

# Ultraschallanzeigen im Reaktordruckbehälter von Beznau 1

Dipl.-Ing. Simone Mohr  
**Öko-Institut e.V.**

Dr. Christoph Pistner  
**Öko-Institut e.V.**

Pressekonferenz,  
Zürich, 12. Mai 2016

# Ultraschallanzeigen im Reaktordruckbehälter (RDB) von Beznau 1

**1** Sicherheitstechnische Bedeutung

**2** Befund

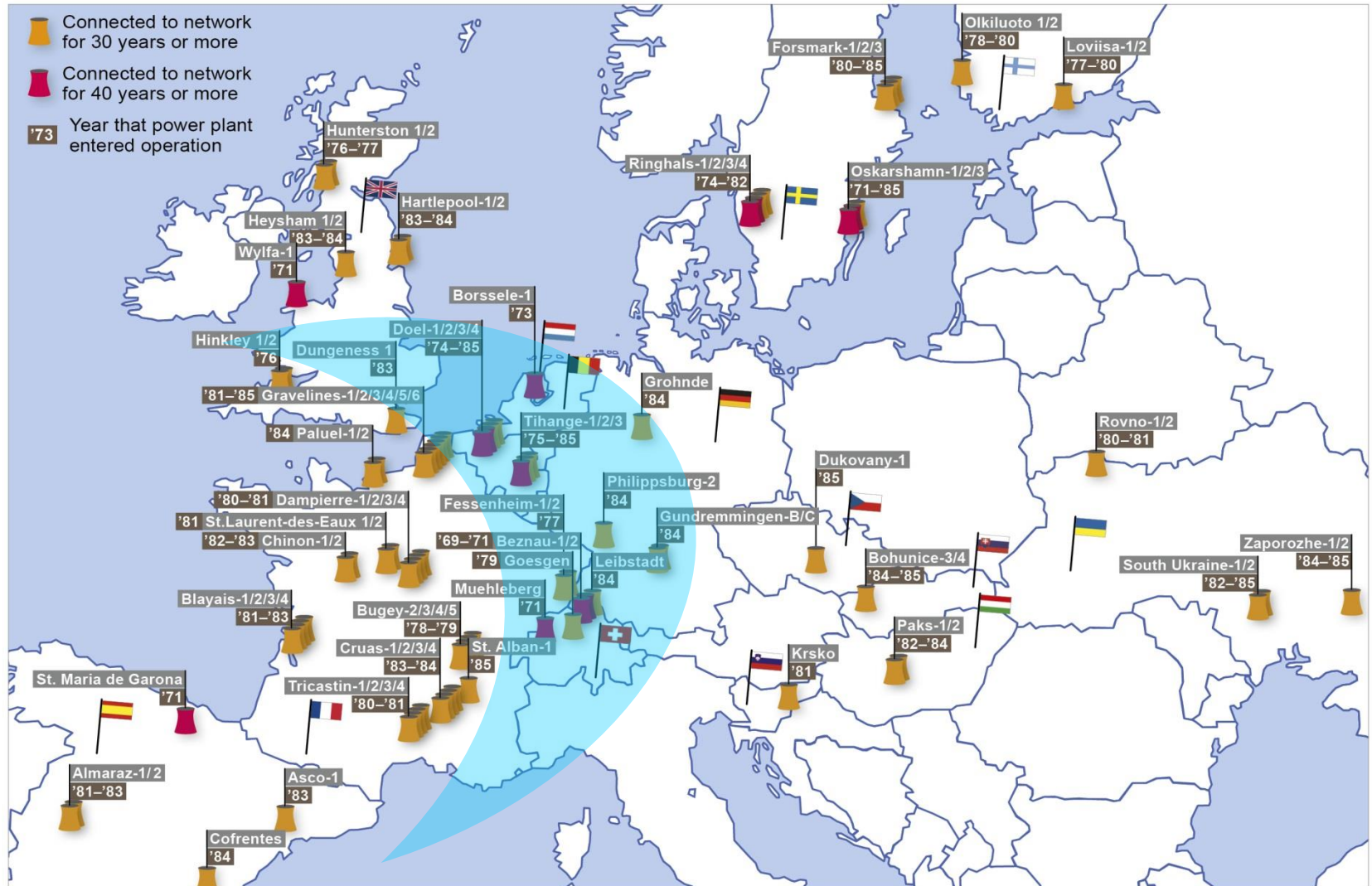
