
RSK-Empfehlung

(512. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 22./23.10.2019)

Ergebnisse des ENSREG Topical Peer Review zum Alterungsmanagement Anforderung zur Prüfung des RDB-Grundwerkstoffes

EMPFEHLUNG

1 Beratungsauftrag des BMU und Beratungsgang

Die European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) hat im Oktober 2018 ihren Bericht zum ersten Topical Peer Review (TPR) [1] vorgelegt, der dem Alterungsmanagement gewidmet war. Im Bericht zum TPR wird unter anderem das Alterungsmanagement für Reaktordruckbehälter behandelt. In den länderspezifischen Ergebnissen (Anlage [2] zum Bericht [1]) wird für Deutschland ein Verbesserungspotenzial (area for improvement) in Bezug auf die Prüfung des Grundwerkstoffes der Reaktordruckbehälter (RDB) ausgewiesen. Die ENSREG erwartet demnach zur Erfüllung der Anforderungen des TPR (Expected level of Performance):

Englischer Originaltext: *Comprehensive NDE is performed in the base material of the beltline¹ region in order to detect defects.*

Dies übersetzt die RSK wie folgt:

Eine umfassende zerstörungsfreie Prüfung des Grundwerkstoffes im kernnahen Bereich wird durchgeführt, um Fehler zu erkennen.

Mit Schreiben vom 18.03.2019 [3] bat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) die RSK darum, die Ergebnisse des ENSREG Topical Peer Review dahingehend zu beraten, ob nach dem Stand von Wissenschaft und Technik in deutschen Kernkraftwerken zusätzliche Maßnahmen zur Prüfung des Grundwerkstoffes der RDB erforderlich sind. Eine zweite Frage des BMU wird in der Stellungnahme zum „Alterungsmanagement elektrischer Kabel“ aus der 511. Sitzung am 04.09.2019 behandelt.

In der 176. Sitzung des Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE (DKW) am 13.06.2019 wurde der Beratungsauftrag des BMU beraten und der Entwurf der Empfehlung erarbeitet. Auf einer Videokonferenz am 21.08.2019 wurde der Entwurf der Empfehlung überarbeitet und anschließend der RSK übergeben. Die RSK beriet die Empfehlung in der 511. Sitzung am 04.09.2019. In der 177. Sitzung des

¹ Die ENSREG definiert die „beltline region“ als den kernnahen Bereich des RDB, in dem eine Neutronenfluenz von mehr als 10^{17} n/cm² erreicht wird. Das entspricht dem Bereich, in dem entsprechend der KTA-Regel 3201.2 die Neutronenversprödung des Materials zu berücksichtigen ist.

RSK-Ausschusses DKW wurden aus der RSK-Sitzung verbleibende Fragen aufgegriffen und der Entwurf anschließend ergänzt. Die RSK beriet die ergänzte Empfehlung und verabschiedete diese in ihrer 512. Sitzung am 22./23.10.2019.

2 Hintergrund

Den Hintergrund für die Forderung der ENSREG nach einer umfassenden Prüfung des RDB-Grundwerkstoffes im kernnahen Bereich bilden die Befunde im Grundwerkstoff der Reaktordruckbehälter der belgischen Kernkraftwerke Doel-3 und Tihange-2 (die z. B. in der RSK-Stellungnahme aus der 503. RSK-Sitzung [4] beschrieben sind) sowie die Befunde im Reaktordruckbehälter des Schweizer Kernkraftwerkes Beznau-1 (Informationen enthält der Bericht [5]).

In ihrem Bericht [1] weist die ENSREG auf die Erkenntnisse aus der jüngeren Betriebserfahrung hin, wonach einige herstellungsbedingte Fehler im Grundwerkstoff nicht während der Herstellung und auch nicht bei früheren Prüfungen festgestellt worden waren. Sie verweist hierbei auf die Befunde von Unterplattierungsrisen in den späten 1990er Jahren in Frankreich, von Wasserstofflocken in Belgien 2012 und von nicht-metallischen Einschlüssen in der Schweiz 2015, die jeweils bei Prüfungen im Betrieb gefunden worden seien. Es handele sich dabei nicht um alterungsbedingte Defekte, sie seien aber durch zerstörungsfreie Prüfungen mit den neuesten Prüftechniken gefunden worden.

