



Beznau 1

Ultraschallbefunde im Reaktordruckbehälter

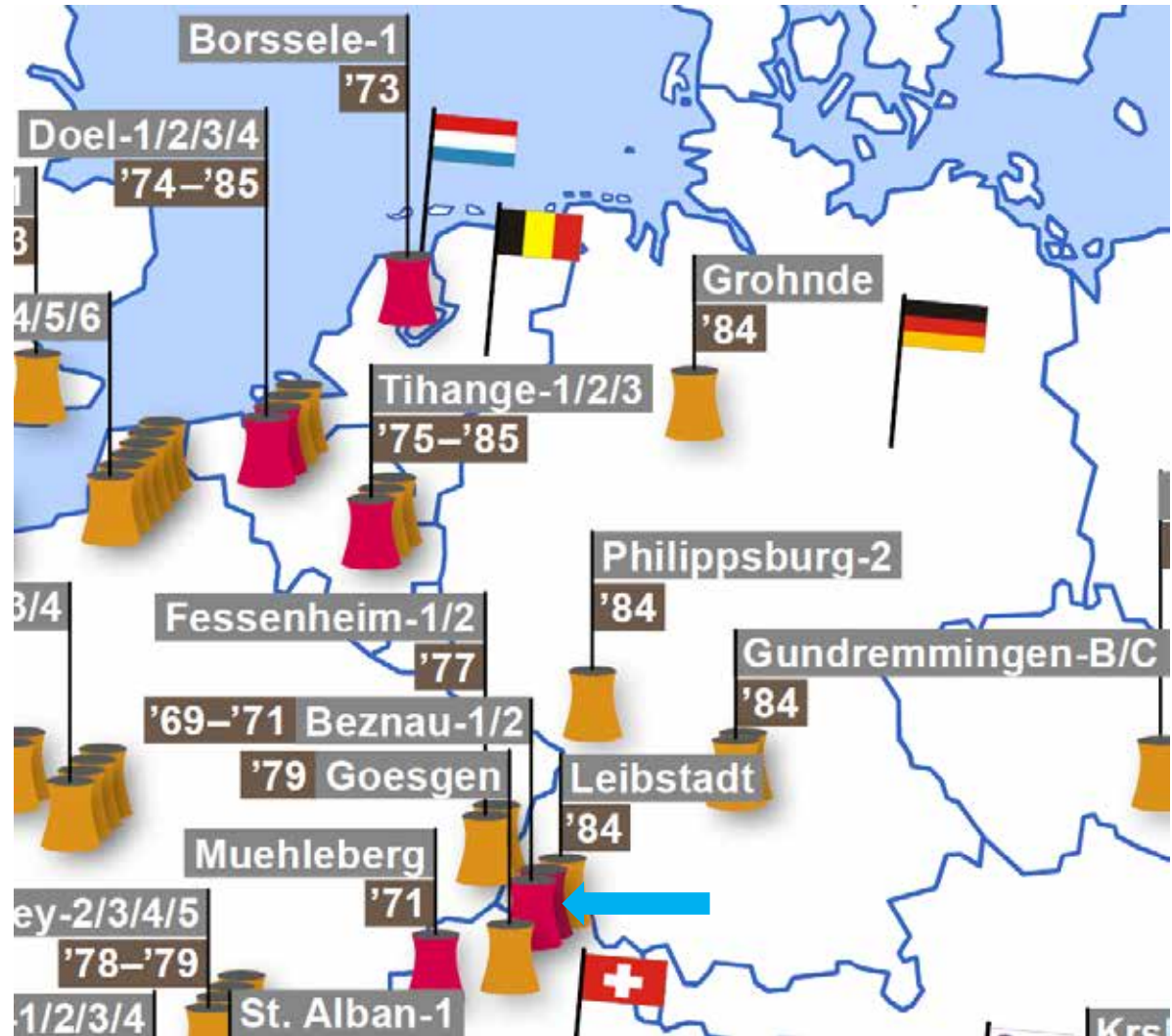
Dipl.-Ing. Simone Mohr

Fachgespräch zu grenznahen AKW

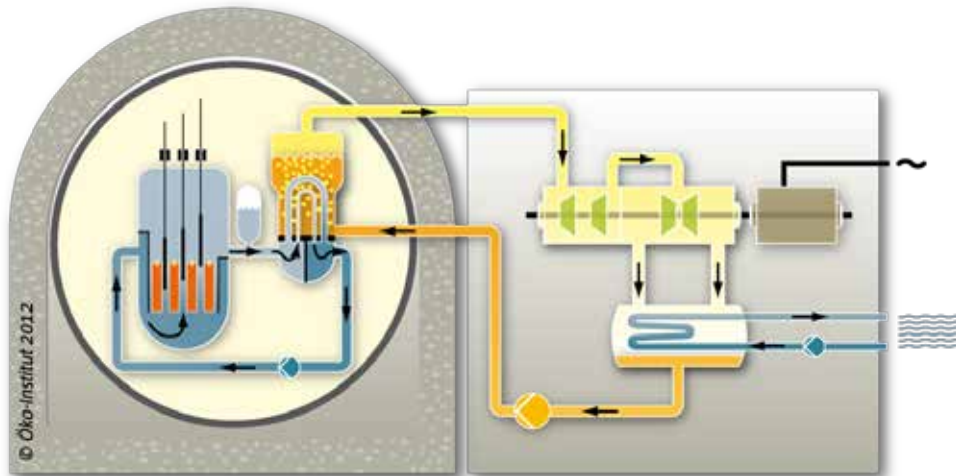
Berlin, 10. März 2017

Beznau 1

- 8 km Entfernung zur deutschen Grenze bei Waldshut-Tiengen
- Mit 47 Jahren ältestes KKW der Welt
- Druckwasserreaktor amerikanischer Bauart, 365 MW(e)



Sicherheitstechnische Bedeutung des Reaktordruckbehälters (RDB)



- RDB umschließt Reaktorkern mit Brennelementen
 - Kernkühlung bei Spröbruch-Versagen des RDB nicht mehr möglich
 - Bei Versagen unter hohem Druck: zusätzlich Versagen des Sicherheitsbehälters möglich
- ➔ Höchste Qualitätsanforderungen bei Herstellung und Betrieb
- ➔ geringe Sicherheitsmargen oder Unsicherheiten bei der Nachweisführung zur RDB-Integrität sind zu vermeiden.

Status vor Entdeckung der Befunde

Überwachung der zunehmenden Bestrahlungsversprödung des Reaktordruckbehälters (RDB) durch Voreilproben, hergestellt aus den Enden der Originalschmiedestücke der RDB-Einzelteile.

Voreilproben sind im Reaktor zwischen Kernbrennstoff und RDB-Innenwand eingehängt → größere Nähe zur Kernreaktion und vorseilende Versprödung gegenüber RDB-Ringen.

Ergebnis der Auswertung des letzten Voreilprobensatzes :

- Der Ring C des RDB von Beznau 1 ist erheblich versprödeter als beim vorletzten Materialprobensatz prognostiziert.