**3** Ultraschallverfahren

**4** Sprödbruchreferenztemperatur

**5** Integritätsnachweis

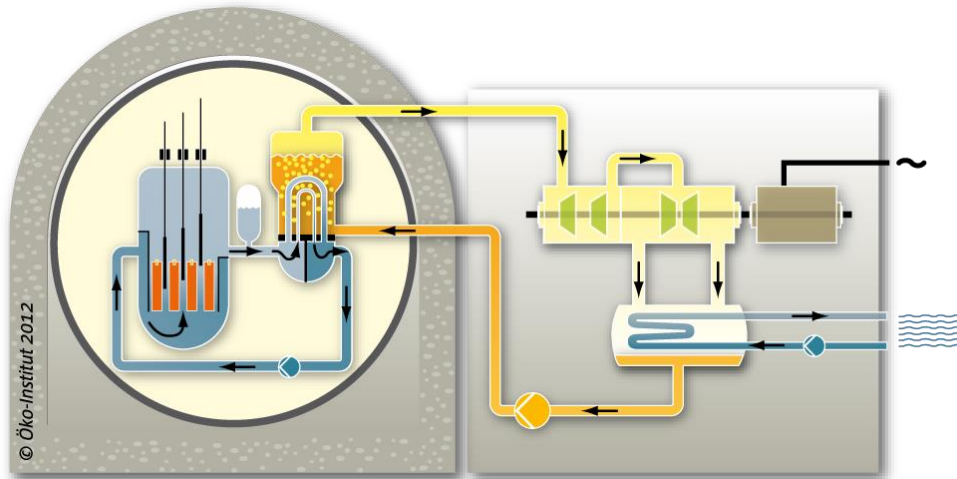
# Europe's old nuclear power plants

Reactors connected to the network for at least 30 years, as of August 2015



SOURCE: OEKO-INSTITUT 2015

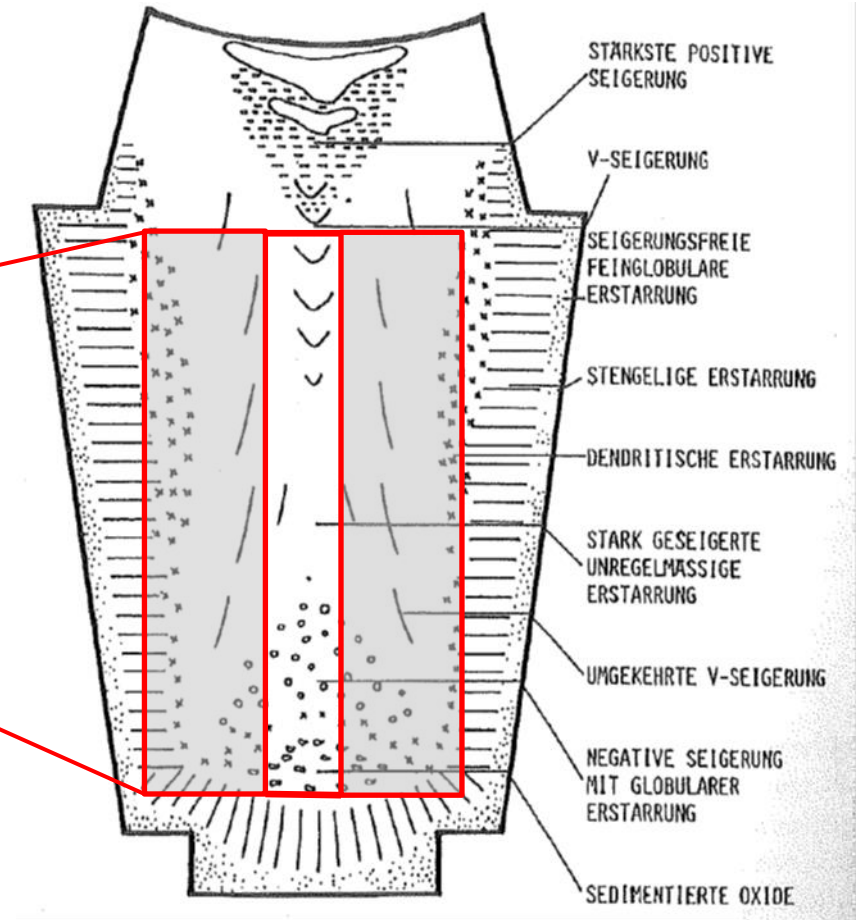
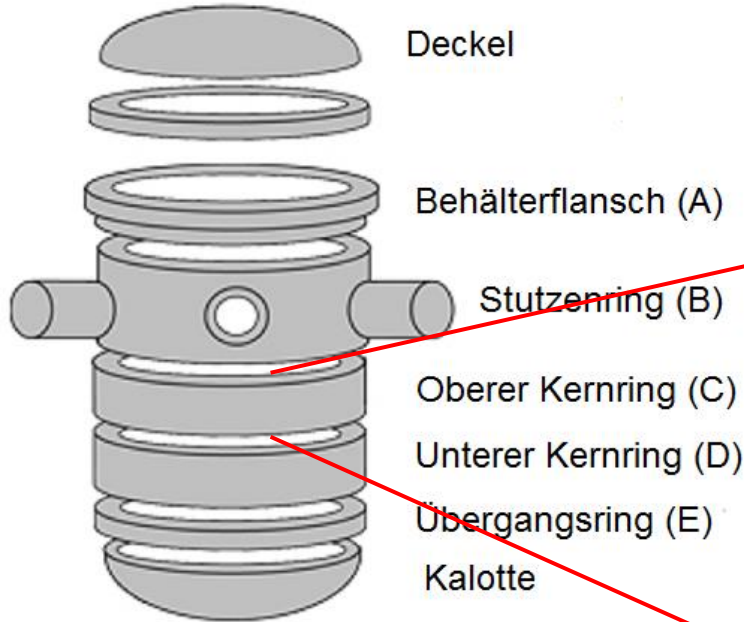
# Sicherheitstechnische Bedeutung des Reaktordruckbehälters (RDB)