Die WENRA (Western European Nuclear Regulators Association) habe im Jahr 2014 eine umfassende Prüfung der Herstellungs- und Prüfdokumentation für die Schmiedeteile der RDB empfohlen, zudem eine Prüfung des RDB-Grundwerkstoffes, wenn dies als erforderlich angesehen werde. Gemäß der Aussage der WENRA hätten die meisten Länder basierend auf der Dokumentenprüfung keine umfassende Prüfung des Grundwerkstoffes für erforderlich gehalten.

Unter Berücksichtigung der Erfahrung aus dem Kernkraftwerk Beznau-1, wo ein anderer Fehlertyp festgestellt wurde als in den belgischen Reaktoren, sieht es die ENSREG im Rahmen des TPR jedoch als unzureichend an, nicht zumindest einmal eine umfassende Prüfung des Grundwerkstoffes im kernnahen Bereich durchzuführen, um jegliche Fehler zu entdecken („to detect any defects“). Die ENSREG hebt hervor, dass Standardprüfverfahren, mit denen Risse im Schweißnahtbereich aufgefunden werden sollen, nicht unbedingt dazu geeignet sind, Fehler im kernnahen Bereich zu erkennen. Die Anwendung qualifizierter Prüfverfahren und geeigneter Registriergrenzen sei erforderlich, um bei der umfassenden zerstörungsfreien Prüfung des Grundwerkstoffes im kernnahen Bereich Fehler erkennen zu können. Daraus leitet die ENSREG die oben dargestellte Erwartungshaltung ab.

Mit den Befunden in der belgischen Anlage Doel-3 und den daraus zu ziehenden Folgerungen für die deutschen Anlagen hat sich die RSK bereits in ihrer Stellungnahme in der 454. Sitzung am 17.01.2013 [6] befasst. Die RSK kam auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes zu dem Ergebnis, dass das derzeit im KTA-Regelwerk geforderte und in den Anlagen umgesetzte Prüfkonzept, das auf die WKP der Schweißnähte und der anschließenden Wärmeeinflusszonen und hochbeanspruchten Bereiche (z. B. Stützenkanten) ausgerichtet ist, aber keine wiederkehrenden Volumenprüfungen des Grundwerkstoffes vorsieht, sachgerecht ist. Eine Erweiterung

bezüglich der Prüftechnik oder des Prüfumfanges aufgrund der Anzeigen in Doel-3 ist nach Meinung der RSK nicht erforderlich. Die RSK stellte des Weiteren fest, dass die Qualitätssicherung und Dokumentation bei der Herstellung der Schmiedestücke der RDB der in Betrieb befindlichen deutschen Anlagen so angelegt waren, dass mögliche Herstellungsbesonderheiten, die derartige Anzeigen wie in Doel-3 hätten verursachen können, erkannt worden wären, insbesondere, wenn man die für Doel-3 beschriebenen Fehlergrößen zugrunde legt. Mit der Bestätigung der Fehlerfreiheit durch eine Bewertung der Dokumentation könnten derartige Fehler ausgeschlossen werden. Die RSK empfahl daher, 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.

Die in der Folge durchgeführten Maßnahmen sind z. B. im Bericht der WENRA [7] dokumentiert. Demnach wurde für alle in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke die Herstellungsdocumentation überprüft. Für alle in Betrieb befindlichen deutschen Druckwasserreaktor(DWR)-Anlagen wurden zudem zusätzliche Ultraschallprüfungen an den Schmiederingen im kernnahen Bereich in einem Sektor von 30° bis 38° von der Innenseite aus durchgeführt. Im Siedewasserreaktor (SWR) Gundremmingen, Block B wurden Ultraschallprüfungen in einem Sektor von 45° von der Außenseite aus durchgeführt. Es wurden keine registrierpflichtigen Anzeigen gefunden. Der RSK-Ausschuss DKW wurde in seiner 123. Sitzung am 09./10.10.2012, 132. Sitzung am 16.10.2013 und 141. Sitzung am 10.12.2014 über die Sonderprüfungen informiert. Gemäß der Darstellung in der 123. DKW-Sitzung am Beispiel GKN-2 wurden bei diesen Prüfungen die Empfindlichkeiten der Ultraschallprüftechnik so eingestellt, wie sie im Rahmen der damaligen Fertigungsprüfung eingestellt worden waren [8].

