



## Aktennotiz

---

Datum: 20.09.2017                      Seiten: 16                      Anhänge: -                      Beilagen: -  
Verteiler intern: -  
Verteiler extern: -  
Sachbearbeiter: MATE  
Visum

Visum Vorgesetzte

---

Klassifizierung                      keine  
Aktenzeichen                      10KEX  
Referenz                      ENSI-AN-10147

---

## Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation

### Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Ausgangslage</b>  | <b>3</b> |
| 1.1      | Vorgeschichte  | 3        |
| 1.2      | Internationale Aktivitäten der WENRA                                     | 4        |
| <b>2</b> | <b>Technische Grundlagen</b>   | <b>5</b> |
| 2.1      | Kohlenstoffsegregation   | 5        |
| 2.2      | Auswirkung erhöhter Kohlenstoffgehalte                                   | 5        |
| 2.3      | Betroffene Schmiedeteile   | 5        |
| 2.4      | Lage der Kohlenstoffanomalien  | 6        |
| 2.5      | Strukturintegritätsnachweis  | 6        |
| <b>3</b> | <b>Dampferzeuger Kernkraftwerk Beznau</b>                                | <b>7</b> |
| 3.1      | Angaben des Betreibers   | 7        |
| 3.1.1    | Aufbau der Dampferzeuger   | 7        |
| 3.1.2    | Anforderungen, Herstellung und Abnahme der Schmiedeteile                 | 7        |
| 3.1.3    | Resultate der Prüfung der Herstellungsdocumentation der<br>Wasserkammern | 8        |
| 3.1.4    | Resultate der Prüfung der der Herstellungsdocumentation der Rohrplatten  | 8        |
| 3.1.5    | Resultate der Prüfung der Herstellungsdocumentation der Deckelkalotten   | 9        |



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2      | Ergebnisse der Überprüfung durch den SVTI-N                             | 10        |
| 3.3      | Beurteilung des ENSI  | 10        |
| <b>4</b> | <b>Dampferzeuger Kernkraftwerk Gösgen</b>                               | <b>12</b> |
| 4.1      | Angaben des Betreibers  | 12        |
| 4.1.1    | Aufbau der Dampferzeuger  | 12        |
| 4.1.2    | Anforderungen, Herstellung und Abnahme der Schmiedeteile                | 12        |
| 4.1.3    | Resultate der Prüfung der der Herstellungsdocumentation der Rohrplatten | 13        |
| 4.2      | Ergebnisse der Überprüfung durch den SVTI-N                             | 13        |
| 4.3      | Beurteilung des ENSI  | 13        |
| <b>5</b> | <b>Referenzen</b>   | <b>15</b> |



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Vorgeschichte

Am 7. April 2015 hat die französische Aufsichtsbehörde ASN die Öffentlichkeit darüber informiert, dass im Reaktordeckel und –boden des französischen Kernkraftwerks Flamanville 3, das zurzeit im Bau ist, Zonen mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt festgestellt worden sind.

Im Rahmen der von der ASN angeordneten Untersuchung dieser Befunde, wurden Mängel in der Herstellungsdocumentation von weiteren Komponenten des Kernkraftwerks Flamanville 3 entdeckt. Die betroffenen Komponenten stammten aus dem französischen Schmiedewerk Creusot Forge. Der Konzern AREVA, dem Creusot Forge gehört, führte daraufhin eine Analyse sämtlicher Unterlagen zur Fertigung von Schmiedeteilen durch. Dabei wurden über 9000 Unregelmässigkeiten bei der Dokumentation, darunter auch mehrere Fälle von Dokumentenfälschungen entdeckt.

Im Juni 2016 hatte das ENSI deshalb gefordert, dass die schweizerischen Kernkraftwerke Informationen einholen und prüfen, ob in der Schmiede Creusot Forge gefertigte Bauteile mit allfällig fehlerhafter Herstellungsdocumentation im Einsatz waren oder sind. Alle Werke konnten bestätigen, dass die Herstellungs- und Materialzeugnisse für alle verwendeten Schmiedeteile für die sicherheitsrelevanten Hauptkomponenten vollständig dokumentiert sind. In den Herstellungsunterlagen der schweizerischen Kernkraftwerke wurden keine Hinweise auf Fälschungen gefunden.

Unabhängig von der Fälschungsthematik, zeigten die Untersuchungen der Befunde im Reaktordeckel und –boden von Flamanville 3, dass je nach Herstellungsverfahren auch andere grössere Schmiedeteile Zonen mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt aufweisen könnten. Daraufhin hat die ASN die Untersuchungen insbesondere auf die Dampferzeuger der französischen Kernkraftwerke ausgedehnt.

Bei diesen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Wasserkammern für Kernkraftwerke der 900 und 1450 MWe Serie, gefertigt bei Creusot Forge oder Japan Casting & Forging Cooperation (JCFC), von Kohlenstoffanreicherungszone betroffen sind. Für 12 dieser 18 Kernkraftwerke hat die ASN am 18. Oktober 2016 vertiefte Analysen angeordnet. Die Betreiberin der französischen Kernkraftwerke EDF musste nachweisen, dass die Dampferzeuger trotz erhöhtem Kohlestoffanteil über die notwendige Materialzähigkeit verfügen.