- RDB umschließt Reaktorkern mit Brennelementen
    - Kernkühlung bei Versagen des RDB nicht mehr möglich
    - Bei Versagen unter hohem Druck: zusätzlich Versagen des Sicherheitsbehälters möglich
- ➔ besondere Bedeutung der Qualität bei der Herstellung und der Vermeidung von **Unsicherheiten** bei der Nachweisführung zur RDB-Integrität (defence in depth)

# Befund 2016 (RDB)

Ringe des Reaktordruckbehälters (RDB)



- Materialfehler in den Ringen der RDB
- Kern nahe Ringe C und D mit stärkster Neutronenbestrahlung

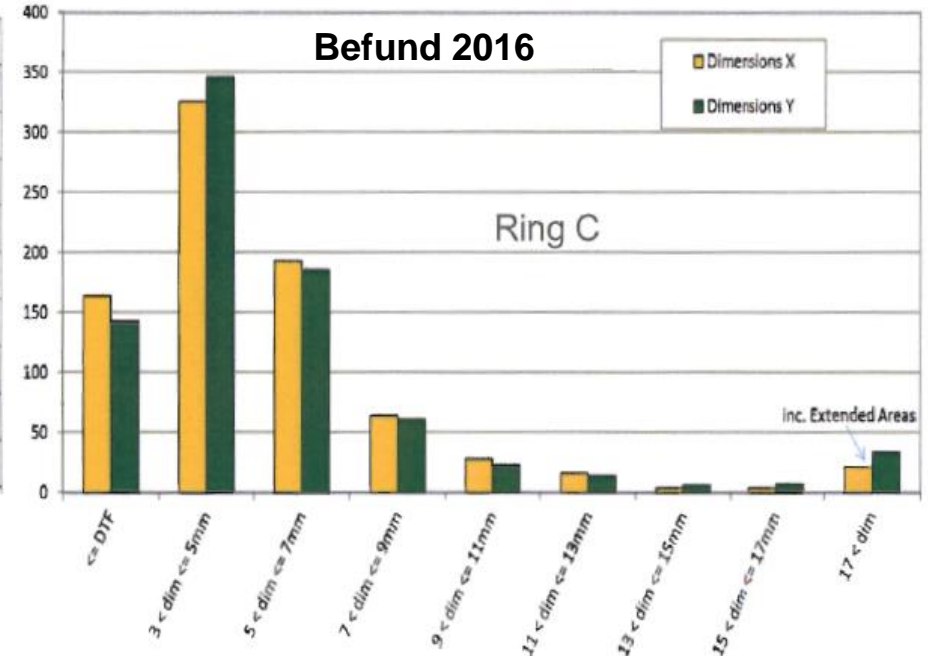
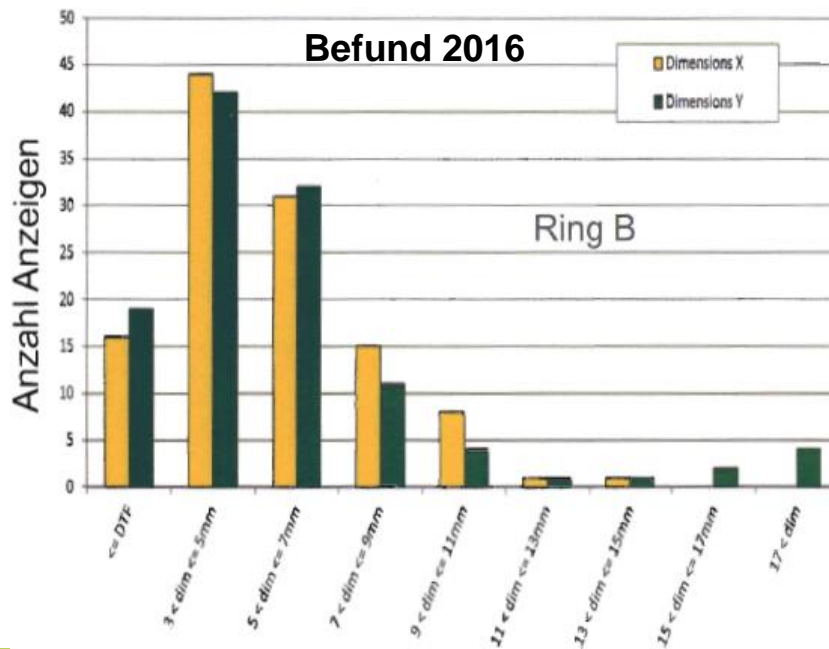
# Befund 2016