In Kenntnis der Sachlage, die vom BMU im Rahmen des TPR dargestellt wurde, hat die ENSREG die landesspezifische Bewertung abgegeben, dass für Deutschland ein Verbesserungsbedarf im Hinblick auf die umfassende Prüfung des Grundwerkstoffes der Reaktordruckbehälter im kernnahen Bereich besteht.

3 Bewertungsmaßstäbe

In dieser Empfehlung wird die Frage des BMU beantwortet, ob vor dem Hintergrund der Bewertung im ENSREG Topical Peer Review in deutschen Kernkraftwerken nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zusätzliche Maßnahmen zur Prüfung des Grundwerkstoffes der RDB erforderlich sind.

Die ENSREG geht mit ihrer Forderung, eine umfassende zerstörungsfreie Prüfung des Grundwerkstoffes im kernnahen Bereich durchzuführen, über die Empfehlung der WENRA aus dem Jahr 2014 hinaus, die zunächst eine Dokumentenprüfung empfahl. Die Argumentation der ENSREG zur Ableitung ihrer Forderung basiert auf den folgenden beiden Aspekten:

- Im Schweizer Kernkraftwerk Beznau wurde ein anderer Fehlertyp als in Doel-3 und Tihange-2 festgestellt.
- Die für die Prüfungen im Schweißnahtbereich angewandten Prüfverfahren sind möglicherweise ungeeignet für die Erkennung von Fehlern im Grundwerkstoff des kernnahen Bereichs.

Die ENSREG erkennt dabei an, dass die Fehler in den RDB herstellungsbedingt und nicht durch Alterungseffekte entstanden sind.

Für die Beantwortung der BMU-Frage geht die RSK auf die folgenden Einzelaspekte ein:

- Eignung der Herstellungsverfahren, um Fehler wie in Beznau zu vermeiden. Dabei stützt sich die RSK auf ihre Stellungnahme [4] aus 2013 ab.
- Bewertung, ob die Prüfungen bei der Herstellung der deutschen RDB auch vor dem Hintergrund der aktuellen Erkenntnisse geeignet waren, aus sicherheitstechnischer Sicht unzulässige Abweichungen sicher aufzufinden.

Weitere Anforderungen aus dem internationalen Regelwerk oder neue Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung, die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik für die Beantwortung der Frage des BMU zugrunde zu legen wären, sind der RSK nicht bekannt.

4 Stellungnahme

Nach dem Verständnis der RSK bauen die Prüfungen in Kernkraftwerken aufeinander auf, um sicherzustellen, dass die Einrichtungen die geforderten Eigenschaften aufweisen und diese über die Betriebsdauer erhalten bleiben:

- Mit Prüfungen bei der Herstellung ist nachzuweisen, dass die an den Betreiber gelieferten Komponenten die spezifizierten Anforderungen erfüllen.
- Regelmäßige wiederkehrende Prüfungen dienen dem Nachweis, dass betriebsbedingte Veränderungen über die Betriebsdauer der Anlagen die erforderliche Qualität der Einrichtungen nicht beeinträchtigen. Diese Prüfungen umfassen beim RDB die Schweißnähte und Wärmeeinflusszonen, nicht jedoch den Grundwerkstoff.
- Sonderprüfungen sind erforderlich, wenn neue Erkenntnisse vorliegen, wonach die Herstellungsprüfungen doch nicht geeignet waren, den Nachweis der erforderlichen Qualität zu erbringen, oder bislang bei den Prüfungen nicht berücksichtigte Alterungseffekte zum Verlust der geforderten Eigenschaften im Betrieb führen können. In diesem Fall können die neuen Erkenntnisse dazu führen, dass das Konzept der wiederkehrenden Prüfungen dauerhaft angepasst werden muss.

