlossen.

Die am RDB des belgischen Kernkraftwerkes Doel-3 aufgefundenen Anzeigen können von Fehlern herrühren, die Einfluss auf die Integrität des RDB haben könnten. Für die deutschen Kernkraftwerke ist zu klären, ob derartige Anzeigen ausgeschlossen werden können und damit auch vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus Doel-3 die Gewährleistung der Integrität der Reaktordruckbehälter weiterhin bestätigt werden kann.

3 **Bewertungsmaßstäbe**

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an den Reaktordruckbehälter (RDB) und die diesbezüglich durchzuführenden Prüfungen sind im kerntechnischen Regelwerk festgelegt.

4 **Beratungsgang**

Dem RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE lagen die folgenden Informationen vor:

- Vorläufige Stellungnahme der GRS zu den Ultraschallanzeigen am RDB der belgischen Anlage Doel-3 vom 09.08.2012 ([1]),
- Informationen der belgischen Behörde FANC im Internet ([3]),
- Mündlicher Bericht der GRS in der 122. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 12.09.2012 ([4]),
- Zwischenbericht der Staatlichen Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart) in der 123. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 09./10.10.2012 zur Vorgehensweise bei der Fertigungsprüfung der Mantelschüsse des Kernkraftwerks Philippsburg, Block 2 (KKP-2) ([5]) und Ergebnisse zu den mechanisch-technologischen Untersuchungen im Seigerungsbereich im Rahmen des Forschungsprogramm Komponentensicherheit (FKS)¹ ([6]),
- Ergebnisbericht zu den zerstörungsfreien Prüfungen des Grundwerkstoffes der beiden Mantelschüsse zwischen den Schweißnähten SST 36 und 39 des Kernkraftwerks Neckarwestheim, Block 2 (GKN-II) in einem Umfangsbereich von 30° und Ergebnisse der betreiberinternen Auswertung der Fertigungsdokumentation der noch in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke ([7]),
- Auszug aus dem Bericht JSW Technical Report TR-012-GN „Difference in Material Manufacture between ASME Code and German Requirements“, (June 1978) ([8]) und
- S. Onodera, T. Tsukada, K. Suzuki, I. Sato, Development in Steel Making and Forgings for Nuclear Pressure Vessels, JSW Tech. Rep. TR-272-PM, Pres. At the Specialist Meeting of IAEA, Madrid, Nov. 25 – 28, 1985 ([9]).

Nachdem Anzeigen im Grundwerkstoff der Schmiederinge zunächst mit einer Ultraschallprüftechnik, die zum Nachweis ggf. vorhandener Unterplattierungsrisse im Übergang Plattierung Grundwerkstoff vorgesehen war, entdeckt wurden, erfolgten die weiteren Prüfungen mit der Ultraschallprüftechnik, wie sie für

¹ 1977 bis 1997 von der MPA Stuttgart im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) und mit internationaler Kooperation durchgeführtes Forschungsprogramm zur Reaktorsicherheit.

wiederkehrende Prüfungen an den Rundschweißnähten eingesetzt wird. Der Mittelwert der Toleranzen dieser Technik in Bezug auf die Größenbestimmung der Anzeigen wird in [3] mit +/- 3 mm angegeben.

Im Zuge der Beratung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE wurden die Prüfschritte, wie sie für die Anlagen in Deutschland im Rahmen der Fertigung und Erstellung des RDB durchgeführt wurden, diskutiert. Die Fertigungsprüfung der Schmiederinge erfolgte nach der Anlagenherstellerspezifikation AVS 13 [10]. Die in dieser Spezifikation festgelegten Prüfungen und Prüftechniken wurden dann später in die KTA Regeln 3201.1 und 3201.3 übernommen.

5 Beratungsergebnisse

Die RSK nimmt zu den Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter des belgischen Kernkraftwerks Doel, Block 3 (Doel-3) Stellung. Der Kenntnisstand beruht auf den in der 122. Sitzung am 12.09.2012 und 123. Sitzung am 09./10.10.2012 des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE erhaltenen Informationen (Beratungsunterlagen [1, 3 bis 9]), sowie auf den Ergebnissen und Darstellungen, wie sie in [11-16] beschrieben sind.

