

Technische Mitteilung

TM-530-RB15056

Titel : Sicherheitsnachweis für RDB-Integrität von Block 2

Block : 2

Anzahl Seiten : 12

Sachgebiet: RDB-Integrität, Sprödbruchsicherheit

Verfasser : [REDACTED]

Erst. Datum : 15.07.2015

Verteiler : [REDACTED] ENSI

	Name	Unterschrift	Datum
Erstellt	[REDACTED]	[REDACTED]	15.7.2015
			15.7.2015
Geprüft	[REDACTED]	[REDACTED]	15.7.2015
Genehmigt	[REDACTED]	[REDACTED]	15.7.15

Änderungen siehe Revisionsindex auf der folgenden Seite

REVISIONEN

Es gilt die letzte aufgeführte Revision, die von der zuständigen Stelle visiert ist.

Datum	Rev.	Korrektur/Ergänzung	Seiten	Visum
15.07.2015	0	Erstausgabe	alle	
22.07.2015	1	Ergänzungen und Neustrukturierung des Berichts	alle	

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	4
2	Zusammenfassung und Bewertung	4
3	Bisherige Sicherheitsanalysen für den Block 2	5
3.1	Sprödbruch-Referenztemperatur	5
3.2	Probabilistische Versagenswahrscheinlichkeit	6
4	Probabilistische Sicherheitsbewertung unter Berücksichtigung möglicher Seigerungen	7
4.1	Erhöhung der Sprödbruch-Referenztemperatur	7
4.2	Abdeckende probabilistische Betrachtung	9
5	Kriterien der UVEK-Verordnung	10
5.1	Ausserbetriebnahme wegen Auslegungsfehlern	10
5.2	Ausserbetriebnahme wegen Alterungsschäden	11
6	Erkenntnisse der EPRI-Studie	11
7	Referenzen	12

1 Einleitung

Auf Grund der Anzeigen im Grundmaterial der Reaktordruckbehälter der Anlagen Doel 3 und Tihange 2 forderte das ENSI zusätzliche Ultraschallprüfungen. Im Block 1 des KKB wurden diese in der Revisionsabstellung 2015 durchgeführt. Dabei wurden Anzeigen festgestellt, welche eine genauere Betrachtung erfordern. Die Charakterisierung der Anzeigen ist noch nicht abgeschlossen. Der entsprechende Sicherheitsnachweis für den Block 1 ist momentan in Arbeit.

Als Folge der Befunde von Block 1 stellt sich die Frage, ob der Block 2 noch bis zur Revisionsabstellung weiterbetrieben werden darf, welche Mitte August 2015 regulär beginnen soll, oder ob er aus sicherheitstechnischen Gründen früher abgeschaltet werden muss. In dieser Revisionsabstellung von Block 2 wird der Reaktordruckbehälter ebenfalls umfassend geprüft werden.

Mit diesem Bericht wird untersucht, ob vom weiteren Betrieb von Block 2 bis Mitte August 2015 eine unmittelbare Gefährdung ausgeht, welche gemäss KEG Art. 72 Abs. 3 ein vorzeitiges Abstellen erfordern würde. Zusätzlich wird überprüft, ob gemäss der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken /1/ ein vorzeitiges Abstellen von Block 2 des KKB erforderlich ist.

Bei allen Betrachtungen dieses Berichts wird davon ausgegangen, dass der Block 2 allfällige Befunde ähnlich oder sogar noch schwerwiegender als diejenigen von Block 1 des KKB aufweisen könnte. Die im Block 1 festgestellten Unregelmässigkeiten sind in der Anzahl, Grösse und Ausbreitung deutlich geringer einzustufen als die im Jahr 2012 in den belgischen Anlagen Doel 3 und Tihange 2 festgestellten. Diese beiden belgischen Anlagen wurden von einem anderen Reaktorlieferanten als Beznau gebaut. Ihre Reaktordruckbehälter wurden in einer anderen Fabrikationsstätte und mindestens zehn Jahre später hergestellt als die der beiden Blöcke des KKB.

Die im Block 1 des KKB festgestellten Anzeigen sind noch nicht vollständig charakterisiert. Alle denkbaren Arten von Indikationen würden sich in Seigerungszone befinden, die in Schmiedestücken dieser Grösse herstellungsbedingt vorhanden sind. Seigerungszone sind sicherheitstechnisch relevant. Daher wird in diesem Bericht von Seigerungen ausgegangen.

