



Sprödbrechtsicherheitsnachweis für Reaktordruckbehälter

Übersicht und aktuelle Messwerte

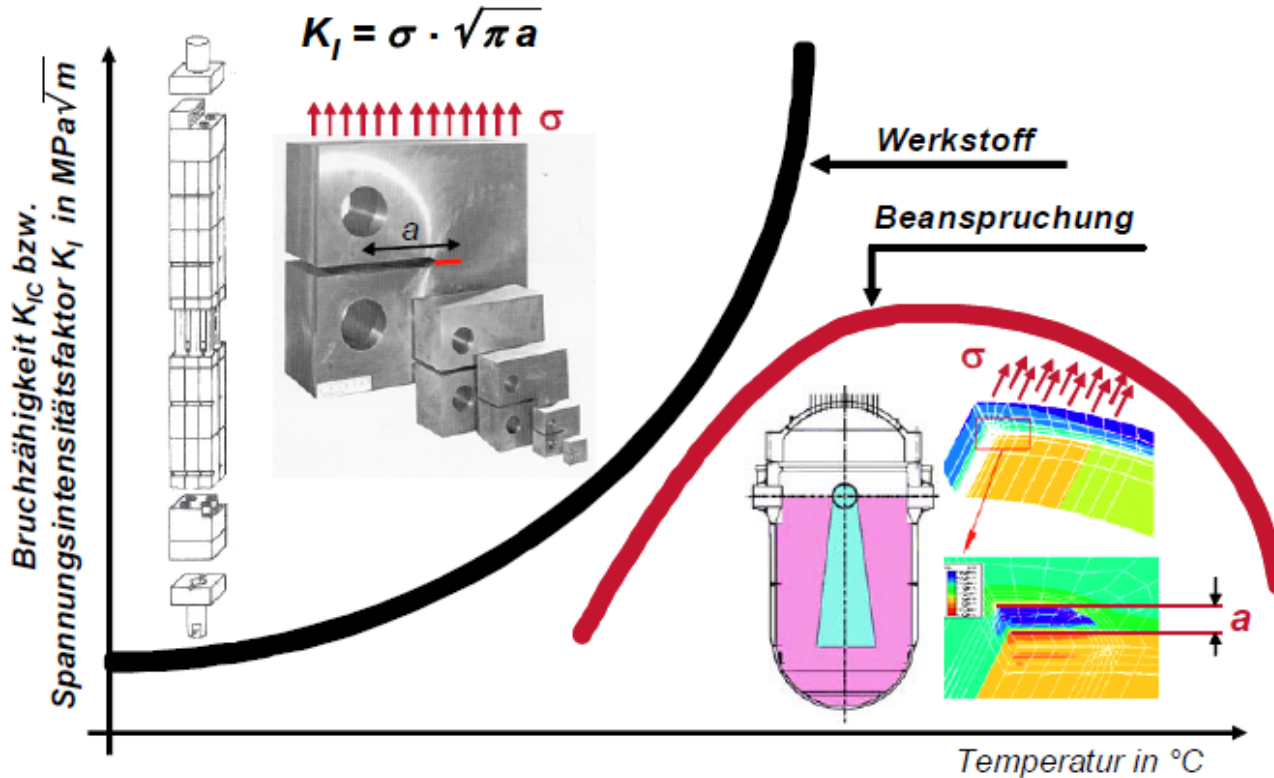
Technisches Forum Kernkraftwerke, Brugg, 05.06.2015

Dr. Dietmar Kalkhof

Sektionschef Maschinentechnik



Sprödbruchsisicherheitsnachweis RDB (Schema)



Nachweis: Beanspruchbarkeit > (Marge) x Beanspruchung



Grenzwert Referenztemperatur Spröbruchsicherheitsnachweis RDB

- Wert, bei dem Wachstum der postulierten Risse nicht mehr ausgeschlossen werden kann (Annahme: kritische Leckage in der Hauptkühlmittelleitung hinsichtlich Spannungen an der Rissspitze);
- Wert, mit Einhaltung untenstehender Sicherheitszuschläge