Diese Anordnung hat das ENSI veranlasst, die Dampferzeuger der Schweizer Kernkraftwerke Beznau und Gösgen ebenfalls überprüfen zu lassen. Im Dezember 2016 forderte das ENSI mit den Briefen /1/ und /2/ die Kernkraftwerke Beznau und Gösgen auf, die Qualität und Ausführung der Schmiedeteile für den Dampferzeuger hinsichtlich Einhaltung der Materialspezifikation zu überprüfen. Der hierzu zu erstellende und dem ENSI einzureichende Bericht soll neben Angaben zu Hersteller, Bauvorschrift, durchgeführten Abnahmeprüfungen auch detaillierte Informationen zum Herstellungsprozess enthalten.

Die Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt wurden von der Forderung des ENSI ausgenommen, weil sie als Siedewasserreaktoren nicht über Dampferzeuger verfügen.

In einem weiteren Schritt beauftragte das ENSI mit den Schreiben /3/ und /4/ seinen Sachverständigen den Schweizerischen Verein für Technische Inspektionen (SVTI) mit der Überprüfung der in den Berichten gemachten Angaben auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit.



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b> | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidocs: | 10KEX /   |
| Titel:                  | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter: | 20.09.2017 / MATE   |

## 1.2 Internationale Aktivitäten der WENRA

Anfang September 2017 fand ein von der ASN organisierter Workshop zur Thematik der Kohlenstoffsegregation statt. Neben den französischen Vertretern (ASN, IRSN) und dem ENSI nahmen Vertreter aus Schweden, Niederlande, Belgien, Slowakei, Russland, Deutschland, Japan und UK an diesem Workshop teil. Die jeweiligen Vertreter präsentierten die Situation in ihrem Land bzgl. Untersuchungen, Ergebnisse und Massnahmen.

Zum Abschluss des Workshops wurden am zweiten Tag die Empfehlungen für die WENRA diskutiert und formuliert. Diese richten sich insbesondere an die Hersteller und Betreiber von Kernkraftwerken und regen an, dass die Verantwortlichkeiten für die Qualifikation des Herstellungsprozesses, die Überwachung, Aufzeichnung und Qualitätssicherung sowie auch der Erfahrungsrückfluss klarer geregelt werden sollen.

Mit den Forderungen /1/ und /2/ hat das ENSI vergleichbare Massnahmen getroffen wie in den anderen WENRA-Mitgliedsländern.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

## 2 Technische Grundlagen

### 2.1 Kohlenstoffsegregation

Die in Frankreich festgestellten Zonen mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt sind auf die sogenannte Kohlenstoffsegregation zurückzuführen. Segregationen (Seigerungen) sind Entmischungen, die beim Abkühlen des Gussstückes entstehen. Da die Löslichkeit verschiedener Zusatzelemente wie z.B. Kohlenstoff im Festkörper geringer sind als in der Schmelze, sammeln sie sich diese beim Abkühlvorgang in der Restschmelze. Da die Schmelze von aussen nach innen erstarrt, ist die als letztes erstarrende Gussstückmitte am stärksten von solchen Segregationen betroffen.

Es wird unterschieden zwischen:

- Positiver Segregation: Zone im Kopfbereich des Gussstückes mit Kohlenstoffkonzentrationen grösser als den spezifizierten Werten.
- Negativer Segregation: Zone im Bodenbereich des Gussstückes mit Kohlenstoffkonzentrationen kleiner als den spezifizierten Werten.

Von Bedeutung ist die Zone mit positiver Kohlenstoffsegregation, weil stark erhöhter Kohlenstoffgehalt zu einer Reduzierung der Kerbschlagzähigkeit und Bruchzähigkeit beiträgt.

### 2.2 Auswirkung erhöhter Kohlenstoffgehalte

Für die Komponenten des Primärkreislaufes eines Kernkraftwerkes muss sichergestellt sein, dass sie den auftretenden Belastungen widerstehen und ihre Funktion erfüllen. Ausgehend von diesen Anforderungen werden für die Dampferzeugerteile Wasserkammer und Rohrböden legierte Stähle mit Kohlenstoffgehalten bis max. 0.25 % verwendet.

In Frankreich wurden in Einzelfällen lokal bis zu 0.40 % Kohlenstoffgehalt festgestellt. Herstellungsbedingte Abweichungen in Form eines erhöhten Kohlenstoffgehaltes resultieren in veränderten Werkstoffkennwerten, wobei die Zugfestigkeit und Streckgrenze erhöht werden, während andererseits wegen einer abnehmenden Duktilität der Widerstand gegenüber Sprödbbruch abnimmt.

### 2.3 Betroffene Schmiedeteile

Die Intensität und Grösse der Kohlenstoffsegregationszonen sind abhängig von der Art und Grösse der Gussstücke. Grundsätzlich sind die Zonen in grossen Gussstücken ausgeprägter als in kleinen.

Beim Schmieden wie auch beim nachfolgenden maschinellen Bearbeiten des Gussstückes wird der massgebliche Teil diese Segregationszonen in der Regel durch Abschneiden entfernt. Die Untersuchungen in Frankreich haben jedoch gezeigt, dass bei nicht ausreichendem Abschneiden positive Kohlenstoffsegregationszonen im fertigen Bauteil vorhanden sein können, die den Sollwert überschreiten.

Gemäss den französischen Untersuchungen sind insbesondere Schmiedeteile aus grossen, konventionellen Gussstücken, bei welchen die Gussstückmitte nicht entfernt wurde, betroffen. Neben Reaktordeckeln und -böden sind dies die Wasserkammer, die Rohrbodenplatte sowie die Deckelkalotte der Dampferzeuger. Das ENSI konzentrierte sich in der vorliegenden Bewertung auf diese drei Schmiedeteile.