Entsprechend diesem Konzept hat die RSK geprüft, ob neue Erkenntnisse vorliegen, die zusätzliche Prüfungen erforderlich machen.

Wie dargestellt, stützt sich die ENSREG in ihrer Argumentation auf die Befunde im Schweizer Kernkraftwerk Beznau-1 ab. Diese Befunde stellen sich entsprechend der Sicherheitsbewertung durch das ENSI [5], die auf dem Bericht der Betreiberin axpo [9] basiert, wie folgt dar:

Insgesamt wurden im RDB der Anlage Beznau-1 in drei Schmiederingen 3632 Anzeigen gefunden. Die überwiegende Mehrzahl davon, nämlich 3511 Anzeigen, wurden im Schmiedering C im kernnahen Bereich festgestellt. Von diesen lag wiederum der Großteil (2689 Anzeigen) in Häufungsbereichen, die von der Betreiberin als „extended areas“ bezeichnet werden. Aus dem Betreiberbericht [9] wird deutlich, dass sich die Anzeigen im Schmiedering C über den gesamten Umfang erstrecken, wobei sich zwischen den „extended areas“ Bereiche mit sehr geringer Anzeigendichte befinden. Im Ring B, in dem 119 Anzeigen festgestellt wurden, verteilen sich diese ungleichmäßig auf den Umfang. Im Ring A gab es zwei einzelne Anzeigen. Zudem wurden in der Bodenkalotte Anzeigen festgestellt, deren Anzahl aufgrund einer anderen, nach Angaben des ENSI [5] für diese Anwendung nicht qualifizierten Prüftechnik nicht mit den Ergebnissen für die Schmiederinge vergleichbar ist. Auch diese Anzeigen verteilen sich ungleichmäßig.

Die Anzeigen wurden auf nichtmetallische Einschlüsse aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) aus dem Herstellungsprozess zurückgeführt. Für die Mehrzahl der Anzeigen wurde eine Größe zwischen 3 mm und 5 mm (in axialer und in Umfangsrichtung) bestimmt. Als erkennbare Fehlergröße wurde eine Fläche von 1 mm² angegeben [9].

Die Aluminiumoxideinschlüsse wurden gemäß [9] durch den Herstellungsprozess verursacht. Entsprechend der Dokumentation wurde während des Gießprozesses der Schmelze Aluminium zugefügt, um Sauerstoff aus der Schmelze zu entfernen. Beim Ring C konnte vermutlich zudem während des Abgusses des Ingots das Vakuum nicht vollständig aufrechterhalten werden. Die Gussblöcke der von Anzeigen betroffenen Ringe B, C und E hatten ein relativ großes Höhen- zu Durchmesser Verhältnis, waren also verhältnismäßig schlank. Der Durchmesser des ausgestanzten Innenteils war klein im Verhältnis zu den anderen Schmiederingen, an denen keine Anzeigen gefunden wurden. Auf dieser Basis bestätigt das ENSI, dass die Anzeigen durch Aluminiumoxideinschlüsse verursacht werden, die sich in der Sedimentierungszone im unteren, mittleren Bereich des Ingots angesammelt haben [5].

Das ENSI weist in seiner Bewertung darauf hin, dass der Abguss unter Vakuum und das Verwerfen eines ausreichenden Anteils des Gussblocks nach der angewandten ASTM Spezifikation A-508² gefordert waren, um Abweichungen wie nichtmetallische Einschlüsse im weiter verwendeten Schmiedeteil zu vermeiden. Mehrere RDBs in unterschiedlichen Ländern seien mit derselben Ultraschalltechnik geprüft worden wie der RDB Beznau-1. Bei diesen Prüfungen seien keine Anzeigen mit einer zum RDB Beznau-1 vergleichbaren Charakteristik festgestellt worden. Diese Beobachtung bestätige, dass die Herstellungsverfahren, die auf den Erfahrungen der Stahlhersteller in der Zeit der Herstellung des RDB von Beznau-1 basierten, dazu geeignet waren Anhäufungen von nichtmetallischen Einschlüssen wie im RDB Beznau-1 zu vermeiden. Das ENSI merkt in diesem Zusammenhang an, dass der RDB von Beznau-1 eines der ersten hergestellten Druckgefäße gewesen sei.