## Befund 2015

Ø Anzeigengröße	7,5 x 7,5 mm
Anzahl der Anzeigen	925 (Ring C)
Breite Anzeigenband	< 250 mm
Tiefenbereich	bis ~ 60 mm

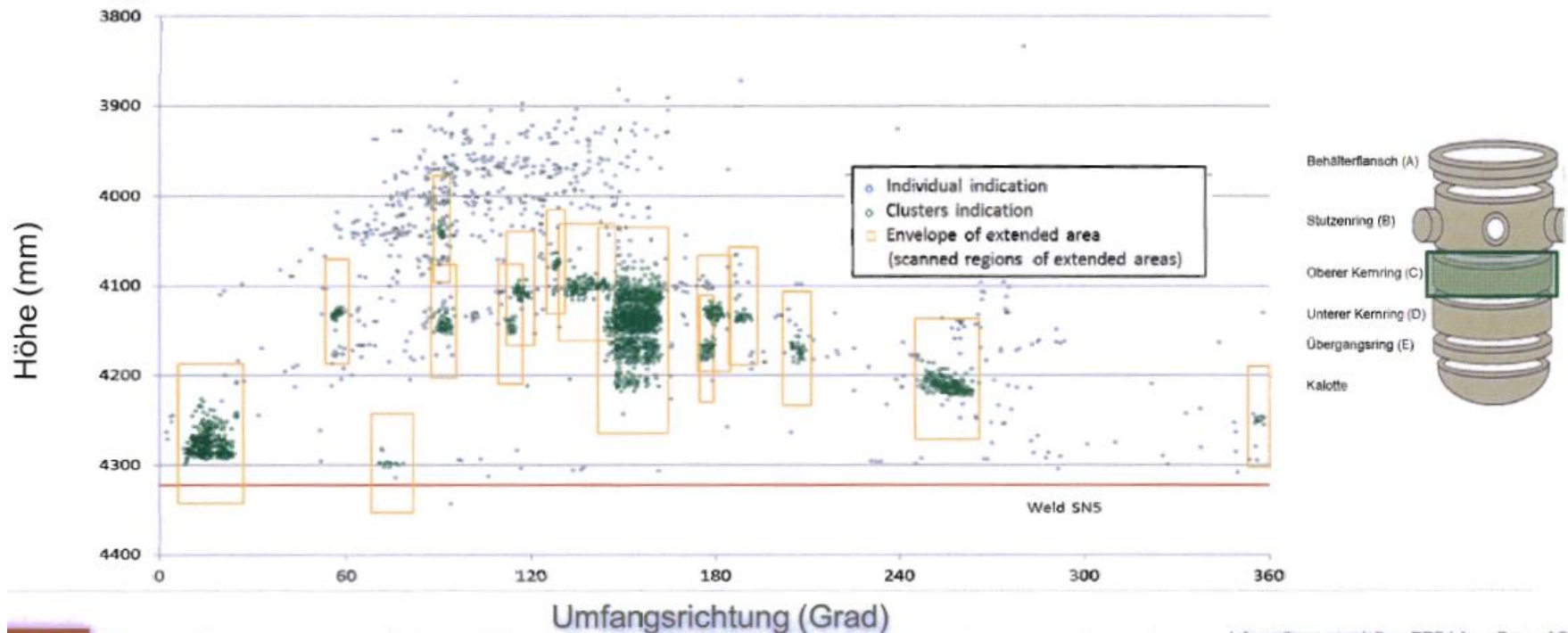
## Befund 2016

Shell	Number of reportable indications (including extended areas counted as one indication)
A	2
B	119
C	830
D	0



# Befund 2016

## Lage der Anzeigen nach Höhe und Umfang des RDB für Kernring C



Im Vergleich zu belgischem Betreiber und Behörden wenig öffentliche Informationen zu den Befunden bisher seitens Axpo und ENSI.

# Ultraschallverfahren


- Ultraschallverfahren war ursprünglich für Herstellungskontrolle konzipiert, wobei Qualitätsanspruch homogenes Behältermaterial war. Ultraschallanzeigen bei der Herstellungsprüfung führten zum Verwerfen des Gussteils.
- Rissanzeigen können sich gegenseitig abschatten oder sehr eng beieinander liegen. Ultraschallverfahren können bestenfalls die Lage der Materialfehler innerhalb der RDB-Wand und den Umriss wiedergeben → auch hier noch Unsicherheiten möglich.
- Erst 2014 ausreichend für Wasserstofflockenrisse qualifiziertes Ultraschallverfahren für Doel 3. Qualifizierung Ultraschallverfahren in Beznau 1 und 2 bisher nicht ausreichend dargelegt und begründet.
- Ultraschallverfahren sind nicht geeignet, die zerstörende Werkstoffprüfung zu ersetzen. Trotzdem werden sie dazu verwendet, Aussagen über Art und Ursache der Materialfehler zu treffen → viele Unsicherheiten bei der Nachweisführung.