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b> | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidos:  | 10KEX /   |
| Titel:                  | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter: | 20.09.2017 / MATE   |

## 2.4 Lage der Kohlenstoffanomalien

Wie im Kapitel 2.1 dargelegt, treten im oberen Teil des Zentrums der Gussstücke die höchsten Kohlenstoffkonzentrationen auf. Auch nach dem Schmieden können sich Zonen erhöhter Kohlenstoffkonzentrationen im Zentrum der Schmiedestücke befinden, wenn nicht ausreichend abgeschnitten wurde.

Die Proben zur Analyse der chemischen Stahlzusammensetzung und zur Bestimmung der Materialeigenschaften werden gemäss den heute geltenden Standards aus randnahen Bereichen des Schmiedestückes entnommen. Eine Probeentnahme aus dem Zentrum mit den potentiell höchsten Kohlenstoffkonzentrationen ist nicht zwingend vorgeschrieben. Deshalb kann es vorkommen, dass lokal überhöhte Kohlenstoffgehalte bei der Herstellung nicht erkannt werden.

## 2.5 Strukturintegritätsnachweis

Die Strukturintegrität wird primär sichergestellt, indem das Bauteil nach den Regeln der anzuwendenden Bauvorschrift für die spezifizierten Lasten dimensioniert wird. In bestimmten Fällen werden nachträglich weitere Betrachtungen zur Strukturintegrität erforderlich, z.B. bei neuen Anforderungen, die über die ursprünglich spezifizierten Lastfälle hinausgehen oder nach der Detektion von betriebsinduzierten oder herstellungsbedingten Fehlern. Herstellungsbedingte Abweichungen in Form eines erhöhten Kohlenstoffgehaltes resultieren in veränderten Werkstoffkennwerten, wobei die Zugfestigkeit und Streckgrenze erhöht werden, während andererseits wegen einer abnehmenden Duktilität der Widerstand gegenüber Sprödbruch abnimmt. Je nach Bauteil und Belastungssituation können daher bruchmechanische Untersuchungen, z.B. für Thermoschockbelastungen, an postulierten Rissen sinnvoll sein. Diese Vorgehensweise wurde in Frankreich für die dort betroffenen Wasserkammern der Dampferzeuger gewählt.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidos: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösigen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

## 3 Dampferzeuger Kernkraftwerk Beznau

### 3.1 Angaben des Betreibers

Mit den Briefen /7/ und /8/ kam das KKB der ENSI-Forderung /1/ nach und reichte die Dokumente /9-/ /14/ für die Erfüllung ein.

#### 3.1.1 Aufbau der Dampferzeuger

Jeder der beiden Blöcke des KKB mit je ca. 380 MWe verfügt über zwei Dampferzeuger. Sie stammen von der Firma Framatome (heute AREVA) und ersetzten in den Jahren 1993 (Block 1) und 1999 (Block 2) die damaligen originalen Westinghouse-Dampferzeuger. Grund war die Korrosionsanfälligkeit der Dampferzeuger-Heizrohre, welche infolge nötiger Reparaturmassnahmen zu zunehmenden Leistungseinbussen geführt hatten.

Die KKB-Dampferzeuger sind vertikal stehende Wärmeaustauscher, die aus verschiedenen Schmiedeteilen zusammengesetzt sind. Die Primärseite besteht aus der Wasserkammer (nahtlos geschmiedete Halbkugel samt Ein- und Austrittstutzen), dem geschmiedeten Rohrboden sowie den Wärmeaustauschrohren (U-Rohre). Die Ein- und Austrittsseite der Wasserkammer wird durch eine eingeschweisste Trennwand begrenzt.

Oberhalb des Rohrbodens befindet sich der zylindrische Sekundärraum. An dessen Ende vergrössert sich der Manteldurchmesser zum Dampfdom, der mit der Deckelkalotte inklusive dem Frischdampfstutzen abgeschlossen wird. Der gesamte zylindrische und konische Teil des Sekundärraumes ist aus nahtlos geschmiedeten Ringen zusammengeschweisst.

#### 3.1.2 Anforderungen, Herstellung und Abnahme der Schmiedeteile

Der Primärteil des Dampferzeugers ist in die Sicherheitsklasse 1, der Sekundärteil in die Sicherheitsklasse 2 eingestuft. Gefertigt wurden die Schmiedeteile bei Creusot Forge (CF), Kobe Steel (KS), und Japan Steel Works (JSW).

Die Herstellung der Bauteile für den Dampferzeuger erfolgte nach den HSK-Richtlinien, SVDB-Regelwerk sowie nach der Bauvorschrift ASME Section III Subsection NB und den Vorgaben in der Komponentenspezifikation. Die Herstellungsüberwachung und Abnahme der Dampferzeuger erfolgte durch den SVDB (heute SVTI), dem Sachverständigen des ENSI.

Die durchgeführten Prüfungen an den Bauteilen umfassen die Analyse der chemischen Stahlzusammensetzung, Dimensionskontrolle, Kerbschlagbiegeversuch, Fallgewichtsversuch, Oberflächenrissprüfung, Ultraschallprüfung, visuelle Prüfungen sowie mechanische-technologische Erprobung. Zusätzlich zu den ASME-Anforderungen wurden Warmzugversuche ausgeführt.

Zudem wurde gemäss den Vorgaben der Komponentenspezifikation der Kohlenstoffgehalt der Stückanalyse für den Werkstoff SA 508 Class 3 auf max. 0.22% Kohlenstoff beschränkt. Zulässig nach der Bauvorschrift ASME Sect. III ist ein Kohlenstoffgehalt von max. 0.25%. Ein Grund für die Beschränkung des Kohlenstoffgehaltes ist die bei niedrigerem Kohlenstoffgehalt bessere Schweissbarkeit.