2 Zusammenfassung und Bewertung

Unter Annahme der im Kapitel 1 geschilderten konservativen Randbedingungen kann gefolgert werden, dass alle bisherigen Sicherheitsnachweise für die Integrität des RDB von Block 1 ohne Seigerungen den Block 2 im Fall von allfälligen Seigerungen vollumfänglich abdecken.

Als Folge sind die in der aktuellen PSA-Studie des KKB für Vollastbetrieb (BERA2013) ausgewiesenen, primär für den Block 1 geltenden Wahrscheinlichkeiten für das Versagen des RDB unter Thermoschock-Bedingungen (pressurized thermal shock PTS) für den Block 2 auch unter der Annahme von Seigerungen weiterhin konservativ abdeckend.

Damit ist das Versagen des RDB unter PTS-Bedingungen weniger häufig als 1.E-09 pro Jahr zu erwarten. Es ist um mehr als drei Grössenordnungen kleiner als der im schweizerischen Regelwerk verankerte Grenzwert zwischen den Auslegungsstörfällen und den auslegungsüberschreitenden Szenarien von 1.E-06 pro Jahr. Die gleiche Sicherheitsmarge besteht zum Zielwert für die Summenhäufigkeit einer grossen Freisetzung radioaktiver Stoffe aller Störfälle gemäss der ENSI-Richtlinie A06 von 1.E-06 pro Jahr.

Berücksichtigt man zusätzlich die kurze verbleibende Betriebsdauer von Block 2 bis zur Revisionsabstellung von nur einem Monat, so beträgt die Sicherheitsmarge zu diesen beiden Werten von 1.E06 pro Jahr sogar vier Grössenordnungen. Damit besteht durch den Weiterbetrieb von Block 2 bis Mitte August 2015 keine unmittelbare Gefährdung, welche ein vorzeitiges Abstellen gemäss KEG Art. 72 Abs. 3 erfordern würde.

1

Zudem ist gemäss der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken kein vorzeitiges Abfahren von Block 2 des KKB erforderlich.

1

Als weitere Sicherheitsstudie hat das EPRI im Auftrag der amerikanischen Nuklearaufsichtsbehörde U.S.NRC eine Studie zur Bewertung des Einflusses der 2012 in den belgischen Anlagen Doel 3 und Tihange 2 festgestellten Befunde in Seigerungszonen auf die Versagensfrequenz des RDB bei PTS durchgeführt. Bei Annahme einer gegenüber Doel 3 abdeckenden Fehlerverteilung mit laminaren Fehlern wurde kein relevanter Einfluss auf die Versagensfrequenz festgestellt. Die U.S.NRC schloss sich dieser Bewertung für die zwanzig in Betrieb stehenden US-Anlagen, deren RDB aus Schmiederingen ähnlich wie Beznau aufgebaut sind, an.

1

Auf Grund dieser Fakten gibt es keine sicherheitstechnischen Gründe, welche einen Weiterbetrieb von Block 2 des KKB bis zum regulären Beginn der Revisionsabstellung von Mitte August 2015 in Frage stellen.

3 Bisherige Sicherheitsanalysen für den Block 2

1

In diesem Kapitel 3 werden die bisherigen, für den Block 2 bezüglich RDB-Sicherheit massgebenden Sicherheitsanalysen dokumentiert. Diese beruhen auf den Ergebnissen des Bestrahlungsüberwachungsprogramms nach Normen der U.S.NRC. Demgegenüber wird ein möglicher zusätzlicher Einfluss von Seigerungen auf die Resultate von Sicherheitsanalysen im Kapitel 4 beschrieben.

1

3.1 Sprödbruch-Referenztemperatur

Die gemäss der bisher gültigen Sicherheitsanalyse für den Block 2 /2/ unter Verwendung der konservativen Methodik ENSI-B01, Methode II Variante B ermittelte Sprödbruch-Referenztemperatur des RDB ist in der Abbildung 1 als Funktion der Fluenz und in der Tabelle 1 für 54 Vollastjahre (VLJ), entsprechend 60 Jahren Betrieb, für die Ringe C und D sowie das Schweissgut dargestellt.

