



Aktennotiz

Datum: 20.05.2020 Seiten: 28 Anhänge: - Beilagen: -

Verteiler intern: KASI, Archiv

Verteiler extern: Schweizerische Energiestiftung SES, Greenpeace Schweiz, Oeko-Institut e.V.

Sachbearbeiter: [REDACTED]

Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung keine
Aktenzeichen 14KEX.BEFLAW
Referenz ENSI 14/2857

Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktordruckbehälters von Beznau 1

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Bewertungsmaßstab	5
3 Eindeutigkeit der Ultraschalldiagnose	6
3.1 Validierung des Ultraschallverfahrens	6
3.2 Vergleichbarkeit der Ultraschallmessungen an RDB und Replika	6
3.3 Eingeschränkte Korrelation zwischen Ultraschallbefunden und metallografischen Untersuchungen	7
3.4 Validierung der HAI-Anzeigen	8
3.5 Berücksichtigung der HAI-Anzeigen im Sicherheitsnachweis	8
3.6 Zulässigkeit der HAI-Anzeigen	9
3.7 Modellierung der HAI-Anzeigen als planare Materialfehler	9
4 Root-Cause-Analyse (RCA)	10
4.1 Umfang der RCA	10
4.2 Ursachen der Materialfehler	10
4.3 Diagnose Aluminiumoxideinschlüsse	11
5 Repräsentativität der Materialproben	12
5.1 Herstellung der Replika	12
5.2 Repräsentativität der Replika	13



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

6	Auswertung der Materialproben	14
6.1	Unbestrahlte Originalproben	14
6.2	Verwendung von Replika-Material	15
6.3	Untersuchungsergebnisse der Replika-Materialproben	16
6.4	Unsicherheiten bei der Bestimmung der Materialeigenschaften	16
6.5	Weitere Versagensmechanismen	17
6.6	Methode zur Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur	18
6.7	Sprödbruchreferenztemperatur T_0 des unbestrahlten RDB-Materials	19
7	Sicherheit des Integritätsnachweises	19
7.1	Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur	19
7.2	Bruchmechanischer Nachweis zur Strukturintegrität des RDB	21
7.3	Akzeptanzkriterien für hohe Befunddichten	21
7.4	Einfluss von Strahlung und Ermüdung	22
7.5	Methodik der Einzelrissnachweise	23
7.6	Ausweisung von Unsicherheiten und Konservativitäten	23
8	Fazit	24
9	Referenzen	27



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Zusammenfassung

2018 liess das ENSI das Kernkraftwerk Beznau 1 nach fast drei Jahren Stillstand wieder ans Netz. Zuvor hatte das ENSI den Sicherheitsnachweis der Axpo zu den im Reaktordruckbehälter entdeckten Befunden akzeptiert (ENSI 2018a).

Die SES hat zusammen mit Greenpeace Schweiz das «Öko-Institut e.V.» beauftragt, den Sicherheitsnachweis der Axpo zu analysieren. Das Öko-Institut kommt zum Schluss, dass die von der Axpo angewandten Methoden ungeeignet seien, wissenschaftlichen Standards widersprüchen und von keinem internationalen Reglement anerkannt seien (Mohr & Küppers 2019). Das Öko-Institut zweifelt damit den Entscheid des ENSI und die Sicherheit des Kernkraftwerks Beznau 1 an.

Gemäss den von den Auftraggebern der Studie publizierten Zusammenfassungen (SES 2019a) und (SES 2019b) bezieht sich die Hauptkritik der Studie auf die folgenden fünf Punkte:

- Eingesetzte Ultraschallverfahren
- Herstellung einer Replika
- Übertragbarkeit des Materialverhaltens der Replika
- Strahlenversprödung und Materialermüdung
- Quantifizierung der Unsicherheiten

Das ENSI widerspricht den Schlussfolgerungen und Kritikpunkten des Öko-Instituts entschieden. Zu den fünf Hauptkritikpunkten stellt das ENSI das Folgende richtig:

- **Eingesetzte Ultraschallverfahren:** Obwohl im vorliegenden Fall die technisch beste verfügbare Prüftechnik zum Einsatz kam, kritisiert das Öko-Institut, dass das Prüfverfahren nicht anhand von befundbehaftetem Originalmaterial validiert wurde. Die vom Öko-Institut geforderte Verwendung von Originalmaterial wird in keinem Regelwerk verlangt. Eine Validierung erfolgt immer an einer Referenz mit bekannten Messgrössen.
- **Herstellung einer Replika:** Das Öko-Institut kritisiert, dass es für die Herstellung einer Replika keine nationalen oder internationalen Regelwerksvorgaben gebe. Diese Kritik zeugt von einem mangelhaften Verständnis des zugrunde gelegten Nachweiskonzepts. Für die Herstellung einer Replika ist das gleiche Regelwerk zu verwenden wie für das Original. Ob die Herstellung einer Replika ihren Zweck erfüllt, ergeben die anschliessenden zerstörungsfreien und zerstörenden Prüfungen am Replika-Originalmaterial. Diese Prüfungen ergaben im Fall von Beznau eine sehr gute Übereinstimmung mit den Originalproben des RDB.
- **Übertragbarkeit des Materialverhaltens:** Für die Begründung seiner Zweifel an der Übertragbarkeit des Materialverhaltens der Replika auf den RDB zieht das Öko-Institut insbesondere die Bewertungen des IRP heran. Dabei werden die Schlussfolgerungen des IRP zur Repräsentativität der Replika vom Öko-Institut verzerrt wiedergegeben, um zu suggerieren, dass das IRP an der Repräsentativität der Replika zweifle. Dies ist jedoch unzutreffend. In Kapitel 3.3 seiner Stellungnahme hält das IRP zweifelsfrei und eindeutig fest, dass die Replika in Bezug auf die Zwecke, für die sie im Sicherheitsnachweis verwendet wurde, repräsentativ ist.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