# Ultraschallverfahren

Befundangaben des Betreibers Axpo:

- Der Ultraschallbefund ist nicht typisch für Wasserstofflocken.
- Aus den bis dato vorliegenden Ergebnissen des Ultraschalls und der Root Cause Analyse schließt Axpo weiter, dass *„die Anzahl und Lage der Anzeigen auf nicht-metallische Einschlüsse verweist“ ... die Lage der Anzeigen in der Zone negativer Segregation auf Aluminiumoxideinschlüsse schließen lässt“*.

Negative Segregation ist im Ultraschall nicht erkennbar, die Schlüsse zu Aluminiumoxid erfolgten dennoch auf Basis des Ultraschallbefunds und der Root-Cause-Analyse  Aussage mit Unsicherheiten.

Bisher keine ausreichende Begründung und Ursachenanalyse für die Annahme Aluminiumoxid.

# Fehleinschätzung von Ultraschallanzeigen



Die Ultraschall-Untersuchung bei der Herstellungsprüfung eines Niederdruckrotors ergab 1970 „nicht-metallische Einschlüsse“.

Die Laufunruhe des 80 t Rotors wurde durch Nachwuchtungen behoben.

Sylvester 1987 zerbarst der Rotor durch Sprödbruch.

Tatsächlich waren es vier große Lunker, einer davon in Handgröße.

## Die Sprödbruchreferenztemperatur $RT_{Ref}$

(UVEK 2008) fordert unter anderem in Artikel 4 zur Versprödung des Reaktordruckbehälters:

*„Der Bewilligungsinhaber hat das Kernkraftwerk unverzüglich vorläufig ausser Betrieb zu nehmen, wenn:*

*a. die aktuelle justierte Sprödbruch-Referenztemperatur von der Innenwand in einer Tiefe von einem Viertel der Wanddicke den Wert von 93 °C erreicht.“*

Die Sprödbruchreferenztemperatur  $RT_{Ref}$  ist ein Maß für den Zähigkeitszustand des RDB. Sie dient der Sprödbruch-Sicherheitsbewertung. Je spröder der RDB, desto höher  $RT_{Ref}$ .

# Die Spröbruchreferenztemperatur $RT_{Ref}$

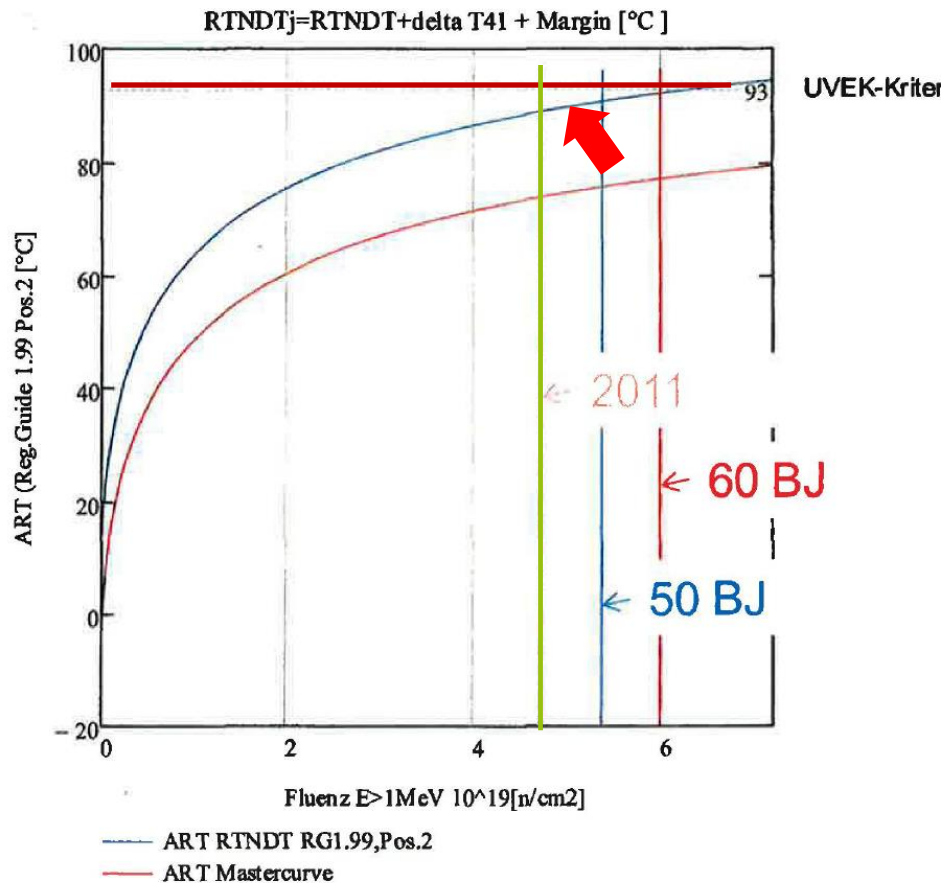
- 2008 sah UVEK nur das standardisierte Verfahren zur Bestimmung von  $RT_{Ref}=RT_{NDT}$  vor. Dieses Verfahren (Methode I) basiert auf dem traditionellen Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy und ist konservativ.
- Seit 2011 gilt die Richtlinie ENSI-B01/d, gemäß der die Ermittlung der Spröbruchreferenztemperatur auch nach dem Master-Curve-Verfahren  $RT_{Ref}=RT_{T0}$  (Methode II, Variante A und B) zulässig ist. ➔ Reduzierung der Sicherheitsmargen um  $34^{\circ}C$  bei  $RT_{Ref}$  der Voreilproben:

Bezau Block 1 Probensatz T, Fluenz:  $6.04E19 [cm^{-2}]$

Werkstoff	$RT_{NDT}$ bzw. $RT_{ref}(0)$ [ $^{\circ}C$ ]	$\Delta T_{41}$ [K]	$RT_{ref}$ [ $^{\circ}C$ ]	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

Tabelle 1 Resultate der Probenprüfungen, Probensatz T Block 1

# Die Sprödbbruchreferenztemperatur Beznau 1



- ART gibt die auf den Bestrahlungszustand justierte Sprödbbruchreferenztemperatur für den relevantesten Ring C in  $\frac{1}{4}$  Wandtiefe an.
- Die Sprödbbruchreferenztemperaturkurven von 2011 (ART) berücksichtigen noch nicht den aktuellen Befund. Die zulässige Sprödbbruchreferenztemperatur ist nach der konservativsten Methode I (blau)  $RT_{NDT}$  trotzdem fast erreicht.

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

# Die Spröbruchreferenztemperatur $RT_{Ref}$ (Beznau 1 u. 2)

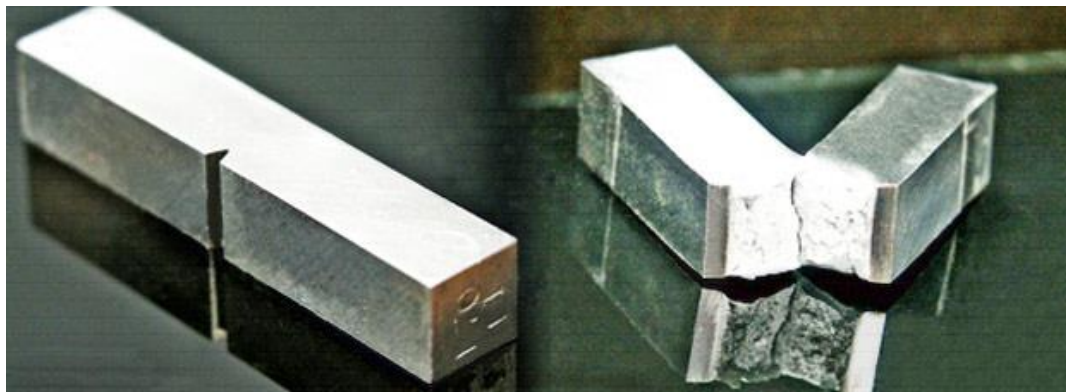
Methode ENSI-B01	Berücksichtigung Seigerungen	$RT_{ref, ART}$ [°C]	
		Block 2	Block 1
II B	ohne	51	89
	mit	63	
II A	ohne		80

Spröbruchreferenztemperatur nach den weniger konservativen Master-Curve-Verfahren II A und IIB mit und ohne Berücksichtigung von Seigerungen für 54 Vollastjahre oder 60 Betriebsjahre an der Innenwand der RDB, mit Aufschlag  $\Delta T=12^{\circ}\text{C}$  für die Seigerungen bei Beznau 2.

➔ unter entsprechender Berücksichtigung von  $\Delta T=12^{\circ}\text{C}$  für die Ultraschallanzeigen in Block 1 wird  $RT_{Ref}$  mindestens für das klassische Verfahren bereits erreicht oder überschritten.

## Eignung von Materialproben

- Materialproben: für Qualifizierung von Ultraschalluntersuchungen, Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur sowie Führung des Integritätsnachweises des RDB unverzichtbar.
- Sicherheitstechnisch relevante Forderung: Materialproben aus Originalmaterial der RDB-Ringe, mit gleicher Herstellungs-, Bestrahlungs- und Belastungshistorie und mit von der Art her gleichen Materialfehlern wie der RDB.



## Eignung von Materialproben

Akuter Mangel an ausreichend repräsentativen Materialproben →

- Verwendung sehr kleiner Materialproben (im mm-Bereich, Regelwerk noch unvollständig)
- Rekonstruktion bereits zerstörter Materialproben
- Verwendung von Materialproben ohne direkten Bezug zum RDB