1

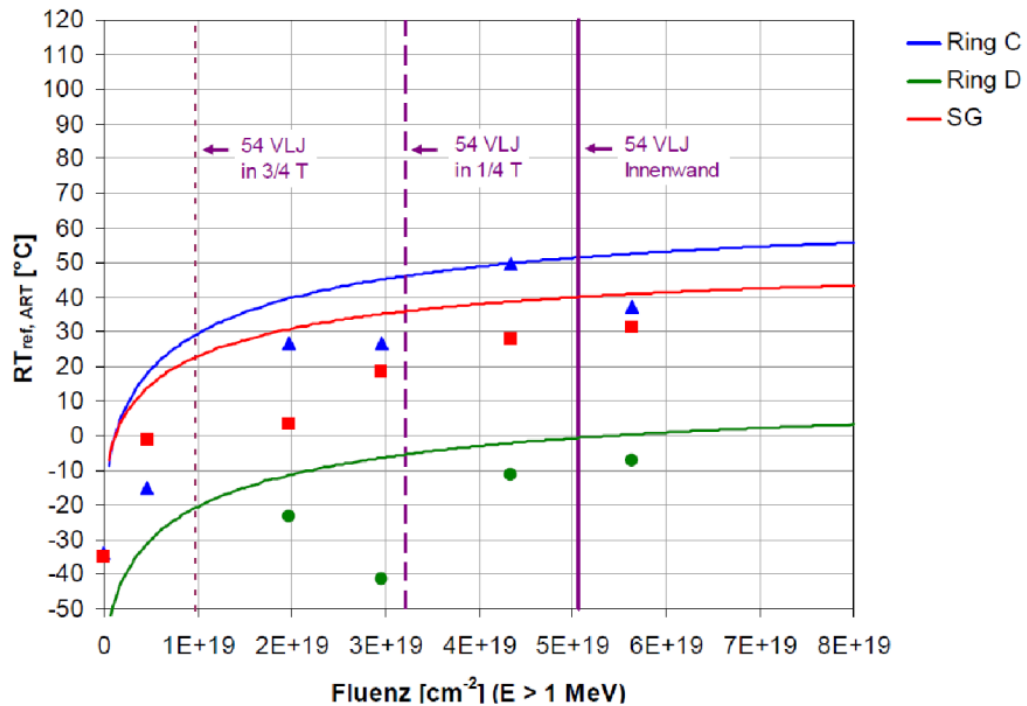


Abbildung 1: Spröbruch-Referenztemperatur $RT_{ref, ART}$ für den Block 2 als Funktion der Fluenz

VLJ	Azimut [°]	RDB Wandtiefe	Fluenz E > 1 MEV [cm ⁻²]	$RT_{ref, ART}$ [°C]
54	0	Innenwand	5,07E+19	51
		1/4 T	3,22E+19	46
		3/4 T	9,74E+18	29
	30	Innenwand	2,38E+19	42
		1/4 T	1,51E+19	36
		3/4 T	4,64E+18	18

Tabelle 1: Spröbruch-Referenztemperatur $RT_{ref, ART}$ für den Block 2 nach 54 Volllastjahren

3.2 Probabilistische Versagenswahrscheinlichkeit

Die gemäss der bisher gültigen Sicherheitsanalyse für den Block 2 /3/ unter Verwendung der konservativen Methodik ENSI-B01 Methode II, Variante B ermittelte probabilistische Versagenswahrscheinlichkeit des RDB unter PTS-Bedingungen nach 54 Volllastjahren (60 Betriebsjahren) ist in der Tabelle 2 für Kühlmittelverluststörfälle (LOCA) und sekundärseitige Lecks dargestellt.

Störfall	Bedingte Versagenswahrscheinlichkeit RDB [-]
Kleiner LOCA	6.9E-10
Mittlerer LOCA	6.1E-08
Grosser LOCA	2.0E-07
Sekundärseitige Lecks	durch primärseitige Lecks abgedeckt

Tabelle 2: Bedingte RDB-Versagenswahrscheinlichkeit des Blocks 2 bei den limitierenden Störfällen

Multipliziert man diese Werte mit den Eintrittshäufigkeiten der Störfälle gemäss /4/, so ergeben sich die in der Tabelle 3 aufgezeichneten Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit infolge des Versagens des RDB.