Für die Bewertung des Kohlenstoff-Segregationsrisikos wurden die geschmiedeten ferritischen Bauteile des Dampferzeugers einer vollständigen Überprüfung unterzogen. Für jedes dieser Bauteile wurde ein Datenblatt erstellt, welches Daten zu Charge, Kohlenstoffgehalt, Kerbschlagwerte,  $T_{NDT}$ , Ingottyp, -grösse und -gewicht sowie Discard enthält.



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b> | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidocs: | 10KEX /   |
| Titel:                  | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter: | 20.09.2017 / MATE   |

Die in den Kapiteln 3.1.3ff bewerteten Angaben beziehen sich auf Schmiedeteile, welche aus einem ungestanzten, konventionellen Gussstück hergestellt wurden.

### **3.1.3 Resultate der Prüfung der Herstellungsdokumentation der Wasserkammern**

Die Wasserkammern der Dampferzeuger von KKB 1 wurden von Le Creusot (CF), diejenigen von KKB 2 von Japan Steel Works (JSW) hergestellt. Im Rahmen der Herstellung der vier Wasserkammern wurde eine einzige Abweichungsmeldung dokumentiert. Bei einer der Wasserkammern wurde fehlendes Material beim Supportfuss festgestellt. Nachdem die Stelle überschliffen und eine Oberflächenrissprüfung erfolgreich durchgeführt wurde, wurde die Abweichung vom SVDB akzeptiert.

Die Gussstücke für die Wasserkammern wurden in einem ersten Schritt in eine Rohform geschmiedet und anschliessend maschinell bearbeitet. Dieses mit „forging blank from a conventional ingot and machining“ bezeichnete Verfahren wurde von JSW entwickelt und auch von CF für die Herstellung der Wasserkammern von KKB verwendet. Im Unterschied dazu wurden die Wasserkammern der betroffenen französischen Dampferzeuger mittels heisser Formgebung aus einer geschmiedeten Platte von einem konventionellen Ingot gefertigt („hot forming of a forged blank issued from a conventional type of ingot“).

Während beim für KKB verwendeten Herstellungsverfahren praktisch kein Risiko für Kohlenstoffanomalien besteht, wird beim französischen Herstellungsverfahren ein hohes Risiko für auf im Schmiedestück verbleibende Segregationszonen angesetzt. Dies wird durch die beim Hersteller der Beznau-Teile durchgeführten Stückanalysen bestätigt. Die Untersuchungen bei CF bzw. JSW ergaben Kohlenstoffgehalte von 0.17 bis 0.18 % und lagen damit deutlich unter dem vorgegebenen Sollwert von max. 0.22 % Kohlenstoff.

Bei den Wasserkammern der Dampferzeuger von KKB 2 gibt es zusätzlich eine informative Kohlenstoffgehaltmessung direkt im Zentrum der Schmiedeteile. Diese Messungen wurden zur Bestimmung des lokalen Kohlenstoff- und Schwefelgehaltes durchgeführt und dienten zur Sicherstellung, dass die Plattierung im Bodenbereich des ursprünglichen Gussstückes aufgebracht wird. Bei diesen Messungen wurde im Kopfbereich („center of top of ingot“) ein maximaler Kohlenstoffgehalt von 0.22 % gemessen. Dieser liegt im vorgegebenen Sollwert von max. 0.22 % Kohlenstoff.

Im Block 1 wurden diese Messungen gemäss AREVA ebenfalls durchgeführt, aber nicht protokolliert. Trotz der fehlenden Messungen wird für KKB 1 aufgrund des identischen Herstellungsverfahrens ein vergleichbares Ergebnis erwartet.

### **3.1.4 Resultate der Prüfung der der Herstellungsdokumentation der Rohrplatten**

Alle Rohrplatten der Dampferzeuger von KKB wurden von Creusot Forge (CF) hergestellt. Im Rahmen der Herstellung der vier Rohrplatten wurden keine Abweichungsmeldungen dokumentiert.

Für die Herstellung der Rohrplatten der Dampferzeuger des KKB kam das gleiche Herstellungsverfahren wie bei den französischen Kernkraftwerken zur Anwendung. Bei diesem Herstellungsverfahren können erhöhte Kohlenstoffkonzentrationen im Zentrum der Rohrplatten grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden.

Die durchgeführten Stückanalysen an den vier Rohrböden ergaben Kohlenstoffgehalte zwischen 0.14 und 0.18 % und lagen somit unter dem vorgegebenen Sollwert von max. 0.22 % Kohlenstoff.





|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b>  | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidoocs: | 10KEX /   |
| Titel:                   | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter:  | 20.09.2017 / MATE   |

Bei den Rohrplatten der Dampferzeuger von Block 2 gibt es informative Kohlenstoff-Gehaltmessungen direkt in Zentrum der Schmiedeteile. Diese Messungen wurden zur Bestimmung des lokalen Kohlenstoff- und Schwefelgehaltes durchgeführt und dienten zur Sicherstellung, dass die Plattierung im Bodenbereich des ursprünglichen Gussstückes aufgebracht wird.