Die Herstellungsdocumentation bestätige, dass der Hersteller des RDBs sich der Notwendigkeit des Abschöpfens bzw. Ausstanzens eines ausreichend großen Anteils der Seigerungszone im Gussblock bewusst gewesen sei. Die Befunde aus dem Jahr 2015 zeigten jedoch, dass der Bereich mit negativen Seigerungen im unteren Bereich des Gussblockes wahrscheinlich unzureichend ausgestanzt wurde.

² In der ENSI-Unterlage steht SA-508. Nach Kenntnis der RSK müsste dies jedoch als ASTM-Spezifikation A-508 heißen, da „SA“ die ASME-Variante der entsprechenden ASTM-Vorschrift ist.

Insgesamt hält das ENSI es für begründet, aus der Herstellungsdocumentation abzuleiten, dass bei der Herstellung des RDB von Beznau-1 vom seinerzeitigen Stand der Technik abgewichen wurde. Dies kann zu den Abweichungen, insbesondere im Ring C, beigetragen haben.

Des Weiteren wurde eine Nachbildung von Ring C („Replica C“) mit Prozessparametern, die jenen aus der Herstellung von Ring C möglichst weitgehend entsprachen, produziert. Die Prozessparameter wurden in Anlehnung an die Angaben der bestehenden Herstellungsdocumentation von Ring C festgelegt. Die Nachbildung weist dieselben Anzeigencharakteristiken auf wie Ring C. Des Weiteren liegen die ausgebildeten Aluminiumoxid Einschlüsse in einem Bereich negativer Seigerungen. Somit liegt ein zusätzlicher Beleg dafür vor, dass die Anzeigen auf Besonderheiten des Herstellungsprozesses zurückgehen, die anhand der Dokumentation erkennbar sind.

In seiner sicherheitstechnischen Bewertung kommt das ENSI zu dem Ergebnis, dass die Aluminiumoxid-einschlüsse die makroskopischen Werkstoffeigenschaften, die für die Integrität oder die Neutronenversprödung relevant sind, nicht signifikant beeinflussen. Dies wird gestützt durch die Bewertung eines durch das ENSI berufenen internationalen Expertengremiums [5].

Die RSK ist in ihrer Stellungnahme von 2013 [6] auf die Herstellungsverfahren für die RDB der in Betrieb befindlichen Anlagen eingegangen, um zu prüfen, ob herstellungsbedingte Fehler wie in der Anlage Doel-3 sicher ausgeschlossen werden können.

Aufbauend auf der Stellungnahme [6] stellt die RSK fest: Die Schmiedeteile für den zylindrischen Teil der RDB der im Betrieb befindlichen deutschen Anlagen (Kernkraftwerk Grafenrheinfeld und jünger) wurden seit Mitte der 70-er Jahre ausschließlich bei Japan Steel Works (JSW, Japan) hergestellt. JSW war zum damaligen Zeitpunkt für die Herstellung großer Schmiedeböcke für deutsche Anlagen von den zuständigen Sachverständigen qualifiziert.

Die Fertigung erfolgte nach Herstellungsunterlagen (Fertigungs- und Prüffolgepläne, Wärmebehandlungspläne, zFP-Anweisungen, etc.), die vom Anlagenhersteller Siemens/KWU und vom zuständigen Sachverständigen geprüft und freigegeben wurden. Hier besteht ein Unterschied zu der Herstellung der RDB der Anlagen in Doel, Tihange und Beznau, die nach dem amerikanischen Regelwerk ASME/ASTM hergestellt wurden. In Herstellungsunterlagen für die deutschen Anlagen waren alle Überwachungs- und Prüfschritte, die im Rahmen der Herstellung von der Erschmelzung bis zur Auslieferung der Teile durchzuführen waren, beschrieben. Die Durchführung der einzelnen Schritte ist vom Hersteller und, je nach Forderung, auch vom Anlagenhersteller Siemens/KWU und vom Sachverständigen für die Enddocumentation durch Stempel und Unterschrift bestätigt worden. Bei Teilen, die zum Zeitpunkt der Herstellung noch keinem Projekt zugeordnet waren (sogenannte „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 Böcke (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 so-