Störfall	Häufigkeit Störfall [pro Jahr]	Bedingte Versagenswahrscheinlichkeit RDB [-]	Häufigkeit Kernschaden [pro Jahr]
Kleiner LOCA	4.0E-03	6.9E-10	2.8E-12
Mittlerer LOCA	4.3E-04	6.1E-08	2.6E-11
Grosser LOCA	3.5E-06	2.0E-07	7.0E-13
Primärseitiges Bleed-and-Feed	8.5E-05	entspricht mittlerem LOCA	5.2E-12
Sekundärseitige Lecks	2.1E-04	konservativ wie für mittleren LOCA	1.3E-11
Summe			4.8E-11

Tabelle 3: Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit infolge RDB-Versagen im Block 2

Die Summe der Beiträge des RDB-Versagens von 4.8E-11 pro Jahr ist um mehr als fünf Grössenordnungen kleiner als die gesamte Kernschadenshäufigkeit von 9.35E-06 pro Jahr gemäss /4/ und ist um mehr als vier Grössenordnungen kleiner als der im schweizerischen Regelwerk verankerte Grenzwert zwischen den Auslegungsstörfällen und den auslegungsüberschreitenden Szenarien von 1.0E-06 pro Jahr.

4 Probabilistische Sicherheitsbewertung unter Berücksichtigung möglicher Seigerungen

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen möglicher Seigerungen auf die Integrität und die probabilistische Versagenswahrscheinlichkeit des RDB von Block 2 unter Störfallbedingungen ermittelt.

4.1 Erhöhung der Spröbruch-Referenztemperatur

Der Effekt von möglichen Seigerungen wird nachstehend für den Ring C von Block 2 ermittelt, welcher für die abdeckende Referenztemperatur bei 54 Volllastjahren führend ist.

Die dabei angewendete Methodik wird im Konzept Sicherheitsnachweis Befunde RDB Block 1, welches in den nächsten Wochen dem ENSI eingereicht werden wird, umfassend dokumentiert. Die wichtigsten Punkte werden nachstehend erwähnt.

Gemäss dem für KKB primär massgebenden amerikanischen Regelwerk ist für Seigerungen keine spezielle Erhöhung der Referenztemperatur zu berücksichtigen resp. diese ist bereits durch die Konservativität der bisherigen Analysen abgedeckt. Trotzdem wird nachstehend ein zusätzlicher Seigerungszuschlag gemäss dem französischen Regelwerk mit eingerechnet, was konservativ ist.

Für den Effekt von Seigerungen wird die FIM Formel des französischen Regelwerks /6/ verwendet. In dieser sind die Gehaltanteile an Kupfer Cu, Phosphor P und Nickel Ni wesentliche Parameter:

$$\Delta RT_{NDT} = A \{ 1 + 35.7 \max[0; (P - 0.008)] + 6.6 \max[0; (Cu - 0.08)] + 5.8 Ni^2 Cu \} \phi^{0.59}$$

Dabei ist

- $A = \begin{cases} 15.4 & \text{für Grundmaterial} \\ 15.8 & \text{für Schweissnähte} \end{cases}$
- ΔRT_{NDT} in °C

Um allfällige Seigerungen mit zu berücksichtigen, sind gemäss /7/ in dieser Formel die Gehaltanteile von Cu, P und Ni um die in Tabelle 4 erwähnten Faktoren zu erhöhen.

	Erhöhung des Anteils des chemischen Elements in der Seigerungszone	
	gemäss RSE /6/	gemäss Doel Safety Case /7/
Cu	Faktor 1,08	Faktor 1,25
Ni	Faktor 1,00	Faktor 1,08
P	Faktor 1,14	Faktor 1,35

Tabelle 4: Seigerungsbedingte Erhöhung der Anteile an chemischen Elementen, die für das Bestrahlungsverhalten relevant sind

Gleichzeitig enthält die Tabelle 4 im Vergleich zu /6/ deutlich konservativere Erhöhungsfaktoren, welche auf Seigerungsuntersuchungen im deutschen Forschungsvorhaben BMI-TB SR 76 /9/ basieren, und welche als abdeckende Werte im Safety Case von Doel /7/ verwendet wurden

Auch ein Vergleich mit Bohrkernuntersuchungen aus dem rückgebauten RDB aus der Anlage Chooz A aus /10/ zeigt, dass die Variation der chemischen Elemente im Schmiedering durch die im Doel Safety Case Bericht /7/ verwendeten Annahmen abgedeckt werden. Die Schmiederinge der Anlage Chooz A wurden etwa zeitgleich mit denen von Beznau 1 in derselben Schmiede in Le Creusot gefertigt und bestehen zudem aus dem gleichen Material mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung.