Sicherheiten bei Erreichen Grenzwert:

- Werkstoffseitig: Untere Grenzkurve für die Bruchzähigkeit deckt Messunsicherheit und Inhomogenität des Materials ab;
- Beanspruchungsseitig: Sicherheitszuschlag mind. 1.4



Grenzwert Referenztemperatur Internationale Empfehlungen

Internationales Regelwerk:

Keine allgemeingültigen Grenzwerte für die Versprödung von RDB-Werkstoffen, da abhängig u.a. von Reaktortyp, Konstruktion RDB, Brennelementbeladung

USA: Code of Federal Regulations 10CFR50.61

Grundmaterial (Innenwand RDB):

$$RT_{PTS} = 132 \text{ °C}$$

Schweissmaterial (Rundnähte):

$$RT_{PTS} = 149 \text{ °C}$$

Falls überschritten, bruchmechanische Nachweise erforderlich

USNRC: Regulatory Guide 1.99 Rev. 2: Empfehlung für neue Reaktoren

Grund-und Schweissmaterial (1/4 Wandtiefe):

$$RT_{NDT} = 93 \text{ °C}$$

Schweiz: UVEK-Verordnung zur vorläufigen Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken, SR 732.114.5, Mai 2008

Grund-und Schweissmaterial (1/4 Wandtiefe):

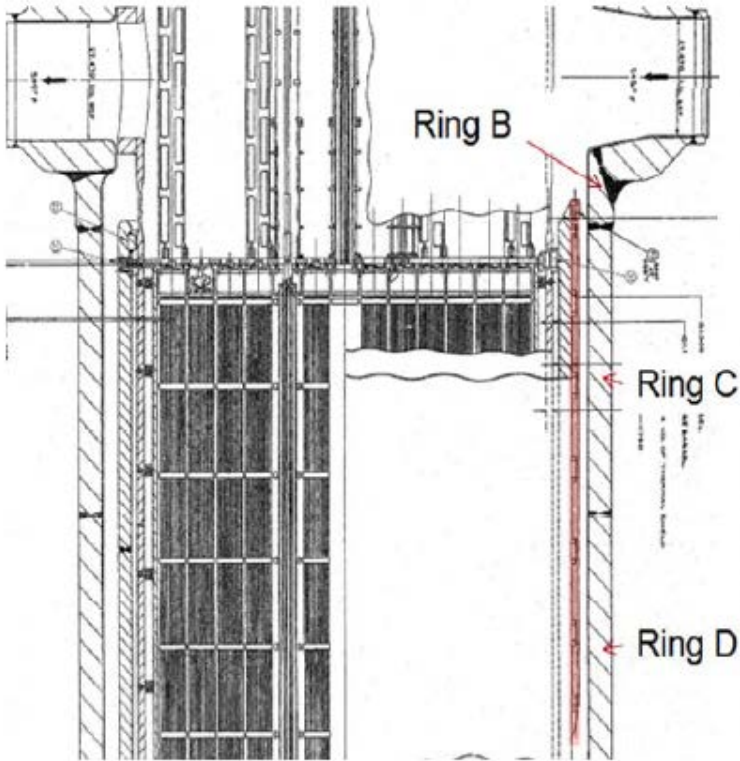
$$RT_{Ref} = 93 \text{ °C}$$

Bruchmechanische Kennwerte generell zugelassen



Bestrahlungsprogramm Voreilproben KKB-1

Zustand RDB ist durch Prüfung der Proben vorrausschauend bekannt



Voreilproben:

Nach Auswertung der letzten Bestrahlungskapsel (ca. bei 40 Betriebsjahren) ist der Versprödungszustand der RDB-Materialien für den Langzeitbetrieb (ca. 67 Betriebsjahre) bekannt

Ein allfälliges Überschreiten des Grenzwertes für die Referenztemperatur ist demzufolge auch vorausschauend bekannt