- **Strahlenversprödung und Materialermüdung:** Das Öko-Institut negiert pauschal die Aussagekraft aller Materialuntersuchungen mit Replika-Material. Die im Rahmen des Sicherheitsnachweises durchgeführten, umfangreichen Untersuchungen zum Einfluss der Materialfehler auf die Strahlenversprödung und das Ermüdungsrisswachstum werden ohne Begründung ignoriert. Aufgrund der fehlenden Begründung hat die vom Öko-Institut geäußerte Kritik den Stellenwert von blossen Behauptungen.
- **Quantifizierung der Unsicherheiten:** In Bezug auf die Quantifizierung der Unsicherheiten des Sicherheitsnachweises vermischt das Öko-Institut den Nachweis der Konservativität des Sicherheitsnachweises mit dem Nachweis der darüberhinausgehenden Margen. Zu letzterem forderte das ENSI zusätzliche Angaben. In Bezug auf den Nachweis der Konservativität des Sicherheitsnachweises bestätigen sowohl das IRP als auch das ENSI, dass die verbleibenden Unsicherheiten im Rahmen des Sicherheitsnachweises konservativ berücksichtigt wurden und dass alle Vorgaben des Regelwerkes eingehalten werden. Insbesondere wird das UVEK-Ausserbetriebnahmekriterium von 93° C für die Spröbruchreferenztemperatur eingehalten. Auch hier beruht die Kritik des Öko-Instituts auf einer nicht weiter begründeten Behauptung.

Darüber hinaus enthält die Stellungnahme des Öko-Instituts gravierende fachliche Fehler, welche die Fachkunde des Öko-Instituts zur Beurteilung des vorliegenden Sicherheitsnachweises grundlegend in Frage stellen.

Zusammenfassend beruhen die vom Öko-Institut formulierten Zweifel am Entscheid des ENSI und der Sicherheit von Beznau 1 auf

- der Unkenntnis des anwendbaren Regelwerkes;
- einem mangelhaften Verständnis des Konzeptes des geführten Sicherheitsnachweises;
- verzerrt wiedergegebenen Schlussfolgerungen des ENSI und des IRP; und
- dem Ignorieren von wesentlichen Bestandteilen des Sicherheitsnachweises.

Aufgrund der genannten, schwerwiegenden Mängel kommt das ENSI zum Schluss, dass die Stellungnahme des Öko-Instituts (Mohr & Küppers 2019) in keiner Weise geeignet ist, die Beurteilung des ENSI im Hinblick auf die Sicherheit des RDB des Kernkraftwerks Beznau 1 in Frage zu stellen.

1 Einleitung

Im Sommer 2012 sind im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters des belgischen Kernkraftwerks Doel 3 Befunde festgestellt worden. In der Folge mussten auch die Kernkraftwerke in der Schweiz Prüfungen durchführen. Da im Reaktordruckbehälter von Beznau 1 ebenfalls Befunde festgestellt wurden, musste die Axpo seine Sicherheit nachweisen.

Diesen Nachweis konnte die Axpo im März 2018 erbringen. Dies hatte die Prüfung durch das ENSI ergeben (ENSI 2018a). Das im Jahr 2015 vom ENSI eingesetzte International-Review-Panel (IRP) kam zum selben Schluss (IRP 2018).

Um den Sicherheitsnachweis der Axpo sowie die Beurteilungen des ENSI und des internationalen Expertengremiums (International Review Panel, IRP) nachzuvollziehen, haben die SES und Greenpeace Schweiz beim Öko-Institut ein Gutachten in Auftrag gegeben (Mohr & Küppers 2019).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Das Öko-Institut hatte bereits in drei vorangehenden Studien zum Sicherheitsnachweis des RDB von Block 1 des Kernkraftwerks Beznau Stellung genommen (Mohr & Küppers 2016), (Öko-Institut e.V. 2016) und (Pistner & Mohr 2017). In all diesen Studien kam das Öko-Institut zu dem Schluss, dass für den Sicherheitsnachweis bereits alle zur Verfügung stehenden Sicherheitsmargen ausgeschöpft wären. Eine Erhöhung der Sprödbruch-Referenztemperatur mittels eines Zuschlags für die Materialfehler sei für die Einhaltung der Grenzwerte nicht möglich. Der aus Sicht des Öko-Instituts somit zwingend erforderliche Nachweis, dass die Materialfehler keinen Einfluss auf die Materialeigenschaften des Rings C haben, war aus Sicht des Öko-Instituts nicht leistbar. Diese Schlussfolgerung, welche das Öko-Institut notabene ohne Datengrundlage bereits in den Jahren 2016 und 2017 gezogen hatte, wurde in der vorliegenden Studie (Mohr & Küppers 2019), wenig überraschend, bestätigt. In ihrer Zusammenfassung kommen die Verfasser der Öko-Institut-Studie zum Schluss, dass die von Axpo, ENSI und IRP dargelegten Sachverhalte zum Reaktordruckbehälter (RDB) von Beznau 1 angesichts dessen sicherheitstechnischer Relevanz als bedenklich anzusehen seien.