Deshalb sind die Faktoren von /7/ für Block 2 des KKB konservativ abdeckend.

Die chemische Zusammensetzung der Schmiederinge C und D von Block 2 gemäss /5/ ist in Tabelle 5 aufgezeichnet.

	Chem. Zusammensetzung in %										
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	V	Mo	Co	Cu
GW Ring C	0,18	1,20	0,017	0,014	0,28	0,73	0,25	≤0,001	0,47	0,018	0,056
GW Ring D	0,175	1,10	0,013	0,012	0,30	0,69	0,20	≤0,001	0,48	0,018	0,07

Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung der Schmiederinge C und D von Block 2 gemäss [5]

Kombiniert man die Erhöhungsfaktoren von /7/ mit den Gehaltanteilen gemäss Tabelle 5, so errechnet sich für den Block 2 des KKB eine Erhöhung der Referenztemperatur infolge Seigerungen um die folgenden Werte:

- 11.7 °C an der Innenwand
- 9.0 °C in einem Viertel der Wandtiefe.

Damit erhöht sich die Sprödbruch-Referenztemperatur an der Innenwand von:

- 51 °C ohne Seigerungen auf
- 62.7 °C mit Berücksichtigung möglicher Seigerungen.

Weitere lokale Effekte im Bereich der Seigerungen können wie folgt mitberücksichtigt werden:

- a) Entweder durch eine detaillierte strukturmechanische Analyse. KKB wird für den Block 1 diesen Weg verfolgen.
- b) Alternativ durch weitere Zuschläge zur Referenztemperatur, um weitere Unsicherheiten bezüglich der Werkstoffeigenschaften des RDB-Materials zu erfassen. In den belgischen Nachweisen /7/ /8/ wurde dieser Lösungsansatz gewählt.
- c) Durch das Vorhandensein einer grossen Sicherheitsmarge zu einem massgebenden Grenzwert.

Da für den Block 2 des KKB die Ergebnisse der geplanten Ultraschallprüfungen analog dem Block 1 noch nicht vorliegen, wird im Kapitel 4.2 die Methode c) gewählt werden.

4.2 Abdeckende probabilistische Betrachtung

Für das Versagen des RDB unter PTS-Bedingungen ist die Sprödbruch-Referenztemperatur die massgebende Grösse, während die Hochlagenenergie dafür wenig relevant ist.

Wenn man die Betrachtungen von Kapitel 4.1 für den Block 2 sowie die bisher gültigen Ergebnisse von Block 1 gemäss /2/ zusammenfasst, so ergeben sich die in Tabelle 6 aufgezzeichneten Werte für die Sprödbruch-Referenztemperatur an den Innenwänden der Reaktordruckbehälter der beiden Blöcke des KKB für 54 VLJ.

Methode ENSI-B01	Berücksichtigung Seigerungen	RT _{ref, ART} [°C]	
		Block 2	Block 1
II B	ohne	51	89
	mit	63	
II A	ohne		80

Tabelle 6: Bisher ermittelte Werte der Sprödbruch-Referenztemperatur von Block 1 und 2 an der Innenwand des RDB für 54 VLJ

Gemäss der Tabelle 6 kann gefolgert werden, dass bei Anwendung der gleichen Methode II B der Block 2 mit Berücksichtigung allfälliger Seigerungen durch den Block 1 ohne Seigerungen durch grosse Sicherheitsmarge abgedeckt wird.

Diese grosse Marge zwischen den 89 °C von Block 1 und den 63 °C von Block 2 deckt alle weiteren Unsicherheiten von lokalen Effekten im Bereich der Seigerungszone ab /8/.

Als Folge sind die bisherigen Sicherheitsanalysen für den Block 1 ohne Seigerungen in allen Teilen abdeckend für den Block 2 mit allfälligen Seigerungen.

Damit sind die in /4/ für den Block 1 ermittelten und in /4/ für beide Blöcke verwendeten bedingten Wahrscheinlichkeiten für das Versagen des RDB unter PTS-Bedingungen für den Block 2 auch bei Berücksichtigung allfälliger Seigerungen konservativ abdeckend.