- Ermittelte Sprödbruchreferenztemperatur als Maß für die Versprödung nach klassischem Berechnungsverfahren (Methode I) in der Nähe des Grenzwertes nach UVEK Verordnung.

Status vor Entdeckung der Befunde

- Außerbetriebnahmeverordnung von 2008 fordert Einhaltung von maximal 93°C bei der Sprödbruchreferenztemperatur in ¼ Wandtiefe des RDB. Zunächst kam nur das klassische Verfahren zur Bestimmung der Sprödbruchreferenztemperatur $RT_{Ref}=RT_{NDT}$ vor. Dieses Verfahren (Methode I) gilt als konservativ (Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy).
- Seit 2011 gilt die Richtlinie ENSI-B01/d, die die Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur auch nach Master-Curve-Verfahren $RT_{Ref}=RT_{T0}$ (Methode II, Variante A und B) als zulässig beschreibt → im Sommer 2011 erfolgte die erneute Auswertung des Probensatzes mit rekonstruierten Voreilproben nach Master-Curve-Verfahren.

Beznau Block 1 Probensatz T, Fluenz: 6.04E19 [cm⁻²]

Werkstoff	RT _{NDT} bzw. RT _{ref} (0) [°C]	ΔT ₄₁ [K]	RT _{ref} [°C]	Bestimmung der Referenztemperatur nach ENSI-B01 [2]
Schmiedering C	-1	105	104	Methode I
	-16	105	89	Methode II, Variante B
	-	-	70	Methode II, Variante A
Schmiedering D	-5	68	63	Methode I
	-22	68	46	Methode II, Variante B
Schweissgut	-18	58	40	Methode I

→ Mit neuer Methode II Reduzierung der Sicherheitsmargen um 34°C bei RT_{Ref} der Voreilproben möglich.