Bei den Messungen wurde bei der Rohrplatte des Dampferzeugers B im Kopfbereich (Top of Ingot) ein Kohlenstoffgehalt von 0.23 % gemessen. Dieser Einzelmesswert liegt geringfügig über dem spezifizierten Sollwert von  $\leq 0.22$  % für Stückgutanalysen, jedoch unter dem gemäss der anwendbaren Bauvorschrift ASME Sektion III zulässigen Maximalwert von 0.25%. Nach den internen Kohlenstoffmessungen erfolgte die mechanische Endbearbeitung des Bauteiles. Dabei wurde weiteres Material aus dem positiven Segregationsbereich des Schmiedeteils entfernt. Der Gehalt von Kohlenstoff wurde somit im positiven Bereich weiter reduziert.

Im Block 1 wurden diese Messungen des Kohlenstoffgehaltes direkt im Zentrum der Schmiedeteile gemäss AREVA ebenfalls durchgeführt, aber nicht protokolliert. Trotz der fehlenden Dokumentation der Messungen geht der Hersteller davon aus, dass für KKB 1 aufgrund des identischen Herstellungsverfahrens vergleichbare Werte für den Kohlenstoffgehalt vorliegen wie bei den Messungen im Zentrum der Rohrplatte von Block 2.

Weil beim angewandten Herstellungsverfahren für Rohrplatten Kohlenstoffsegregationen grundsätzlich möglich sind und eine einzige Messung zu wenig repräsentativ ist, um solche auszuschliessen, müssen erhöhte Kohlenstoffgehalte in den Rohrplatten in Betracht gezogen werden.

Zur Begründung, dass die mechanischen Eigenschaften der Rohrplatten trotz allfälliger erhöhter Kohlenstoffgehalte ausreichend sind, führt das KKB folgende Argumente an:

- Die massgebliche Belastung eines möglichen Risses hinsichtlich Sprödbruch ist der primärseitige Drucktest der Wasserkammer. Die Auslegung beinhaltet noch zusätzliche Reserven, so dass die Auslastung für den Drucktest 80 % in keinem Fall übersteigt.
- Während der Lebensdauer der Komponente ist nicht mit der Entstehung eines ermüdungsinduzierten Risses zu rechnen, da gemäss Auslegung der Ausnutzungsfaktor in Bezug auf Ermüdung (fatigue usage factor) im zentralen Bereich der Rohrplatte gering ist.
- Auf Grund des Herstellungsprozesses, der durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen während und nach der Herstellung, kann das Vorhandensein eines aus der Herstellung verbleibenden Defekts ausgeschlossen werden.
- Potentielle Risse in Rohrplatten würden lokal auf den Bereich zwischen zwei Bohrungen beschränkt bleiben, weil die spezielle Geometrie dieser Komponente als multiperforierte Platte mögliche Risse in ihrer Ausdehnung limitiert. Des Weiteren begrenzt der Spannungsgradient in Dickenrichtung die mögliche Risstiefe.

Zusammengefasst führt diese Bewertung für KKB zum Schluss, dass das erwartete Vorhandensein von positiver Kohlenstoffsegregation in den Rohrplatten der Dampferzeuger hinsichtlich Sprödbruchverhalten akzeptiert werden kann und damit die Integrität der Rohrplatten nicht tangiert ist.

### **3.1.5 Resultate der Prüfung der Herstellungsdokumentation der Deckelkalotten**

Alle Deckelkalotten der Dampferzeuger von KKB wurden von Creusot Forge (CF) hergestellt. Im Rahmen der Herstellung der vier Deckelkalotten wurde eine einzige Abweichungsmeldung dokumentiert. An einem der vier Deckelkalotten wurde eine Ultraschallmessung mit 2 MHz statt mit 4 MHz durchgeführt. Diese Abweichung wurde vom SVTI-N akzeptiert.



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b> | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidos:  | 10KEX /   |
| Titel:                  | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter: | 20.09.2017 / MATE   |

Die durchgeführten Stückanalysen an den vier Deckelkalotten ergaben Kohlenstoffgehalte von 0.15-0.18% und lagen somit unter dem vorgegebenen Sollwert von max. 0.22% Kohlenstoff.

Auch für die Deckelkalotten sind Kohlenstoff-Konzentrationsmessungen nahe des kritischen Bereiches („center of top of ingot“) verfügbar, welche Kohlenstoffwerte im zulässigen Bereich ausweisen.

### **3.2 Ergebnisse der Überprüfung durch den SVTI-N**

Die Dokumente wurden von dem vom ENSI benannten Sachverständigen SVTI auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit geprüft.

Das Ergebnis der Überprüfung des SVTI wurde dem ENSI mit dem SVTI Bericht /5/ übermittelt.

Der Sachverständige SVTI hat die gemachten Angaben in den von KKB eingereichten Berichten /9/ - /13/ mit seinen Bauüberwachungsbericht und der beim SVTI archivierten Enddokumentation überprüft.

Die Überwachungstätigkeit des Sachverständigen gemäss Richtlinien und Regelwerk beginnt mit der Wärmebehandlung des Schmiedeteils, der Probenahme und der Endbearbeitung. Nicht in die Überwachungstätigkeit fallen die vorangegangenen Schritte wie Aufnahme der Daten zum Ingot, Discard, zusätzliche Kohlenstoffmessungen zum Bestimmen der Plattierungsseite sowie die Zwischenschritte des Schmiedeprozesses (Zwischenschmieden, mechanische Vorbearbeitung).