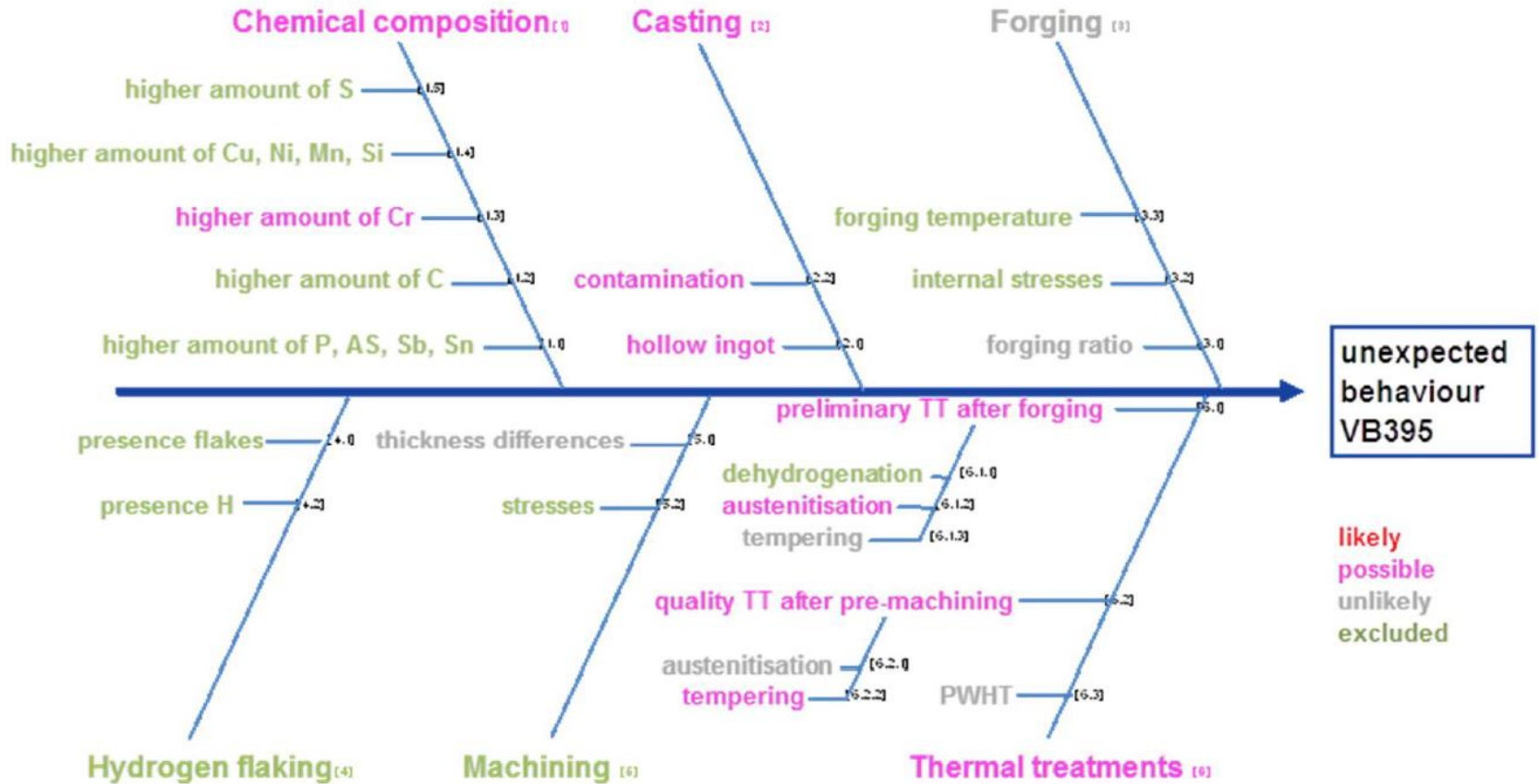
→ alle drei Varianten beinhalten erhebliche Unsicherheiten in der Nachweisführung.

In Belgien wurden Materialproben verwendet, die nach Bestrahlung zu nicht prognostizierten Ergebnissen führten. Hinsichtlich Bestrahlung wurden sie als „Ausreißer“ eingestuft. Andere Ergebnisse wurden trotzdem auf den RDB übertragen → Unsicherheiten im Nachweis (Doel 3).

Axpo räumt Probleme bei der Beschaffung von Materialproben ein. Bisher keine Informationen oder Begründungen zur Repräsentativität der verwendeten Materialproben.