Anordnung der Bestrahlungsproben (rot markiert) im Reaktor: Lage im Wasserspalt zwischen Kerngitter und RDB-Innenwand



Bestrahlungsprogramm Voreilproben KKB-1

Entnahme und Prüfung der Proben

Kapsel					RDB-Innenwand
Name	Zyklus (Nummer)	Zyklusende (Jahr) ⁽¹⁾	Entnahmefluenz E>1MeV [cm ⁻²]	Voreilfaktor	Maximalfluenz E>1MeV bei Kapselentnahme [cm ⁻²]
V	1	1971	3.73E+18	2.35	1.59E+18
R	3	1974	9.80E+18	2.38	4.12E+18
S	6	1977	1.07E+19	1.30	8.22E+18
N	15	1986	2.70E+19	1.27	2.12E+19
P	27	1999	5.08E+19	1.42	3.58E+19
T	38	2010	6.04E+19	1.50	4.04E+19

(1) Diese Spalte wurde nachträglich am 2. Oktober 2015 angepasst.



Anforderungen ENSI zur Sprödbruchsicherheit RDB in der Stellungnahme Langzeitbetrieb KKB

Sicherheitstechnische Stellungnahme zum Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks Beznau Block 1 und Block 2, Brugg, November 2010:

Forderung 1:

Prüfung weiterer Probensätze zur Untersuchung des Bestrahlungsverhaltens der RDB-Werkstoffe und Auswertung sowohl nach dem klassischen (ASME, gekerbte Proben) als auch dem bruchmechanischen Konzept (ASME, Masterkurve, Proben mit Schwingriss):

- Konzept vom ENSI genehmigt am 12.07.2011;
- Ergebnisse und Bewertungen vom ENSI genehmigt am 10.02.2012;

Forderung 2:

Thermoschock-Berechnungen sind gemäss Stand von W/T zu aktualisieren:

- Analysen und Ergebnisse vom ENSI genehmigt am 10.02.2012.



Weitere Massnahmen KKB zur kontinuierlichen Überwachung der Neutronenversprödung

- Verbesserte Neutronenflussberechnung gemäss aktuellem Stand von W/T, jährliche Aktualisierung der Berechnung, jährliche Überprüfung der Kriterien der UVEK-Verordnung zur vorläufigen Ausserbetriebnahme;
- Entnahme und Prüfen des letzten Bestrahlungsprobensatzes für KKB-1 (Materialien: Ring C, Ring D, Schweissgut, Proben: klassisch mit Kerben, Stand W/T mit Schwingriss);
- Zusätzliches Prüfprogramm zur Bestimmung von bruchmechanischen Kennwerten (Materialproben mit Schwingriss);
- Bestimmung der Referenztemperatur auf bruchmechanischer Basis sowohl für den unbestrahlten Ausgangszustand (Ring C und D) als auch für die Bestrahlungsproben des letzten Probensatzes (Ring C);
- Verbesserte Thermoschockberechnungen mit postulierten Rissen im Kernbereich RDB und an der Kante RDB-Eintrittsstutzen der Hauptkühlmittelleitung (kleine, mittlere und grosse Lecks, Streifen- und Strähnenkühlung, 3D-Modellierung)
- Vergleich mit internationalen Messwerten



Sicherheitstechnische Stellungnahme ENSI

Sprödbrechtsicherheitsnachweis KKB

Langzeitbetrieb

Nach Erfüllung der Forderungen 1 und 2, sowie der weiteren Massnahmen KKB zur kontinuierlichen Überwachung der Neutronenversprödung sieht das ENSI

- die Sprödbrechtsicherheit des RDB Block 1 für eine Betriebsdauer von weiteren 10 Betriebsjahren (2009-2019) auf Grundlage der gesetzlichen Regelungen und den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 als hinreichend nachgewiesen an.
- Diese Aussage gilt auch für den Block 2, da der Nachweis für den Block 1 für die Bedingungen von Block 2 abdeckend ist.
- Für eine Betriebsdauer über 2019 hinaus wird die Sprödbrechtsicherheit des RDB Block 1 vom ENSI erneut gemäss aktuellem Stand der Technik bewertet.