Daher sind die in den Berichten /9/ - /13/ gemachten Detailangaben zum Schmiedeprozess, welche auf langjährige Erfahrungen des Herstellers beruhen nicht Bestandteil des Bauüberwachungsberichtes und der beim SVTI archivierten Enddokumentation. Der Sachverständige hält jedoch in seinem Bericht /5/ fest, dass mit den von den Herstellern bereitgestellten Daten in /9/-/13/ gewisse Rückschlüsse auf den Schmiedeprozess gewonnen werden können.

Die in den Berichten /9/-/13/ aufgeführten Materialdaten wurden mit den beim SVTI vorliegenden Dokumenten überprüft und stimmen bis auf eine Unstimmigkeit überein. Die Unstimmigkeit betrifft die RT<sub>NDT</sub>-Angaben im Dokument /11/ und /13/. In beiden Dokumenten sind für das gleiche Schmiedestück verschiedene Werte angegeben. Da die angegebenen Werte in /11/ mit den Angaben in den dem SVTI vorliegenden Dokumenten übereinstimmen, geht der SVTI im Dokument /13/ von einem Übertragungsfehler aus.

Die Bewertungen im Dokument /10/ sind für den Sachverständigen nachvollziehbar und plausibel. Der Sachverständige weist darauf hin, dass die Ergebnisse in /10/ in der Enddokumentation enthalten sind, welche vom Sachverständigen geprüft und verabschiedet wurde.

### **3.3 Beurteilung des ENSI**

Die vom Kernkraftwerk Beznau eingereichten Dokumente /9/-/13/ zu Qualität und Ausführung der Schmiedeteile für den Dampferzeuger wurden vom ENSI und SVTI auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit hin überprüft.

Als potentiell betroffene Bauteile für das Vorhandensein von Kohlenstoffsegregation wurden Schmiedeteile, welche aus einem ungestanzten, grossen, konventionellen Gussstück gefertigt wurden, eingestuft. Für die Dampferzeuger des Kernkraftwerks Beznau sind dies die Schmiedeteile Wasserkammer, Deckelkalotte und Rohrplatte.



|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b>  | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidoocs: | 10KEX /   |
| Titel:                   | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter:  | 20.09.2017 / MATE   |

Die Überwachung der Herstellung der genannten Schmiedeteile gemäss damals gültigem Regelwerk erfolgte durch den vom ENSI benannten Sachverständigen SVDB (heute SVTI).

Jede Wasserkammer mit einem Gewicht von ca. 19 t wurde aus einem Gussstück von ca. 120 t hergestellt. Die während der Fertigung durchgeführten Stückanalysen sowie die zusätzlich vom Hersteller durchgeführten Kohlenstoffmessungen ergaben keine erhöhten Kohlenstoffgehalte. Im Gegensatz zu den in Frankreich betroffenen Schmiedeteilen wurden die Wasserkammern für das KKB mit einem Verfahren gefertigt bei dem praktisch kein Risiko für Kohlenstoffanomalien besteht.

Die Deckelkalotten mit einem Gewicht von ca. 15 t wurden aus Gussstücken von ca. 84 t hergestellt. Die während der Fertigung durchgeführten Stückanalysen ergaben keine erhöhten Kohlenstoffgehalte. Gestützt auf die verfügbaren Kohlenstoff-Konzentrationsmessungen nahe des kritischen Bereiches („center of top of ingot“) der Deckelkalotte folgt das ENSI der Bewertung des KKB, wonach deren Kohlenstoffwerte im zulässigen Bereich liegen.

Jede Rohrplatte mit einem Gewicht von ca. 29 t wurde aus einem Gussstück von ca. 80 t hergestellt. Bei der Herstellung wurde bei einer der Rohrplatten des Dampferzeugers B im Kopfbereich („center of top of ingot“) ein Kohlenstoffgehalt von 0.23% gemessen. Dieser Einzelmesswert liegt zwar unter dem gemäss der Bauvorschrift ASME Sektion III zulässigen Maximalwert von 0.25%. Trotzdem können aufgrund des angewandten Herstellungsverfahrens erhöhte Kohlenstoffgehalte im Zentrum der Rohrplatten nicht vollständig ausgeschlossen werden. Das KKB legt deshalb dar, dass die Strukturintegrität der Rohrplatten trotz einem allfällig erhöhten Kohlenstoffgehalt gewährleistet bleibt.

Das ENSI stimmt mit der Einschätzung des KKB überein, wonach die Auslegung der Dampferzeuger Reserven gegenüber der maximal zu erwartenden Belastungen beinhalten. Mit ermüdungsinduzierten Rissen ist aufgrund des tiefen Nutzungsfaktors nicht zu rechnen.

Die spannungsbasierten Auslegungskriterien der Bauvorschrift werden durch einen erhöhten Kohlenstoffgehalt nicht tangiert, da der hierfür massgebliche Festigkeitswert nicht negativ beeinflusst wird. Die Erhöhung der Festigkeit geht jedoch mit verringerter Duktilität einher, die sich durch eine verringerte Bruchzähigkeit im spröde-duktilen Übergangsbereich bemerkbar macht. Bruchmechanisches Versagen setzt das Vorhandensein eines Anfangsrisses bzw. eines rissartigen Defektes voraus. Solche können jedoch aufgrund der durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen während und nach der Herstellung mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden.