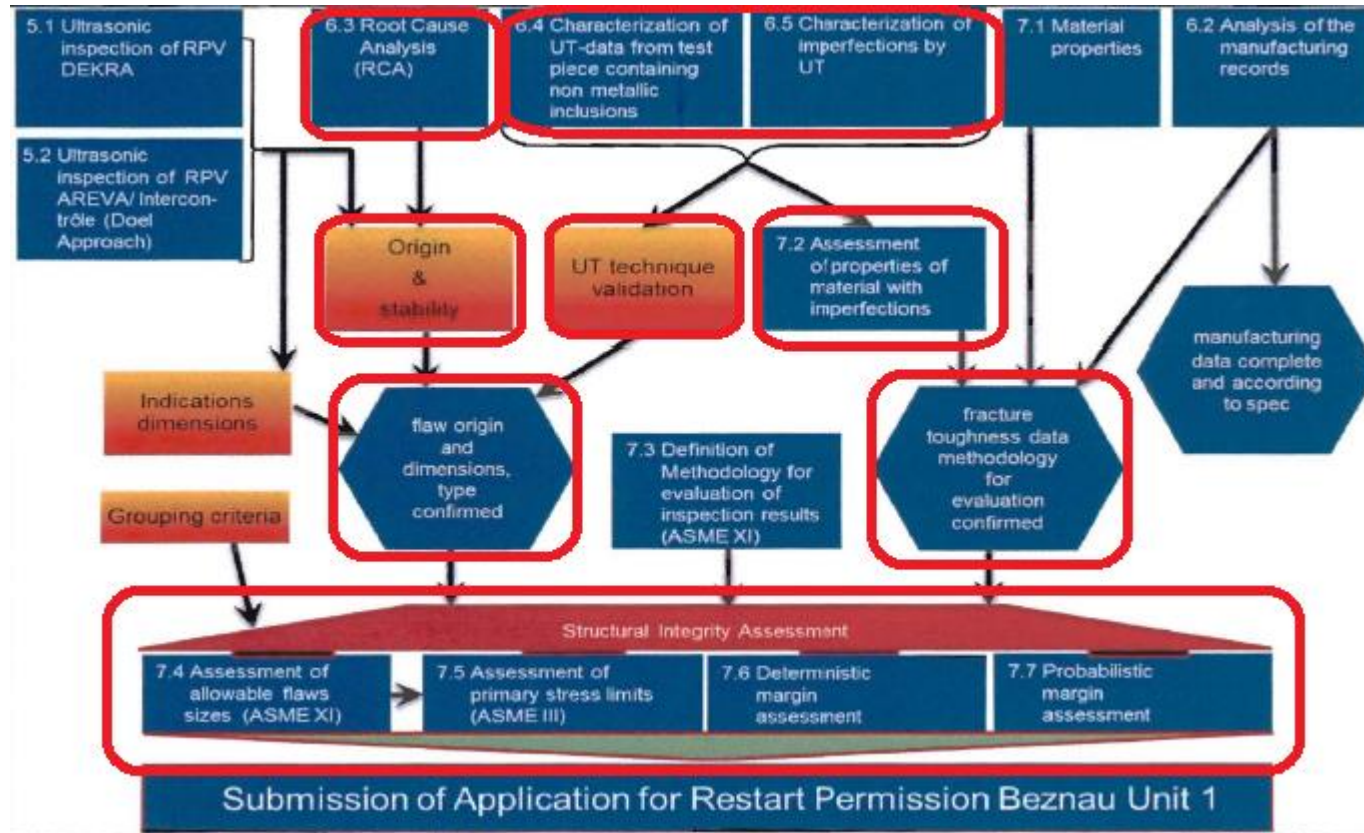
# Eignung von Materialproben (Doel 3, Belgien)



- Root-Cause-Analyse (fishbone diagramm) für das unerwartete Verhalten der Materialprobe VB395 findet keine wahrscheinliche (likely) Ursache

# Integritätsnachweis Beznau 1

Unsicherheiten beim Strukturintegritätsnachweis (rot umrandet)



# FAZIT I

- Ein Versagen der RDB-Integrität von Beznau 1 durch Sprödbruch gilt sicherheitstechnisch als nicht mehr beherrschbar. Für die Kernzone Europas hätte dies katastrophale Folgen => signifikante Unsicherheiten bei der Nachweisführung sind auszuschließen (defence in depth-Konzept)
- Das Ultraschallverfahren soll exakte Angaben zu Anzahl, Form und Lage der Materialfehler liefern => dies bedingt eine aufwendige Ultraschallverfahrens-Qualifizierung mittels geeigneter Befund behafteter und zerstörend geprüfter Materialproben, trotzdem noch Unsicherheiten.
- Ultraschallverfahren und Root-Cause-Analyse können die zerstörende Werkstoffprüfung nicht ersetzen => Verwendung von Ultraschallbefund und indirekter Root-Cause-Analyse für Aussagen über Art, Ursache und Prognose von Materialfehlern sind mit hohen Unsicherheiten behaftet.

## FAZIT II

### Integritätsnachweis des RDB von Beznau 1:

- Es existieren drei verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur für KKW in der Schweiz. Durch den Verfahrenswechsel auf das Master-Curve-Verfahren werden vorhandene Sicherheitsreserven aufgebraucht. Nach dem klassischen Verfahren ist der Grenzwert bei Berücksichtigung der Anzeigen ggfs. bereits erreicht oder überschritten.
- Für die Führung des Integritätsnachweises ist die Verwendung der richtigen Materialwerte des RDB unabdingbar. Diese Materialwerte sind am besten mit geeigneten, repräsentativen Materialproben des Originalwerkstoffs mit gleichem Befund zu ermitteln. Derartige Materialproben liegen offenbar nicht vor. Die Verwendung anderer Materialproben ist mit hohen Unsicherheiten verbunden.

# Ihre 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](mailto:s.mohr@oeko.de)

## **Dr. Christoph Pistner**

Physiker

### **Öko-Institut e.V.**

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

D-64295 Darmstadt

Telefon: +49 6151 8191 190

E-Mail: [c.pistner@oeko.de](mailto:c.pistner@oeko.de)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie noch Fragen?