Tabelle 1 Resultate der Probenprüfungen, Probensatz T Block 1

Sprödbruchreferenztemperatur im März 2011

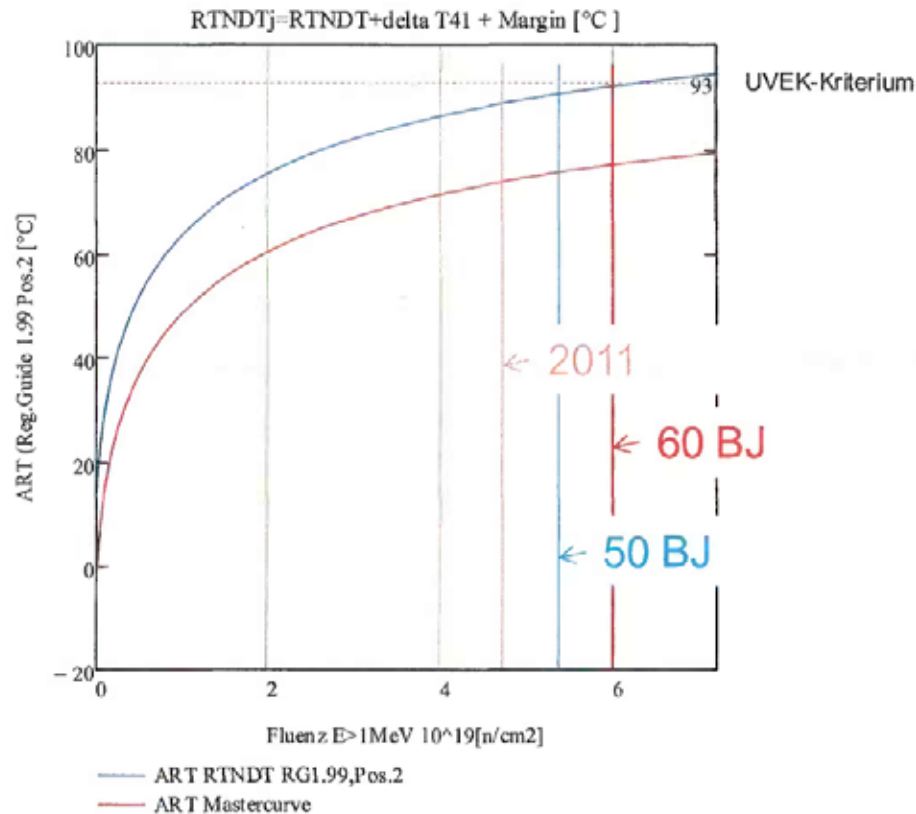


Fig. 4 Block 1, Ring C: Justierte Referenztemperatur RT_{NDT}/RT_{T0} (Fluence) in 1/4t

Neben dem konservativen Verfahren Methode I (blaue Kurve) wurde auch das neue Master-Curve-Verfahren (rote Kurve) zunächst als Sicherheitsmarge ausgewiesen.

Fluence (60 BJ=54 VLJ in $\frac{1}{4}$ Tiefe)=
 $5,95 \times 10^{19} \text{ n}/\text{cm}^2$