Zudem wäre eine potentielle Rissbildung und -ausbreitung lokal auf den Bereich zwischen zwei Bohrungen begrenzt, so dass selbst ein sehr unwahrscheinlicher wanddurchdringender Riss nur zu einer geringfügigen Leckage zwischen Primär- und Sekundärseite führen und nur begrenzte Auswirkungen auf die Strukturintegrität der Rohrplatte hätte.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Überprüfung der Herstellungsdokumente durch ENSI und SVTI keine Hinweise für Abweichungen von den Auslegungsanforderungen ergab. Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Untersuchungen ist davon auszugehen, dass negative Auswirkungen auf die Strukturintegrität der einzelnen Bauteile der Dampferzeuger aufgrund von allfälliger Kohlenstoffsegregation nicht zu erwarten sind.

Aus Sicht des ENSI sind auf Basis dieser Erkenntnisse keine weiteren Massnahmen erforderlich.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidos: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

## 4 Dampferzeuger Kernkraftwerk Gösgen

### 4.1 Angaben des Betreibers

Mit Brief /15/ kam KKG der ENSI-Forderung /2/ nach und reichte den Bericht /16/ für die Erfüllung ein.

#### 4.1.1 Aufbau der Dampferzeuger

Das KKG verfügt über insgesamt drei Dampferzeuger. Sie stammen von der Firma Gutehoffnungshütte Sterkrade AG in Oberhausen, Deutschland. Die Gutehoffnungshütte war zuständig für den Bau nahezu aller Dampferzeuger der Kraftwerks Union AG (KWU). Im Falle des KKG wurden die Dampferzeuger in Deutschland vorgefertigt und jeweils in zwei Einzelteilen im KKG eingebaut, wo dann die endgültige Zusammenstellung mittels einer Montagenaht erfolgte.

Die KKG-Dampferzeuger sind vertikal stehende Wärmeaustauscher, die aus verschiedenen gewalzten und geschmiedeten Komponenten zusammengebaut sind. Die Primärseite besteht aus der Wasserkammer welche aus einem geschmiedeten Zonenring und einer aus gewalztem Blech gekümpelten Kalotte zusammengeschweisst wurde. Weitere primärseitige Komponenten sind der geschmiedete Rohrboden sowie den Wärmeaustauschrohren (U-Rohre).

Oberhalb des Rohrbodens befindet sich der Sekundärraum, der vollständig aus gewalzten Blechen aufgebaut ist.

#### 4.1.2 Anforderungen, Herstellung und Abnahme der Schmiedeteile

Der gesamte Dampferzeuger, d.h. der Primär- und der Sekundärteil, wurden im KKG in die höchste Sicherheitsklasse 1 eingestuft. Die relevanten Schmiedeteile wurden bei der Firma Reisholz, Düsseldorf gefertigt. Zum Zeitpunkt der Herstellung im Jahr 1975 lagen noch keine spezifischen schweizerischen Richtlinien vor. Die Herstellung erfolgte nach dem nuklearen Regelwerk ASME-Code Section III Sub-section NB und der KWU Komponentenspezifikation RE-L 813 Rev. j mit den entsprechenden Werkstoffspezifikationen. Somit wurden mehr und umfangreichere Prüfungen durchgeführt als gemäss ASME-Code gefordert sind. Die Prüfungen umfassen:

- Zusätzliche Ultraschallprüfungen,
- Härtemessungen für den Nachweis der Gleichmässigkeit der Vergütung,
- Korngrössenbestimmung mit Vorgabe, dass die Korngrösse nach ASTM gleich oder feiner 5 sein muss,
- Baumann-Abdrücke (Prüfung auf Schwefelseigerung),
- Zusätzliche Proben und Probenlagen für die Kerbschlagversuche sowie
- Zusätzliche Probeentnahmeorte für die Analysen und Zugversuche.

Da die Hersteller die auf das einzelne Schmiedeteil angepasste Schmiedetechnik als firmenspezifisches Know-how ansehen, gibt es keine detaillierten Angaben in den abnahmepflichtigen Herstellungsdokumenten (Fertigungs- und Prüffolgepläne) zu Kopf- und Fusschrott, Blockgrösse und Kokillenform.

Die abnahmepflichtigen Fabrikationsschritte in den Fertigungs- und Prüffolgeplänen wurden durch den SVDB selbst oder eine vom SVDB (heute SVTI) beauftragte Abnahmegesellschaft überwacht.



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Klassifizierung:</b> | <b>keine</b>  |
| Aktenzeichen/Publidos:  | 10KEX /   |
| Titel:                  | Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation |
| Datum / Sachbearbeiter: | 20.09.2017 / MATE   |

In den Dampferzeugern des KKG sind einzig die Rohrplatten potentiell von Kohlenstoffanomalien betroffen.

#### **4.1.3 Resultate der Prüfung der der Herstellungsdokumentation der Rohrplatten**

Die Rohrplatten der Dampferzeuger von KKG wurden von der Firma Reisholz hergestellt. Im Rahmen der Herstellung der drei Rohrplatten wurden keine Abweichungsmeldungen dokumentiert.

Die ermittelten Kohlenstoffgehalte von 0.18 bis 0.19 % an den drei Rohrplatten lagen innerhalb des vorgegebenen Sollwertbereiches von 0.17 bis 0.25 % Kohlenstoffgehalt für den ferritischen Werkstoff 22 NiMoCr 3 7 (1.6571).

Bei der Härteprüfung und der anschliessenden Umwertung in die Zugfestigkeit wurde zwischen tiefstem und höchstem Wert eine Spanne von 40 MPa ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gleichmässige Vergütung erzielt wurde.