Das belgische Kernkraftwerk Doel-3 ist von FRAMACECO (Konsortium aus Framatome, ACEC und Cockerill) errichtet worden. Die Anlage ist eine 3-Loop-DWR-Anlage vom Standard Westinghouse 3-Loop-Design mit einer thermischen Leistung von 2.785 MW und einer elektrischen Leistung von 1.006 MW und ist 1982 in Betrieb genommen worden. Auslegung und Errichtung erfolgten nach US-amerikanischen Standards; die Auslegung und Fertigung mechanischer Komponenten – wie z. B. des RDB – ist nach dem ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Ausgabe 1973) vorgenommen worden. Revisionen erfolgen im Rahmen des Brennelementwechsels alle 12 Monate. Die Außerbetriebnahme ist für 2022 vorgesehen. Der RDB ist im zylindrischen Bereich aus dem Werkstoff SA-508 Class 3 (in der chemischen Zusammensetzung ähnlich dem in deutschen Anlagen verwendeten Werkstoff 20MnMoNi55) gefertigt. Er hat eine Höhe von 13,17 m und einen Durchmesser von 4 m. Die minimale Wanddicke im Mantelbereich beträgt 205 mm. Nach den Angaben in der IRS-Meldung Nr. 8244 sind der obere und der untere Schmiedering im zylindrischen Bereich des RDB vom niederländischen Hersteller Rotterdam Droogdok Maatschappij (RDM) aus Gussblöcken von Krupp gefertigt worden [3].

Nach den vorliegenden Informationen liegen die Anzeigen in den geschmiedeten Ringen des RDB, beginnend ca. 100 bis 200 mm von den jeweiligen Stirnseiten der ehemaligen Mantelschüsse C1 und C2 [17] (jetzt Rundschweißnähte des RDB) mit einer ansteigenden Häufigkeit, ausgehend von der Innenoberfläche zur Mitte hin und parallel zur Innen- und zur Außenoberfläche.

Nach [3] wurden diese Anzeigen im Zuge einer in Belgien zum ersten Mal am RDB Doel-3 durchgeführten Ultraschallprüfung auf Unterplattierungsrisse (UPR) gefunden. Die Ultraschallprüftechnik entsprach der für französische Kernkraftwerksanlagen qualifizierten und optimierten Technik und erfolgte von der Innenseite des RDB aus. Charakteristisch für UPR ist deren Auftreten im Grundwerkstoff, und zwar am Übergang zur Plattierung. Der bei dieser Ultraschallprüfung bewertete Tiefenbereich erstreckt sich, ausgehend von der Innenoberfläche des RDB, bis 25 mm in das Wandinnere. Die im Rahmen der Prüfung in Doel-3 gefundenen

Anzeigen (in [3] wird eine Anzahl von 158 genannt) konnten nicht als UPR-Anzeigen bewertet werden, da die Positionen dieser Anzeigen nicht typischen UPR-Anzeigen zugeordnet werden konnten. Daraufhin wurde entschieden, das Volumen des Grundwerkstoffes der beiden Schmiederinge mit anderen Ultraschallverfahren zu prüfen.

In [3] wird weiter ausgeführt, dass, in Ermanglung einer qualifizierten und optimierten Prüftechnik für die Volumenprüfung des Grundwerkstoffes, die Grundwerkstoffbereiche der zylindrischen Schmiederinge mit der für die wiederkehrenden Schweißnahtprüfungen qualifizierten Technik nach ASME XI, IWB-2500-1 geprüft wurden. Dem Bericht kann nicht entnommen werden, wie die Ultraschallprüfempfindlichkeit eingestellt wurde, vor allem in Bezug auf den Unterschied in der Ultraschallprüftechnik zur seinerzeit durchgeführten Fertigungsprüfung.

Die Ergebnisse dieser Prüfung nach ASME XI, IWB-2500-1 zeigen im Grundwerkstoff der beiden Schmiederinge umlaufende Ultraschallanzeigen, die sich, ausgehend von der Innenoberfläche, in der Tiefe zwischen ca. 30 mm bis zur Wandmitte erstrecken. Der Charakter dieser Anzeigen wird mit quasi laminar angegeben.