genannte „Warmablage“, die zur Wasserstoffarmglühung und damit zur Vermeidung von Wasserstoff-Flockenrisse diente. 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, wurden weiterverarbeitet und nach der abschließenden Wärmebehandlung einer weiteren, jeweils unabhängig durchgeführten Ultraschallprüfung durch Hersteller, Anlagenhersteller und Sachverständigen unterzogen. 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 sogenannte Baumannabzüge (Schwefelabdrücke) angefertigt. Diese werkstofftechnischen Prüfungen werden nach dem ASME Code nicht verlangt.

In Bezug auf die beim RDB Beznau-1 festgestellten Abweichungen ist festzustellen, dass die Zugabe von geringen Mengen von Aluminium zur Bindung von Sauerstoff gängige Praxis ist und auch bei der Herstellung der deutschen RDB angewendet wurde. Dadurch entstehende Aluminiumoxide konzentrieren sich in den Seigerungszone. Wie oben dargestellt, war der Herstellungsprozess bei JSW darauf abgestellt, Seigerungen und nichtmetallische Einschlüsse in den weiter verarbeiteten Schmiedeteilen zu minimieren. Im Vergleich zur Herstellung der RDB bei Doel-3, Tihange-2 und Beznau-1 wurden größere Gussblöcke verwendet, bei denen größere Kopf- und Fußbereiche sowie bei den Ringen der mittlere Bereich vor dem Schmiedeprozess abgetrennt bzw. ausgestanzt werden konnten. Die abgetrennten Bereiche des Gussblockes haben einen deutlich erhöhten Gehalt an nichtmetallischen Einschlüssen im Vergleich zu dem Blockbereich, welcher zur Herstellung der Schmiedeteile eingesetzt wurde. Insgesamt war eine höhere Sicherheit zur Werkstoffhomogenität gegeben als bei der Herstellung bei anderen Herstellern.

Die Unterschiede in den Herstellungsverfahren bei JSW im Vergleich zu anderen Herstellern und die in Deutschland durchgeführten Forschungsvorhaben zur Sicherstellung einer hohen, anforderungsgerechten Qualität der Schmiedeteile für die Reaktordruckbehälter der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke hat VGB POWERTECH für die 168. Sitzung des RSK-Ausschusses DKW am 22.02.2018 zusammengestellt [10]. Danach wurden im Rahmen von Forschungsprogrammen in den 1970er und 80er Jahren zahlreiche Untersuchungen an RDB-Werkstoffen durchgeführt. Diese Untersuchungen schlossen eine Bewertung des Einflusses von Makro- und Mikro-seigerungen sowie Wasserstofflocken auf die strukturelle Integrität von RDB-Werkstoffen mit ein. Im Zusammenhang mit der hier behandelten Thematik ist insbesondere das Forschungsprogramm BMI-TB SR 76 „Grundlegende Untersuchungen des Seigerungsverhaltens des Reaktorstahls 20 MnMoNi 5 5 an einem 180 t-Block“ zu nennen. In dem Forschungsvorhaben wurden gemäß [10] unterschiedliche Arten von Makroseigerungen beschrieben, u. a. negative Seigerungen und nichtmetallische Einschlüsse, die meistens im Fußbereich vorkamen. Es wurden die entsprechenden Abhilfemaßnahmen dargestellt: Absenkung der P- und S-Gehalte, wirkungsvolle Entgasung, Verbesserung der Kokillengeometrie, die Multiple-Pouring-Methode und die Haubenbeheizung. Es wurden in der Präsentation zudem die während der Herstellung durchgeführten Prüfungen dargestellt.