Dies ergibt die in Tabelle 7 aufgeführten, für den Block 2 für den Fall allfälliger Seigerungen konservativ abdeckenden Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit.

Störfall	Häufigkeit Störfall [a^{-1}]	Bedingte Versagenswahrscheinlichkeit RDB [-]	Häufigkeit Kernschaden [a^{-1}]
Kleiner LOCA	4.0E-03	1.4E-08	5.6E-11
Mittlerer LOCA	4.3E-04	8.6E-07	3.7E-10
Grosser LOCA	3.5E-06	2.0E-07	7.0E-13
Primärseitiges Bleed-and-Feed	8.5E-05	entspricht mittlerem LOCA	7.3E-11
Sekundärseitige Lecks	2.1E-04	konservativ wie für mittleren LOCA	1.8E-10
Summe			6.8E-10

Tabelle 7: Konservativ abdeckende Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit infolge RDB-Versagen im Block 2 für den Fall allfälliger Seigerungen

Das Versagen des RDB unter PTS-Bedingungen ist demnach im Block 2 selbst unter Berücksichtigung allfälliger Seigerungen weniger häufig als $1.E-09$ pro Jahr zu erwarten. Es ist um mehr als drei Grössenordnungen kleiner als der im schweizerischen Regelwerk verankerte Grenzwert zwischen den Auslegungsstörfällen und den auslegungsüberschreitenden Szenarien von $1.E-06$ pro Jahr. Die gleiche Sicherheitsmarge besteht zum Zielwert für die Summenhäufigkeit einer grossen Freisetzung radioaktiver Stoffe aller Störfälle gemäss der ENSI-Richtlinie A06 von $1.E-06$ pro Jahr. Berücksichtigt man zudem die kurze verbleibende Betriebsdauer von Block 2 bis zur Revisionsabstellung von nur einem Monat, so beträgt die Sicherheitsmarge sogar vier Grössenordnungen.

5 Kriterien der UVEK-Verordnung

Die Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken /1/ ist auf die Situation im Block 2 des KKB wie nachstehend ausgeführt anwendbar.

5.1 Ausserbetriebnahme wegen Auslegungsfehlern

Es liegen keine Erkenntnisse vor, dass der RDB von Block 2 des KKB damals nicht gemäss allen damals massgebenden Vorschriften gefertigt wurde. Die Herstellungsdocumentation wurde eingehend geprüft und das Ergebnis /11/ dem ENSI eingereicht. Seigerungen sind ein bekannter Effekt des gewählten Herstellungsprozesses. Allfällige Unregelmässigkeiten in den Seigerungszone von der im Block 1 gemessenen Grössenordnung waren nicht Teil der Herstellungsprüfung.

Zudem sind vom Block 2 des KKB zum heutigen Zeitpunkt keine UVEK-relevanten Unregelmässigkeiten des RDB bekannt.

Aus diesen Gründen muss nicht angenommen werden, dass ein Auslegungsfehler vorliegt. Eine Ausserbetriebnahme wegen einem Auslegungsfehler ist somit nicht erforderlich.

1

1

1

1

1

1

1

5.2 Ausserbetriebnahme wegen Alterungsschäden

Allfällige Seigerungen wurden durch die Herstellung verursacht und stellen keine Alterungsschäden dar.

Die im Art. 4 der Verordnung angesprochenen Werte der „justierten Sprödbbruch-Referenztemperatur“ und der „Hochlagenenergie aus Kerbschlagbiegeversuchen“ beziehen sich auf die im Rahmen des Alterungs- und Bestrahlungsüberwachungsprogramms ermittelten Werte.

Die Verordnung verweist auf das amerikanische Regelwerk. Gemäss diesem sind für Seigerungen keine speziellen Korrekturfaktoren zu berücksichtigen respektive diese sind bereits durch die Konservativität des Bestrahlungsüberwachungsprogramms nach Normen der U.S.NRC abgedeckt.

Massgebend für das Kriterium der UVEK-Verordnung /1/ ist der Wert in einem Viertel der Wandtiefe. Dieser beträgt für den Block 2 für 60 Betriebsjahre (54 VLJ) maximal 46 °C und weist damit eine sehr grosse Sicherheitsmarge zum Grenzwert der UVEK-Verordnung von 93 °C auf.