Die Vielzahl der Anzeigen - in [3] werden mehr als 7.000 genannt - lässt auf Wasserstofflocken (hydrogen flakes) schließen, wie sie in Seigerungszonen auftreten können, die durch den Abguss und die Erstarrung des Blockes entstehen. Auch die Orientierung der Anzeigen parallel zur Oberfläche sowie der quasi laminare Charakter der Anzeigen unterstützen die Einschätzung als herstellungsbedingten Fehler bei der Fertigung. Die in Deutschland in den 70-er Jahren gemachten Erfahrungen zeigten, dass die Flocken häufig noch mit Oxiden und Sulfiden vergesellschaftet sein können [5, 6, 9, 16]. Die Wasserstofflocken können Ausdehnungen bis zu 25 mm annehmen, wie sie auch in Doel-3 gemessen wurden [3].

Die Schweißnähte und die angrenzenden Wärmeeinflusszonen sind frei von Anzeigen. Nach Meinung der RSK kann dieser Sachverhalt mit der besseren H₂-Ausgasung an den Stirnbereichen der Ringe bei der Wärmebehandlung bzw. durch die intensive Wärmeeinbringung beim Schweißen der Rundnähte erklärt werden.

In der Diskussion zu den möglichen Entstehungsmechanismen der in Doel-3 gefundenen Anzeigen kommt die RSK zu dem folgenden Schluss: Die an den Ausgangsblöcken für die Schmiedestücke von Doel-3 bestimmten wesentlichen Legierungselemente entsprechen den heutigen Vorgaben des KTA-Regelwerks. Der am vorgeschmiedeten Block ausgestanzte mittlere Bereich war im Falle von Doel-3 vergleichsweise klein [1]. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Schmiedestück Seigerungen enthält, in deren Bereich sich gleichzeitig Wasserstoff anreichern kann. Maßgeblich zum Abbau der Wasserstoffanreicherungen sind der Zeitpunkt und die Art der Wärmebehandlung (Wasserstoffarmglühen) beim/nach dem Schmiedevorgang; hierbei kommt ganz wesentlich das Know How des Herstellers zu Tragen. Zur Absicherung einer sachgerechten Wärmebehandlung werden international regelwerkseitig geeignete Ultraschall-Überprüfungen der Schmiedestücke gefordert.

Nach dem jetzigen Kenntnisstand beantwortet die RSK die zwei vom BMU in der Beratungsunterlage [2] gestellten Fragen wie folgt:

1 Entspricht das Prüfkonzept des RDB (Methoden, Umfang, Intervall) vor dem Hintergrund der Erkenntnisse in Doel-3 noch dem Stand von Wissenschaft und Technik oder sind zusätzliche Prüfungen z. B. außerhalb der Schweißnahtbereiche erforderlich?

Im Rahmen der Herstellung waren alle Schmiedestücke für die deutschen RDB in einem konturarmen Zustand nach dem Schmieden vom Hersteller und nach dem Vergüten, aber noch vor dem Plattierungsschweißen vom Hersteller, dem Anlagenhersteller und dem Sachverständigen nach der Anlagenherstellerspezifikation AVS 13 [10] zu prüfen. Die dabei durchzuführenden Ultraschallprüfungen bezogen sich auf 100% des Volumens.

Gemäß den Vorgaben der AVS 13 bzw. der RSK-Leitlinien und der ersten Fassung der KTA-Regel 3201.1 von 1979 waren Prüfungen nach dem Vergüten mittels Senkrecht- und Winkelprüftechniken aus jeweils zwei Richtungen und an Oberflächen durchzuführen. Es ist mittels radialer Senkrechteinschallung auf parallel zu den Manteloberflächen orientierte Fehler und mit der axialen Senkrechteinschallung auf Fehler senkrecht zur Achse geprüft worden: Die Schrägeinschallung diente zum Nachweis von Oberflächenanrissen, die senkrecht zur Mantelfläche orientiert sind.

Nach Meinung der RSK entsprechen die nach AVS 13 b bis 13 e bzw. den RSK-Leitlinien und dem KTA-Regelwerk durchgeführten Prüfungen von Schmiedestücken auch vor dem Hintergrund der Erkenntnisse in Doel-3 immer noch dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik.