In Bezug auf die Fertigung und Qualitätssicherung an Erzeugnisformen des Primärkreislaufes wurde vom VGB zusammenfassend festgestellt:

- Durch die Stückanalysen an Kopf- und Fußschrott und am Schmiedestück an Kopf und Fuß des ursprünglichen Gussblockes (insbesondere Kohlenstoff- und Schwefelgehalt) wären Seigerungen erkannt worden. Durch die Stückanalysen könnten daher relevante Seigerungen ausgeschlossen werden.
- Durch die Prüfung von Zugproben und Kerbschlagproben in Längsrichtung (parallel zum Faserverlauf), Querrichtung (quer zum Faserverlauf) und Senkrechtichtung (Dickenrichtung) und durch die Prüfungen über den Querschnitt ist sichergestellt, dass die mechanischen Eigenschaften eingehalten sind. Seigerungen, die die mechanischen Eigenschaften negativ beeinflusst hätten, könnten daher auch im überprüften Bauteil ausgeschlossen werden.
- Durch die Baumann-Abzüge an den fertigen Bauteilen im Bereich von Kopf- und Fuß des ursprünglichen Gussblockes wären Seigerungen erkannt worden. Somit könnten auch über die Baumannabzüge Seigerungen ausgeschlossen werden.

Wie im Abschnitt 2 dargestellt, wurde die Fertigungsdokumentation für die RDB [7] der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke nochmals überprüft. Abweichungen während des Herstellungsprozesses hätten dabei festgestellt werden können. Hier besteht ein maßgeblicher Unterschied zu der Herstellung des RDB für Beznau-1, bei dem entsprechend der Bewertung des ENSI zumindest bei einzelnen Schmiedestücken vom seinerzeitigen Stand der Technik abgewichen wurde. Besonderheiten bei der Herstellung des RDB von Beznau-1, wie die späte Zugabe von Aluminium bei der Fertigung von Ring C, sind anhand der Dokumentation erkennbar.

In Summe gibt es aus Sicht der RSK keine Hinweise darauf, dass es während des Herstellungsprozesses der RDB für die deutschen Kernkraftwerke zur Bildung von unzulässigen nichtmetallischen Einschlüssen wie Aluminiumoxiden, die im Zuge der Herstellung nicht entfernt wurden, gekommen sein könnte.

Zur Empfindlichkeit der während der Herstellung durchgeführten Prüfungen führt die RSK in der Stellungnahme [6] aus, dass bezüglich der Nachweisbarkeit von Fehlergrößen und im Vergleich zu den in Doel-3 gefundenen Fehlern die Ergebnisse zugrunde gelegt werden, wie sie gemäß [11] 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. Damit sind Fehlergrößen, die einen signifikanten Einfluss auf die Integrität des RDB haben, d. h. insbesondere rissartige Fehler von technisch relevanter Größe, deutlich erkennbar.

Jedoch ist das Reflexionsverhalten einer Kreisscheibe anders als das von eher kugelförmigen, runden nichtmetallischen Einschlüssen. Daher lässt sich auf Basis der vorliegenden Informationen keine Aussage dazu treffen, ob mit diesen zerstörungsfreien Prüfungen Fehler wie im RDB Beznau-1, sicher hätten festgestellt werden können.

Die Sonderprüfungen, die an den RDB der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke durchgeführt wurden, wurden mit der gleichen Empfindlichkeit wie die Prüfungen im Rahmen der Herstellung durchgeführt. Insofern ist auch für diese Prüfungen nicht sichergestellt, dass Fehler wie am RDB von Beznau-1 sicher erkannt worden wären.