BJ=Betriebsjahre

VLJ=Vollastjahre

Sprödbruchreferenztemperatur im Dezember 2011

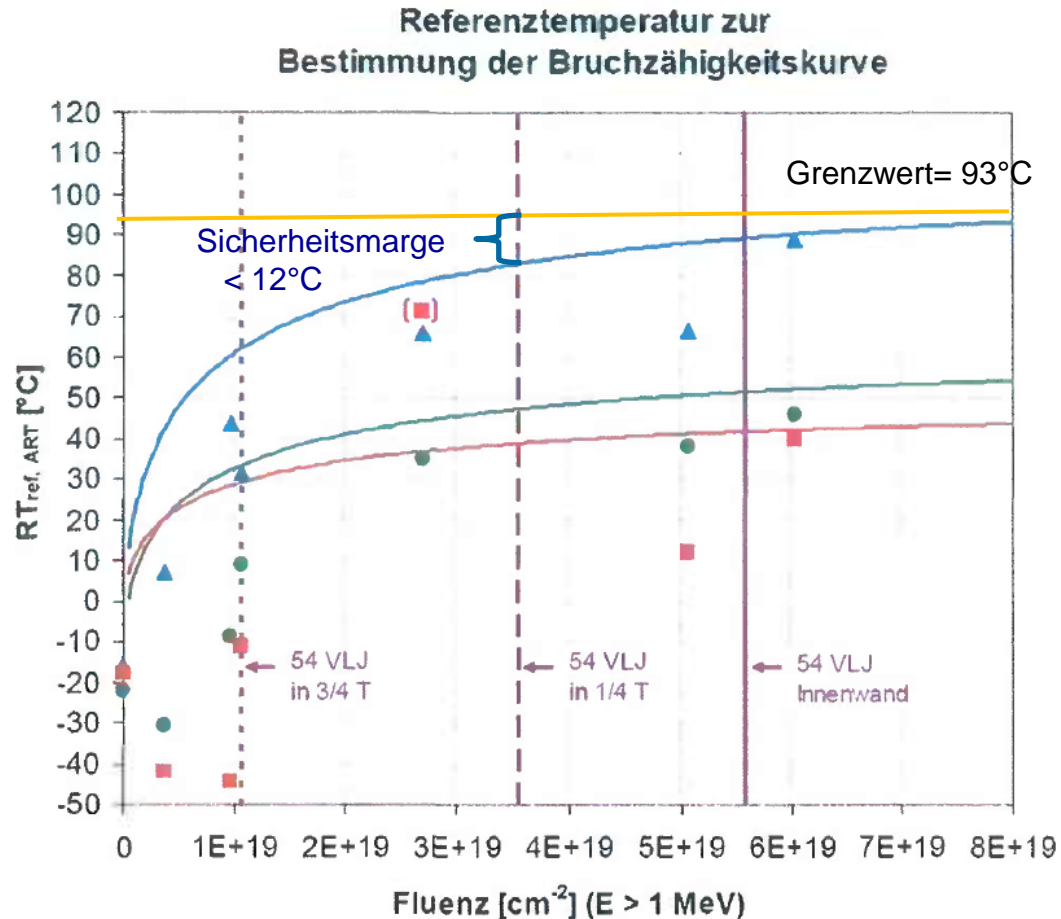


Fig. 4 Block 1, $RT_{ref,ART}$ in Funktion der Fluenz

Master-Curve IIB, Fluenz (60 BJ=54VLJ in $\frac{1}{4}$ Tiefe)= $3,6 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$

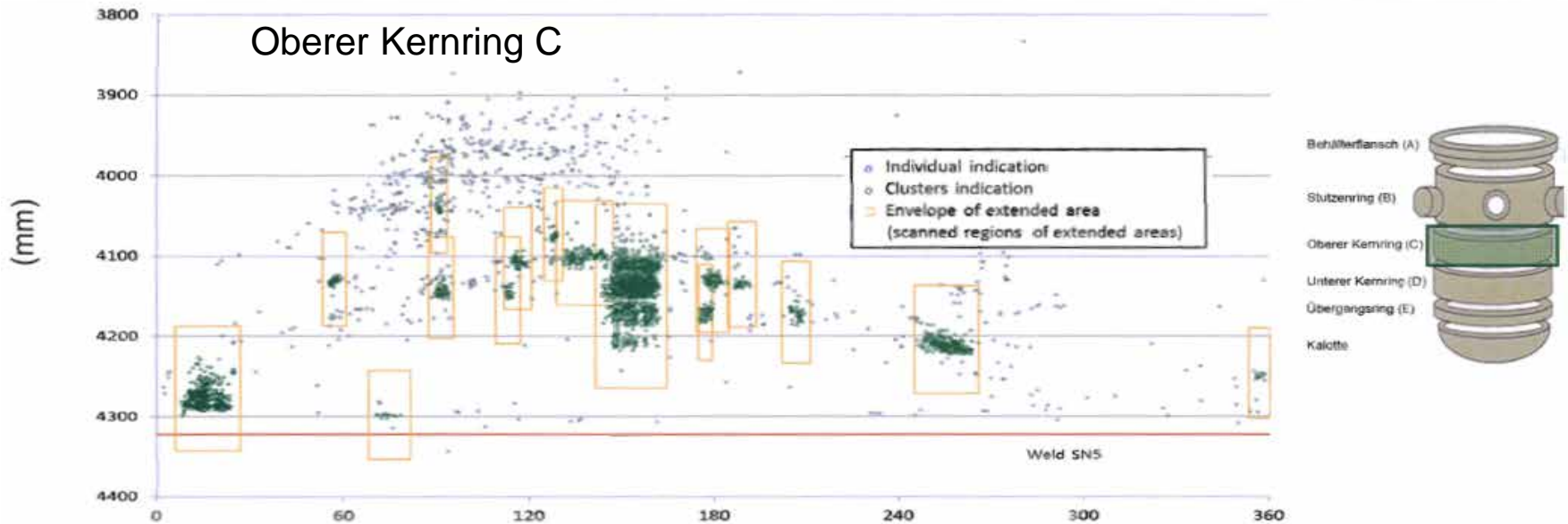
— Ring C
— Ring D
— SG

Dezember 2011 nach
Auswertung des letzten
Materialprobensatzes:

Der Grenzwert der
Sprödbruchreferenztemperatur
 $RT_{ref}=93^\circ\text{C}$ in $\frac{1}{4} T$ ist auch mit
neuer Master-Curve Methode IIB
fast erreicht.