Probabilistische Thermoschock-Analyse RDB

NEA/CSNI/R(99)3, Int. Comparative Assessment Study (PTS ICAS), 1999

- Schweizer Regelwerk wie auch international (ausser USA): Sprödbruchsicherheitsbewertung RDB erfolgt deterministisch;
- Ziel Anwendung probabilistischer Methoden für die Thermoschock-Analyse RDB: Verifizierung der Margen der deterministischen Analyse (Abbau von unangemessenen Konservativitäten);
- OECD/Nuclear Energy Agency: **Forschungs**programm zum Stand von W/T hinsichtlich Anwendung probabilistischer Methoden für die Thermoschock-Analyse RDB;
- Ergebnis: Trotz Festlegung einheitlicher Randbedingungen ist die Streuung der Ergebnisse zu gross, z.B. bei der Versagenswahrscheinlichkeit, um die Methoden in der Sicherheitsbewertung anwenden zu können;
- Schlussfolgerung: Weitere Verbesserung und Validierung der Modelle notwendig, weiterer Forschungsbedarf.



KKM: 60 Betriebsjahre (Werte aus 3 Probensätzen) Sprödbruchübergangsreferenztemperaturen RT_{ref}

Werkstoff	RDB-Position	Neutronenfluenz (E>1MeV) [cm ⁻²]	RT_{ref} [°C] ENSI-B01	Hochlagenenergie [J]
Grundmaterial	Innenoberfläche	6.51E+18	17	
	¼ Wandtiefe	5.14E+18	14	
Schweissmaterial V2 auto	Innenoberfläche	1.89E+18	61	125
	¼ Wandtiefe	1.49E+18	54	
Schweissmaterial V3 manu	Innenoberfläche	6.29E+18	-3	
	¼ Wandtiefe	4.97E+18	-5	



KKG: 60 Betriebsjahre (Werte aus 3 Probensätzen) Sprödbruchübergangsreferenztemperaturen RT_{ref}

Werkstoff	RDB-Position	Neutronenfluenz (E>1MeV) [cm ⁻²]	RT_{ref} [°C] ENSI-B01	Hochlagenenergie [J]
Schmiedering I	Innenoberfläche	1.4E+19	31	119
	¼ Wandtiefe	8.3E+18	27	
Schmiedering II	Innenoberfläche	1.4E+19	33	118
	¼ Wandtiefe	8.3E+18	28	
Schweissmaterial	Innenoberfläche	1.4E+19	10	138
	¼ Wandtiefe	8.3E+18	6	



KKB-1: 60 Betriebsjahre (Werte aus 6 Probensätzen) Sprödbruchübergangsreferenztemperaturen RT_{ref}

Werkstoff	RDB-Position	Neutronenfluenz (E>1MeV) [cm ⁻²]	RT_{ref} [°C] ENSI-B01	Hochlagenenergie [J]
Schmiedering C	Innenoberfläche	5.59E+19	80	150
	¼ Wandtiefe	3.55E+19	74	
Schmiedering D	Innenoberfläche	5.59E+19	52	137
	¼ Wandtiefe	3.55E+19	47	
Schweissmaterial	Innenoberfläche	5.59E+19	42	160
	¼ Wandtiefe	3.55E+19	39	