Daher stellt sich die Frage nach der Notwendigkeit der Erkennung entsprechender Abweichungen durch die Ultraschallprüfungen bei der Herstellung. Hierbei sind zwei Aspekte wichtig:

- Durch den Herstellungsprozess war sichergestellt, dass in den weiterverwendeten Schmiedeteilen keine unzulässigen Seigerungen oder nichtmetallischen Einschlüsse verblieben.
- Die Prüfungen während der Herstellung waren dazu geeignet, unzulässige Seigerungen und nichtmetallische Einschlüsse zu erkennen. Hierbei ist die Gesamtheit der durchgeführten werkstofftechnischen und zerstörungsfreien Prüfungen zu betrachten, die Ultraschallprüfungen sind nicht isoliert zu sehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Abweichungen bei den RDB der Anlagen Doel-3, Tihange-2 und Beznau-1 auf Effekten beruhen (ausgeprägte Seigerungen, unzulässige nichtmetallische Einschlüsse und zu hohe Wasserstoffkonzentrationen, die bei der Herstellung nicht entfernt wurden, sowie mangelnde Entgasung beim Abguss des Stahls), die bei der Herstellung der Schmiedeteile für die deutschen RDB hinreichend bekannt waren. Sie wurden im Fertigungsprozess vermieden und bei den Herstellungsprüfungen berücksichtigt. Mit der unabhängigen Überwachung durch Sachverständige ist eine zusätzliche Sicherheit gegeben. Zur Absicherung wurde nach den Erkenntnissen aus Doel-3 und Tihange-2 die Herstellungsdocumentation nochmals überprüft. Dabei wurde die anforderungsgerechte Herstellung und Prüfung bestätigt. Es liegen keine neuen Erkenntnisse vor, die zusätzliche Sonderprüfungen erforderlich machen würden.

Aus den dargestellten Gründen kommt die RSK zu dem Schluss, dass sich aus den festgestellten, herstellungsbedingten Abweichungen in den zylindrischen Ringen der RDB der Anlagen Doel-3, Tihange-2 und Beznau-1 kein Bedarf zur umfassenden Prüfung des Grundwerkstoffs der RDB der deutschen Kernkraftwerke ableiten lässt.

5 Fazit

Die RSK sieht es nach dem Stand von Wissenschaft und Technik nicht als erforderlich an, in den deutschen Kernkraftwerken weitere Maßnahmen zur Prüfung des Grundwerkstoffs der RDB durchzuführen.

6 Beratungsunterlagen

- [1] European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)
1st Topical Peer Review Report “Ageing Management”
Oktober 2018

- [2] European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)
1st Topical Peer Review “Ageing Management”
Country specific findings
Oktober 2018

- [3] Beratungsauftrag des BMU
Ergebnisse des Topical Peer Review „Alterungsmanagement“
(AZ S I 3 – 17018, S I 3 – 18033-2/1.1), 18.03.2019

- [4] RSK-Stellungnahme (503. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 23.05.2018)
Bewertung der Sicherheitsnachweise für die Reaktordruckbehälter der belgischen Kernkraftwerke
Doel-3 / Tihange-2

- [5] Eidgenössisches Nuklearinspektorat (ENSI)
ENSI Review of the Axpo Power AG Safety Case for the Reactor Pressure Vessel of the Beznau
NPP Unit 1
Bericht ENSI 14/2573, 28.02.2018

- [6] RSK-Stellungnahme (454. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 17.01.2013)
Ultraschallanzeigen am Reaktordruckbehälter des belgischen Kernkraftwerks Doel, Block 3 (Doel-
3)

- [7] Western European Nuclear Regulators Association (WENRA)
Activities in WENRA countries following the Recommendation regarding flaw indications found
in Belgian reactors
Updated Report, 02.11.2017

- [8] RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE
Ergebnisprotokoll der 123. Sitzung am 09./10.10.2012
gebilligt am 21.11.2012

-
- [9] axpo
Sicherheitsbericht, Kernkraftwerk Beznau, Reaktordruckbehälter Block 1
März 2018
- [10] VGB POWERTECH: Anomalien beim Schmiedevorgang an Großkomponenten ausländischer
Kernkraftwerke;
Präsentation in der 168. Sitzung des RSK-Ausschusses DKW am 22.02.02018 in Lingen
- [11] S. Onodera, Y. Ohkubo, M. Takeya and M. Wataya: Defects and their inspectability by UT in cur-
rent 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)