Bezüglich der Nachweisbarkeit von Fehlergrößen und im Vergleich zu den in Doel-3 gefundenen Fehlern, werden die Ergebnisse zugrunde gelegt, wie sie gemäß [16] gemessen und bei der Fertigungsprüfung von schweren Schmiedeteilen für die Kerntechnik des Herstellers Japan Steel Works (JSW) auch dokumentiert wurden. Dort wird ausgeführt, dass die Nachweisgrenzen für Wanddicken bis 200 mm mit Ersatzreflektorgröße von 0,5 mm (Reflektivität einer Kreisscheibe gemessen als Echohöhe) bei einer Prüffrequenz von 2 MHz angegeben werden kann. Auch einzelne Fehler wurden mit dieser Ersatzreflektorgröße nachgewiesen. Daraus leitet die RSK ab, dass mit der für die Prüfung der Schmiederinge der deutschen Kernkraftwerksanlagen eingesetzten Ultraschallprüftechnik Fehleranzeigen, wie sie in [3] beschrieben sind, mit einer großen Wahrscheinlichkeit nachgewiesen worden wären, insbesondere angesichts der damals eingestellten Nachweisempfindlichkeiten, wie sie in [16] beschrieben sind.

Nach Fertigstellung des RDB für DWR-Anlagen wurde mit Ausnahme der Bereiche der Deckeldurchführungen und der Stutzenflansche eine sog. Basisprüfung des gesamten Behälters durchgeführt [15]. Es kann davon ausgegangen werden, dass jedenfalls bei den noch im Betrieb befindlichen Druckwasserreaktoren auch bei der mechanisierten Ultraschall-Basisprüfung Hinweise auf solche Anzeigencluster gefunden worden wären.

Die in Deutschland praktizierte Vorgehensweise zur Prüfung der Schmiederinge bedeutet insgesamt eine höhere Anforderung als die Vorgehensweise nach dem ASME Code. Dies ist schon bedingt durch die größere Anzahl der Einschallrichtungen und die damit einhergehende Erhöhung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit. Die Registriergrenzen bei der Fertigungsprüfung der deutschen RDB lag

bei 4 mm Kreisscheibe [10] und nach ASME [16] wurde für regelmäßige Anzeigen \geq doppelter Durchmesser des Ultraschallprüfkopfes (üblich ½ Inch bis 1 Inch (1 Inch = 25,4 mm)) zugrunde gelegt.

Nach dem jetzigen Kenntnisstand sind die Fertigungsprüfungen von Doel-3 auf deutsche Anlagen nicht übertragbar, was die Bedingungen für die Bildung und den Nachweis der in Doel-3 gefundenen Anzeigen betrifft. Die in Doel-3 vorliegenden Anzeigen sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand herstellungsbedingt und nicht durch den Betrieb entstanden. Es ist kein Schädigungsmechanismus bekannt, der zu vergleichbaren Anzeigenmustern beim Betrieb führen könnte.

Sofern sich neue Erkenntnisse bei der Bewertung der Anzeigen von Doel-3 ergeben, wird die RSK ihre Beratungen erneut aufnehmen.

Im Rahmen einer Stichprobenprüfung wurden im Jahre 2012 zerstörungsfreie Prüfungen des Grundwerkstoffs der beiden Mantelschüsse zwischen den Schweißnähten SST 36 und 39 von GKN-II in einem Umfangbereich von 30° vorgenommen [7]. Es wurden keine Anzeigen nachgewiesen. Dabei wurden die Empfindlichkeiten der Ultraschallprüftechnik so eingestellt, wie sie im Rahmen der damaligen Fertigungsprüfung eingestellt worden waren. Nach den vorliegenden Erkenntnissen zu Doel-3 hätten mit dieser Technik Anzeigen, wie sie dort nachgewiesen wurden, auch gefunden werden müssen. Die Ergebnisse der Sonderprüfung in GKN-II haben den Qualitätsstandard der Schmiedeteile für den RDB nach einem Betrieb von mehr als 20 Jahren bestätigt.

Im Rahmen der Überprüfungen der Sprödbruchsicherheit der RDB von Anlagen, die heute noch in Betrieb sind, wurden auch die Dokumentationen der Fertigungsprüfungen für die zu analysierenden Bereiche der RDB gesichtet. Auch eine erneute Sichtung der Dokumentation der Fertigungsprüfungen für den zylindrischen Bereich aller deutschen Anlagen durch den Anlagenhersteller hat keinen Hinweis auf derartige Anzeigen ergeben, wie sie jetzt in der belgischen Anlage Doel-3 gefunden wurden [8]. Die RSK empfiehlt, die Bestätigung auf alle Schmiedestücke des RDB auszudehnen.