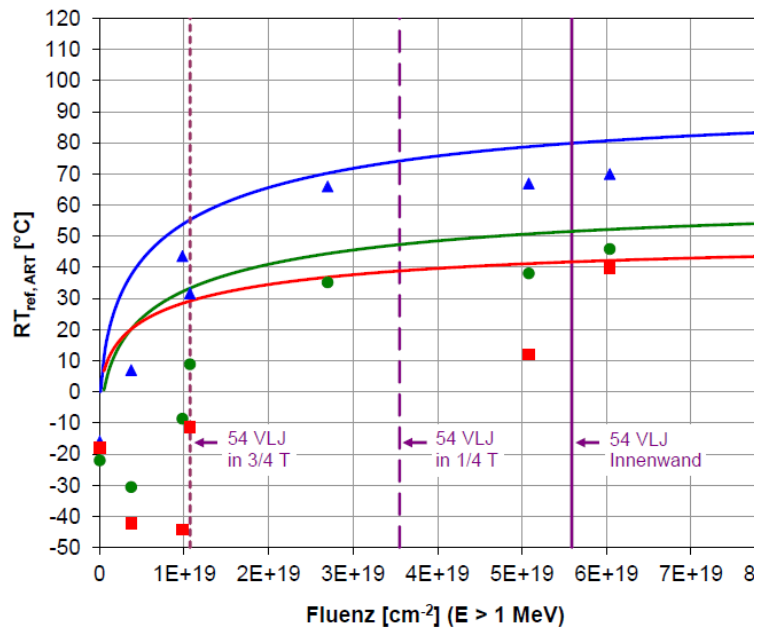


KKB-2: 60 Betriebsjahre (Werte aus 5 Probensätzen) Sprödbruchübergangsreferenztemperaturen RT_{ref}

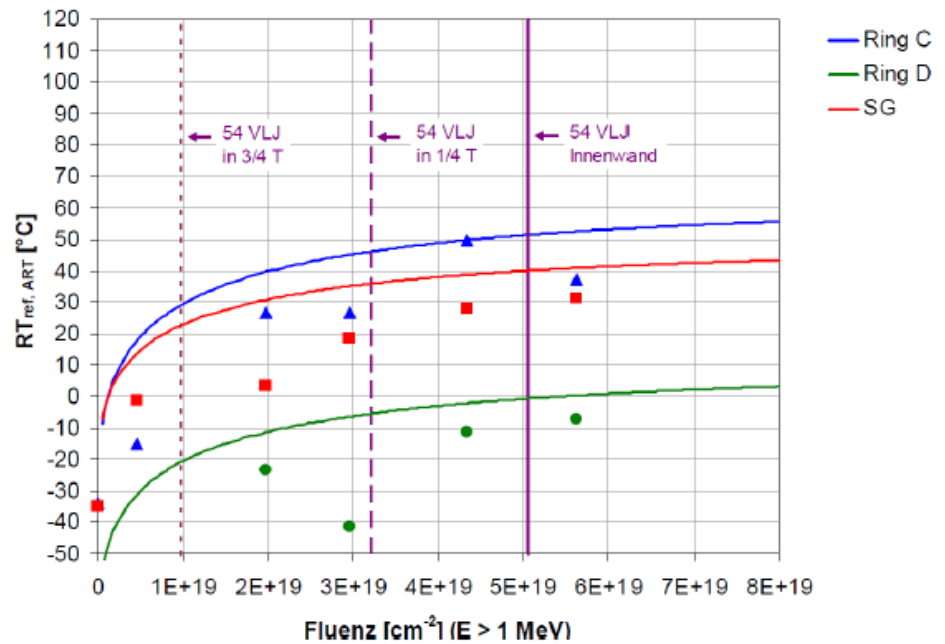
Werkstoff	RDB-Position	Neutronenfluenz (E>1MeV) [cm ⁻²]	RT_{ref} [°C] ENSI-B01	Hochlagenenergie [J]
Schmiedering C	Innenoberfläche	5.07E+19	51	139
	¼ Wandtiefe	3.22E+19	46	
Schmiedering D	Innenoberfläche	5.07E+19	-1	138
	¼ Wandtiefe	3.22E+19	-5	
Schweissmaterial	Innenoberfläche	5.07E+19	40	120
	¼ Wandtiefe	3.22E+19	36	



Referenztemperatur zur Bestimmung der Bruchzähigkeitskurve für KKB-1 und KKB-2



KKB, Block 1



KKB, Block 2



Für mehr Informationen besuchen Sie uns auf:



www.ensi.ch
www.ifs.ch



http://twitter.com/#!/ENSI_CH