Die gemäss der bisher gültigen Sicherheitsanalyse für den Block 2 /2/ ermittelte Hochlagenenergie beträgt im Block 2 für die letzten ausgewerteten Proben P von Ring C resp. Ring D 139 J resp. 138 J. Diese Proben weisen Fluenzen von $5.6E+19 \text{ cm}^{-2}$ auf und decken daher den heutigen Zustand wie einen Betrieb bis 54 VLJ konservativ ab. Mit diesen minimalen 138 J weist der Block 2 eine grosse Sicherheitsmarge zum Grenzwert der UVEK-Verordnung von 68 J auf.

Deshalb ist keine Ausserbetriebnahme von Block 2 des KKB wegen Alterungsschäden erforderlich.

6 Erkenntnisse der EPRI-Studie

Im Bericht /12/ dokumentiert das EPRI eine im Auftrag der U.S.NRC durchgeführte Studie zur Bewertung der 2012 in den belgischen Anlagen Doel 3 und Tihange 2 festgestellten Anzeigen im Hinblick auf die amerikanischen KKW's.

Dabei hat EPRI Untersuchungen mit einer gegenüber Doel 3 abdeckenden Fehlerverteilung mit laminaren Fehlern durchgeführt. Als Ergebnis ist das 95%-Fraktil der RDB-Versagenshäufigkeit deutlich tiefer als $1.E-07$ pro Jahr und hat damit keinen relevanten Einfluss auf die Versagensfrequenz.

Die U.S.NRC schloss sich dieser Bewertung für die zwanzig in Betrieb stehenden US-Anlagen, deren RDB aus Schmiederingen ähnlich wie Beznau aufgebaut sind, an.

Zu diesen US-Anlagen gehören auch Prairie Island 1&2, deren RDBs im gleichen Zeitraum und in derselben Schmiede wie Beznau 2 bei Le Creusot Forge gefertigt worden waren.

7 Referenzen

- [1] „Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken“, SR 732.114.5
- [2] TM-550-MB11071 vom 16.12.2011, „Nachweis Absicherung des Werkstoffzustandes der Reaktordruckbehälter 10/20JRC 0001 für 60 Betriebsjahre Block 1 und 2“.
- [3] „Beznau 1 und 2: Probabilistischer bruchmechanischer Sicherheitsnachweis (RDB Sprödbruch)“, Arbeitsbericht PTCM-G/2011/de/0326, AREVA, Erlangen, 2011.
- [4] „Beznau Risk Assessment (BERA) – Power Operation and Hot Shutdown SG Cooling“, KKB511D0127, Rev. 4, December 2013.
- [5] KKB530D0056, „Bestrahlungsüberwachungsprogramm Block 2“, Westinghouse WCAP7707.
- [6] „Règles de Surveillance en Exploitation des Matériels Mécaniques“, Edition 2010 + Add. 2012, Volume B, B 6300 Surveillance Predictive.
- [7] „Doel 3, Reactor Pressure Vessel Assessment“, Safety Case Report 3390, Electrabel / GDF SUEZ, 05.12.2012, erhältlich unter www.fanc.be.
- [8] „Doel 3, Reactor Pressure Vessel Assessment“, Addendum to Safety Case Report 3390, Electrabel / GDF SUEZ, 26.04.2013, erhältlich unter www.fanc.be.
- [9] Blind, D., Dietrich, W., Burr, W., Katerbau, K.-H., Maidorn, C., „Forschungsvorhaben Untersuchungen des Seigerungsverhaltens des Reaktorstahls 20 MnMoNi 5 5 an einem 180t-Block“, BMI-TB SR 76 Technischer Bericht – Band 1–3, MPA-Auftrags-Nr. 810044, Stuttgart, Dezember 1981
- [10] Brillaud, C., Grandjean, Y., Sallet, S., „Vessel Investigation Program of Chooz A PWR Reactor after Shutdown“, ASTM STP 1405 (2001) S. 28–41.
- [11] „A Review of the Fabrication Records of the Beznau Reactor Vessels, and the Potential for Indications such as those found in the Recent Doel 3 / Tihange 2 Inspections“, WENX-13-48, Revision 1, October 2013.
- [12] „Materials Reliability Program: Evaluation of the Reactor Vessel Beltline Shell Forgings of Operating U.S. PWRs for Quasi-Laminar Indications (MRP-367)“ EPRI-Bericht 3002000647, Final Report, October 2013, erhältlich unter <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1406/ML14064A411.pdf>.

1

1

1

1