Das derzeit im KTA-Regelwerk geforderte und in den Anlagen umgesetzte Prüf-Konzept, das auf die WKP der Schweißnähte und die anschließenden Wärmeeinflusszonen und hochbeanspruchte Bereiche (z. B. Stützenkanten) ausgerichtet ist, aber keine wiederkehrenden Volumenprüfungen des Grundwerkstoffs vorsieht, ist daher nach dem jetzigen Kenntnisstand sachgerecht. Eine Erweiterung bezüglich der Prüftechnik oder des Prüfumfanges aufgrund der Anzeigen in Doel-3 ist nach Meinung der RSK nicht erforderlich.

2 Ist die Qualitätssicherung und Dokumentation bei Herstellung, Fertigung und insbesondere der Wärmebehandlungsschritte der betriebenen Reaktordruckbehälter so angelegt, dass mögliche Herstellungsbesonderheiten, die derartige Befunde wie in Doel-3 verursachen können, hätten erkannt werden können?

Die nachfolgend dargestellte Beantwortung der Frage 2 beruht wesentlich auf den beim Anlagenhersteller AREVA vorhandenen Informationen sowie auf den Beratungsunterlagen [8, 9, 16] und den Beratungen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE:

Die Schmiedeteile für den zylindrischen Teil der RDB der im Betrieb befindlichen deutschen Anlagen (Grafenrheinfeld (KKG) und jünger) sind Mitte der 70-er Jahre ausschließlich bei Japan Steel Works (JSW) (Japan) hergestellt worden. JSW war zum damaligen Zeitpunkt für die Herstellung großer Schmiedeböcke für deutsche Anlagen von den zuständigen Sachverständigen qualifiziert. Im Rahmen der herstellerbezogenen Werkstoffbegutachtung (z. T. auch Einzelgutachten), die zu einem späteren Zeitpunkt in VdTÜV-Werkstoffblätter mündete (WB 365 und 401/3), wurden abhängig von Werkstoff, Blockgröße, Erzeugnisform (Schmiedering, Platte) und Wanddicke umfangreiche zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen (zfP) durchgeführt, zum Nachweis, dass die betreffenden Teile in spezifizierter Qualität mit ausreichender Fertigungssicherheit hergestellt werden konnten.

Die Fertigung erfolgte nach Herstellungsunterlagen (Fertigungs- und Prüfpläne, Wärmebehandlungspläne, zfP-Anweisungen, etc.), die vom Anlagenhersteller Siemens/KWU und vom zuständigen Sachverständigen geprüft und freigegeben wurden. In diesen Unterlagen sind alle Fertigungsschritte von der Erschmelzung bis zur Auslieferung der Teile beschrieben und die Durchführung der einzelnen Schritte vom Hersteller und, je nach Forderung, auch vom Anlagenhersteller Siemens/KWU und vom Sachverständigen für die Enddokumentation durch Stempel und Unterschrift bestätigt worden. Bei Teilen, die zum Zeitpunkt der Herstellung noch keinem Projekt zugeordnet waren (sog. „Vorfertigung“), erfolgte zusätzlich noch eine Beurteilung der Bauteile im Rahmen des Übernahmegutachtens durch den für die Anlage hinzugezogenen Sachverständigen.

Der Stahl wurde in Elektroöfen erschmolzen; der Abguss der Blöcke (z. T. im „multiple-pouring-Verfahren“ zur Verbesserung der Homogenität der Schmelze und zur Verringerung der Seigerungen) erfolgte zur Reduzierung des Wasserstoff- und Sauerstoffgehaltes unter Vakuum.

Nach dem Schmieden erfolgte eine sog. „Warmablage“, die zur Wasserstoffarmglühung und damit zur Vermeidung von Seigerungsrisen (Flocken) diente. Einzelheiten zu dieser Wärmebehandlung wurden in den offiziellen Dokumenten nicht angegeben, da es sich um spezifisches Know-How des Herstellers handelte.

Nach dieser Warmablage fand eine mechanische Bearbeitung des Schmiederohlings statt, die in einem möglichst konturenarmen Zustand eine erste herstellerinterne Volumenprüfung des Teils mit Ultraschall erlaubte. Nur Teile, die diese Prüfung ohne Auffälligkeiten überstanden, sind weiter verarbeitet worden.