Sicherheitsmarge $< 12^\circ\text{C}$ bei
Anwendung des neueren Master-
Curve-Verfahrens IIB. Die Kurve
des klassischen Verfahrens wird
nicht mehr veröffentlicht.

Juli 2015: Entdeckung Ultraschallanzeigen im Kernring C



- Mehrere Cluster (hohe Dichte an Materialfehlern) sogenannter nichtmetallischer Einschlüsse, Größe und Lage der Einschlüsse an besonders beanspruchten Stellen des RDB beeinträchtigen die Materialqualität.
- ➔ Betreiber Axpo muss neuen Sicherheitsnachweis führen, dass der Reaktordruckbehälter bei Störfällen keinen Sprödbruch erleidet.
- ➔ Temperaturzuschlag auf die Sprödbruchreferenztemperatur erforderlich.

Aktueller Status mit Ultraschallbefunden

Fast keine Sicherheitsmarge mehr zum Grenzwert der Sprödbruchreferenztemperatur ($<12^{\circ}\text{C}$), aber:

- in der Regel sind Inhomogenitäten im RDB beim Sicherheitsnachweis noch mit einem Zuschlag bei der Referenztemperatur zu berücksichtigen.

Axpo muss somit nachweisen, dass die nichtmetallischen Einschlüsse keinen nachteiligen Einfluss auf die Materialeigenschaften bzw. die Versprödung des RDB haben.

Der amerikanische ASME-Code fordert hierfür repräsentative Materialproben

Werkstoffprüfungen sollten an Originalmaterialproben des RDB durchgeführt werden. Diese müssen vergleichbare nichtmetallische Einschlüsse wie der Ring C des RDB aufweisen.

Notlösung Replika

- AXPO hat keine Materialproben des bestrahlten Originalmaterials mit vergleichbaren Materialeinschlüssen für den Sicherheitsnachweis.
- Notlösung: AXPO ordert Neuanfertigung (Replika) bei Sheffield Forgemasters : Ring soll gleiche Herstellungsbedingungen wie 1965 bei Schmiede Le Creusot haben.
- Die Replika soll repräsentativ für den Materialzustand des Reaktordruckbehälter-Rings C von Beznau 1 sein.



Sicherheitsbedenken hinsichtlich der Repräsentativität der Replika

- Zweifel hinsichtlich gleicher Randbedingungen bei Herstellung:
 - In den 60er Jahren war das Fertigen derartiger Schmiedestücke Neuland, Einschlüsse konnten auf verschiedenste Art und Weise entstehen, bspw. durch Partikel der Ofenauskleidung, etc.. Auswirkungen der Wärmebehandlung auf die Materialeigenschaften nicht vollständig bekannt.
 - Gemäß WENRA-Bericht: „*The heat treatment procedure for the Beznau-1 unit has not been found in detail*“. Hersteller Le Creusot derzeit erheblichen Vorwürfen hinsichtlich fehlender oder veränderter Unterlagen bis in die damalige Zeit ausgesetzt.
- Replika fehlt die Bestrahlungs- und Ermüdungshistorie von 47 Jahren Betrieb des KKW Beznau 1.
- Review-Team des Ensi ohne deutsche Beteiligung nach Ausscheiden des Geschäftsführers i. R. Eberhard Roos der MPA Stuttgart.

Fazit

- Die zulässige Sprödbruchreferenztemperatur von RDB-Ring C ist nach klassischem Berechnungs-Verfahren bereits ohne Berücksichtigung der Einschlüsse erreicht bzw. überschritten. Der Nachweis der Sprödbruchsicherheit kann - wenn überhaupt - nur noch mit dem weniger konservativen Master-Curve- Verfahren und weniger konservativen Randbedingungen geführt werden → reduzierte Sicherheitsmargen beim Sicherheitsnachweis des RDB
- Der Nachweis der Sprödbruchsicherheit wird u. a. mit den Replika-Daten geführt → Unsicherheiten beim Sicherheitsnachweis des RDB
- Reduzierte Sicherheitsmargen sowie Unsicherheiten beim Sprödbruchsicherheitsnachweis entsprechen nicht den höchsten Qualitätsanforderungen, die an einen Reaktordruckbehälter zu stellen sind.

Ihr Ansprechpartner

Simone Mohr

Dipl.-Ing. Maschinenbau

Öko-Institut e.V.

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

D-64295 Darmstadt

Telefon: +49 6151 8191 146

E-Mail: s.mohr@oeko.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Thank you for your attention!

Haben Sie noch Fragen?
Do you have any questions?