Die Baumann-Abdrücke waren ohne Befunde, d.h. es liegt keine Schwefelseigerung vor. Auch die Gefügeuntersuchungen zeigten keine Auffälligkeiten. Bei den Ultraschallprüfungen an zwei Rohrplatten wurden keine registrierpflichtigen Anzeigen detektiert. An der dritten Rohrplatte wurden im Bereich der späteren Nahtflanke für die Rundnaht zum Mantelschuss einige Ultraschallanzeigen festgestellt. Dieser Bereich wurde abgedreht und mittels Auftragsschweissung mit artgleichem Material nachgebessert.

#### **4.2 Ergebnisse der Überprüfung durch den SVTI-N**

Der Sachverständige SVTI hat die Angaben im KKG-Bericht /16/ mit seinen Bauüberwachungsbericht und der beim SVTI archivierten Enddokumentation überprüft.

Aufgrund der Anforderungen des ASME-Codes und der KWU-Komponentenspezifikation wurden objektbezogene Prüfanweisungen und Sollwertblätter erstellt. Diese enthalten alle zu erfüllenden Anforderungen und wurden vom SVDB genehmigt.

Der Sachverständige hält in seinem Bericht /6/ fest, dass KKG in seinem Bericht /16/ nur den Prüfumfang gemäss den KWU Werkstoffspezifikationen beschrieben hat und nicht die Prüfungen und den Prüfumfang gemäss Sollwertdatenblätter. Gemäss /6/ sind dies redaktionelle Unstimmigkeiten, welche nicht die Vollständigkeit und Richtigkeit der Herstellungsdokumentation der betrachteten Schmiedeteile in Zweifel ziehen.

Gemäss /6/ wurden die Prüfschritte vom SVDB oder dem von ihm beauftragten TÜV-Rheinland überwacht.

Im SVTI-Bericht /6/ wird weiterhin beschrieben, dass –ausser den oben beschriebenen redaktionellen Unstimmigkeiten- die Angaben in /16/ mit den Unterlagen des SVTI übereinstimmen und die durchgeführten Prüfungen an den Bauteilen die Anforderungen der Bauvorschrift und Komponentenspezifikation erfüllten.

#### **4.3 Beurteilung des ENSI**

Das vom Kernkraftwerk Gösgen eingereichte Dokument /16/ zu Qualität und Ausführung der Schmiedeteile für den Dampferzeuger wurde vom ENSI und SVTI auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit hin überprüft.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösgen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

Als potentiell betroffene Bauteile für das Vorhandensein von Kohlenstoffsegregation wurden Schmiedeteile, welche aus einem ungestanzten, grossen, konventionellen Gussstück gefertigt wurden, eingestuft. Für das Kernkraftwerk Gösgen ist dies das Schmiedeteil Rohrplatte.

Die Überwachung der Herstellung gemäss damals gültigem Regelwerk erfolgte durch den vom ENSI benannten Sachverständigen SVDB (heute SVTI).

Die Prüfung der Herstellungsdocumentation ergab keine Hinweise auf eine erhöhte Kohlenstoffkonzentration in den Rohrplatten der KKG-Dampferzeuger. Weiterhin ist die im Falle von KKB geführte Argumentation zur Gewährleistung der Strukturintegrität trotz allfälliger Kohlenstoffanreicherung auch für das KKG gültig.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Überprüfung der Herstellungsdocumente durch ENSI und SVTI keine Hinweise für Abweichungen von den Auslegungsanforderungen ergab. Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Untersuchungen ist davon auszugehen, dass negative Auswirkungen auf die Strukturintegrität der einzelnen Bauteile der Dampferzeuger aufgrund von allfälliger Kohlenstoffsegregation nicht zu erwarten sind.

Aus Sicht des ENSI sind auf Basis dieser Erkenntnisse keine weiteren Massnahmen erforderlich.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidos: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösigen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

## 5 Referenzen

- /1/ ENSI-Brief (KAD/GUJ-14/16/056) vom 09.12.2016 „Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2, Überprüfung der Qualität von Schmiedeteilen der Dampferzeuger, ENSI Geschäftsnummer 14/16/056)
- /2/ ENSI-Brief (KAD/GUJ-17/16/056) vom 09.12.2016 „Kernkraftwerk Gösigen, Überprüfung der Qualität von Schmiedeteilen der Dampferzeuger, ENSI Geschäftsnummer 17/16/056)
- /3/ ENSI-Brief (WMI-14/16/056) vom 15.05.2017 „SVTI-Nuklearinspektorat, Projekt DEKMA, Nachweis der Qualität von Dampferzeuger Schmiedeteilen, Beauftragung zur Prüfung eingereichter Dokumente“
- /4/ ENSI-Brief (WMI-17/16/056) vom 11.07.2017 „SVTI-Nuklearinspektorat, Nachweis der Qualität von Dampferzeuger Schmiedeteilen, Beauftragung zur Prüfung eingereichter Dokumente“
- /5/ SVTI-Bericht (J22114) vom 21.09.2017 „Bericht über die Qualität der Dampferzeuger-Schmiedeteile“
- /6/ SVTI-Bericht (J22397) vom 04.10.2017 „Bericht: Überprüfung der Dokumente über den Nachweis der Qualität von Dampferzeuger-Schmiedeteilen“
- /7/ [REDACTED]
- /8/ [REDACTED]
- /9/ [REDACTED]
- /10/ [REDACTED]
- /11/ [REDACTED]
- /12/ [REDACTED]
- /13/ [REDACTED]
- /14/ [REDACTED]
- /15/ [REDACTED]



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX /  
Titel: Überprüfung der Dampferzeuger der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Gösigen in Hinblick auf Kohlenstoffsegregation  
Datum / Sachbearbeiter: 20.09.2017 / MATE

/16/