Zum Nachweis, dass die Schmiedestücke frei von unzulässigen Seigerungen waren, wurden entsprechend der damaligen Spezifikationen des Anlagenherstellers Siemens/KWU nach dem „Abschöpfen“ am Kopf- und Fußende des Blockes und bei zylindrischen Teilen entlang dreier um 120° versetzten Mantellinien (beide Stirnflächen, Innen- und Außenoberfläche) chemische Analysen auf alle relevanten Legierungs- und Stahlbegleitelemente durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert. Aus dem gleichen Grund wurden an den Stirnflächen und z. T. über die gesamte Länge der fertig bearbeiteten Innen- und Außenoberflächen der zylindrischen Ringe Härteprüfungen und sog. Baumannabzüge (Schwefelabdrücke) angefertigt. Auch diese werkstoffmechanischen Prüfungen werden nach dem ASME Code, der den Prüfungen der Schmiedeteile für den Doel 3 RDB zugrunde lag, nicht verlangt. (Siehe auch [8])

Nach der letzten (Qualitäts-) Wärmebehandlung erfolgte eine Ultraschallvolumenprüfung mit Senkrecht- und Winkelprüfköpfen von allen Oberflächen aus und eine Oberflächenrissprüfung (Magnetpulverprüfung) der gesamten endbearbeiteten Oberfläche. Im Vergleich zu der nach der Fertigung erfolgten Ultraschallprüfung der zylindrischen Ringe des RDB der belgischen Anlage Doel-3 wurde die Prüfung entsprechend der Prüfanweisung von Siemens/KWU für alle noch in Betrieb befindlichen RDB mit einer Prüfeempfindlichkeit entsprechend der Reflektivität von Kreisscheiben durchgeführt (Registriergrenze Kreisscheibe 3 (4) bei Schrägeinschallung mit 45° Winkelprüfkopf in Abhängigkeit der Wanddicke und Kreisscheibe 6 bei Senkrechteinschallung, im Unterschied zur Kalibrierung am Rückwandecho und Bewertung der Anzeigen über dem Rauschen unter Beachtung von Längenkriterien, entsprechend dem ASME Code). Diese Registriergrenzen wurden bei JSW eingehalten, in der Regel sogar weit unterschritten ([8- 9]). Die Prüfungen wurden mit einer Frequenz von 2 MHz durchgeführt. Eine Reduzierung der Frequenz auf 1 MHz, die auf eine schlechte Durchschallbarkeit der Schmiedestücke hindeuten würde, wurde nicht festgestellt. Die Prüfungen erfolgten dreifach unabhängig vom Hersteller, Anlagenhersteller und Sachverständigen (third party princip). Alle Prüfungen wurden dokumentiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Qualitätssicherung und Dokumentation bei der Herstellung der Schmiedestücke der RDB der in Betrieb befindlichen deutschen Anlagen so angelegt war, dass mögliche Herstellungsbesonderheiten, die derartige Anzeigen wie in Doel-3 hätten verursachen können, erkannt worden wären, insbesondere wenn man die in [3] beschriebenen Fehlergrößen zugrunde legt.

Die Weiterverarbeitung der Schmiedestücke zum fertigen RDB hat auf die Fehlermechanismen, wie sie für den RDB des belgischen Kernkraftwerks Doel-3 auf Basis des derzeitigen Kenntnisstandes angenommen werden, praktisch keinen Einfluss, so dass die weiteren Fertigungsschritte der RDB für die Anlagen in Deutschland aufgrund der festgestellten Qualität der Schmiedeteile nicht weiter im Detail betrachtet werden müssen.

Für deutsche Anlagen waren die angewendeten Prüfschritte [8, 9, 16] umfangreicher als für Doel-3, mit der Konsequenz, dass das Vorhandensein herstellungsbedingter Fehler, wie sie als Ursache der im zylindrischen Teil des RDB von Doel-3 jetzt aufgefundenen Anzeigen vermutet werden („hydrogen flakes“), für die RDB der im Leistungsbetrieb befindlichen deutschen Anlagen nicht anzunehmen sind. Diese Bewertung wird auch dadurch gestützt, dass bei der Herstellung von RDB für deutsche Kraftwerke Schmiedeteile verworfen wurden, bei denen die dort nachgewiesenen Anzeigenbereiche mit den in Doel-3 gefundenen vergleichbar waren (Ultraschall-Mustervergleich) und die zur weiteren Untersuchung nationalen Forschungsprogrammen

zur Komponentensicherheit zugeführt wurden [5, 6]. Mit der Bestätigung der Fehlerfreiheit durch eine Bewertung der Dokumentation können derartige Fehler ausgeschlossen werden.

6 Empfehlung

Es wird empfohlen, die Fertigungsdokumentation aller Schmiedestücke für den RDB (d.h. nicht nur des zylindrischen Bereichs) der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke mit Bezug auf die Befunde im zylindrischen Teil des RDB von Doel-3 zu bewerten.

Beratungsunterlagen

- [1] Vorläufige Stellungnahme der GRS zu den Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter der belgischen Anlage Doel-3, GRS A-6110, elm, 09.08.2012

- [2] Schreiben (Az.: RS I 3 – 17018/1) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom 23.08.2012 an die RSK, betr.: Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter (RDB) des Kernkraftwerks Doel-3

- [3] Flaw indications in the reactor pressure vessel of Doel 3, a summary of the information available on the 3rd of September 2012, zur Verfügung gestellt von FANC im Internet unter <http://www.fanc.fgov.be/GED/00000000/3200/3288.pdf>

- [4] Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter des belgischen Kernkraftwerks Doel, Block 3, von der GRS im mündlichen Bericht zu TOP der 122. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 12.09.2012 gezeigte Bilder

- [5] Zwischenbericht der Staatlichen Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart) in der 123. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 09./10.10.2012 zur Vorgehensweise bei der Fertigung des Kernkraftwerks Philippsburg, Block 2 (KKP-2) (von der MPA Stuttgart gezeigte Bilder)

- [6] K. Kußmaul, Aufgaben, Ziele und erste Ergebnisse des Forschungsprogramms Komponentensicherheit, VGB Kraftwerkstechnik, Heft 6, Juni 1980, 1 – 12

- [7] Übertragbarkeit und Verifikation der Ultraschallanzeigen am RDB von Doel-3 auf deutsche Anlagen, von den Betreibern in der 123. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 09./10.10.2012 gezeigte Bilder

- [8] JSW Technical Report TR-012-GN
„Difference in Material Manufacture between ASME Code and German Requirements“ (June 1978)

-
- [9] S. Onodera, T. Tsukada, K. Suzuki, I. Sato
“Development in Steel Making and Forgings for Nuclear Pressure Vessels”,
JSW Tech. Rep. TR-272-PM, Pres. at the Specialist Meeting of IAEA, Madrid,
Nov. 25 - 28, 1985
- [10] Arbeitsvorschrift AVS 13: Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedeteilen für
Komponenten des NDES; 24.11.1972
- [11] RSK Stellungnahme: Untersuchungsvorhaben SR 2318 des BMU „Bewertung der
Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung austenitischer
Plattierungen von Reaktordruckbehältern“ vom 27.01.2005 (379. Sitzung)
- [12] A. Erhard, H. Wüstenberg, H.-M. Thomas: Zerstörungsfreie Prüfung der Plattierung
und des plattierungsnahen Bereichs; Technischer Bericht der BAM, 5. September
1995; Auftraggeber Kernkraftwerk Stade
- [13] Wüstenberg, H., Erhard, A., Brekow, G.: Evaluation of Different Probe Concepts of the Inspection
of Claddings; Materials Evaluation (October 1996) Volume 54, No. 10,
page 1077 – 1086
- [14] Erhard, A., Thomas, H.-M. : Prüfung der Plattierung mit Impuls-Wirbelstrom- und
Ultraschallverfahren; Materialprüfung 38 (1996) 11-12, S. 474-478
- [15] G. O. Engl, H. J. Elsner: Comparison of requirements for inservice inspection in Germany with
Section XI, ASME, BAPV code; Proceedings of the Third International Conference
11-13 February 1980, Salt Lake City, Utah USA (ISBN: 0-87170-109-X)
- [16] S. Onodera, Y. Ohkubo, M. Takeya and M. Wataya: Defects and their inspectability
by UT in current heavy section steels for nuclear power plant; Proceedings of the Fifth
International Conference on Nondestructive Evaluation in the Nuclear Industry ;San
Diego, California, 10-13 May 1982 (ISBN: 0-87170-158-8)
- [17] American Nuclear Society; ANS Nuclear Café: Doel-3 in Belgium reports possible pressure vessel
flaw; Posted on August 15, 2012; Findings could be significant for other reactors by Will Davis