In seinen Ausführungen stellt das Öko-Institut mehr oder weniger offen die Ehrlichkeit aller am Sicherheitsnachweis Beteiligten in Frage. Folgende Hauptthemen werden detaillierter angesprochen:

- Eindeutigkeit der Ultraschalldiagnose
- Repräsentativität der Materialproben für den Sicherheitsnachweis
- Auswertung der Materialproben
- Sicherheit des Integritätsnachweises

Im vorliegenden Kommentar geht das ENSI auf die im Rahmen dieser Hauptthemen aufgeworfenen Kritikpunkte und Vorwürfe ein. Es folgt dabei der Struktur der Studie des Öko-Instituts (Mohr & Küppers 2019), auch wenn die vom Öko-Institut vorgebrachten Argumente oft nicht zu den Titeln der Hauptthemen passen.

2 Bewertungsmassstab

Aussagen des Öko-Instituts

Als Bewertungsmaßstab sollen auf Basis der wesentlichen Grundanforderungen von Article 18 Clause ii und Article 19 Clause i bis iii der internationale Convention on Nuclear Safety der IAEA, die auch von der Schweiz unterzeichnet wurde, sowie der hohen Sicherheitsrelevanz die nachfolgenden Kriterien die Schwerpunkte der Bewertung bilden:

- *Plausibilität und Konsistenz in der Vorgehensweise*
- *Verzicht auf Anwendung neuer oder nicht standardisierter Vorgehensweisen*
- *Abweichungen vom für Anlagen amerikanischer Bauart geltenden Regeln des ASME-Boiler and Pressure Vessel Codes*
- *Eindeutigkeit und Sicherheit der Aussagen zum Integritätsnachweis*

Bewertung des ENSI

Die Beurteilung der Sicherheit des Reaktordruckbehälters von Beznau 1 (ENSI 2018a) erfolgte auf der Grundlage anerkannter nationaler und internationaler Regelwerke und unter Verwendung etablierter



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor- druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Vorgehensweisen. Das Öko-Institut bezieht sich auf die übergeordneten und entsprechend unbestimmten Anforderungen der Convention on Nuclear Safety (IAEA 1994) und interpretiert diese willkürlich in seinem Sinne. Trotzdem steht die Vorgehensweise beim geführten Sicherheitsnachweis mit keinem der genannten Kriterien in Konflikt.

3 Eindeutigkeit der Ultraschalldiagnose

3.1 Validierung des Ultraschallverfahrens

Aussagen des Öko-Instituts

Eine zuverlässige Validierung des Ultraschallverfahrens setzt zerstörende Untersuchungen an repräsentativen Materialproben voraus. Diese sollten bei einer sicherheitstechnisch so relevanten Untersuchung mit ausreichend repräsentativen Materialproben aus dem Originalmaterial durchgeführt werden. Solche repräsentativen Materialproben standen aber nicht zur Verfügung. Es ist davon auszugehen, dass man zunächst mit belgischen Materialproben validierte, da man ja die Vergleichbarkeit mit Wasserstofflockenrissen untersuchen wollte.

Bewertung des ENSI

Die Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen an sicherheitstechnisch klassierten Behältern und Rohrleitungen ist in der Richtlinie ENSI-B07 (ENSI 2018b) geregelt. Die Anforderungen an die zu verwendenden Testkörper finden sich in Kapitel 5.7 der Richtlinie. Darin wird verlangt, dass sich die Testkörper in ihren physikalischen und prüfungstechnischen Eigenschaften ähnlich verhalten müssen wie die zu prüfende Komponente. Die Eignung der Testkörper für die praktische Demonstration im Rahmen der Qualifizierung ist durch eine technische Begründung zu belegen und durch die Qualifizierungsstelle zu bestätigen.

Für den Nachweis der Eignung zerstörungsfreier Prüfverfahren und -techniken werden auch in anderen international anerkannten Regelwerken und Qualifizierungsverfahren (KTA, ENIQ, EPRI-PDI, etc.) Test-/Vergleichskörper, die in den prüftechnisch relevanten Eigenschaften mit der zu prüfenden Komponente übereinstimmen müssen, verwendet.

Diese Anforderung an Test-/Vergleichskörper wurde im vorliegenden Fall vollumfänglich erfüllt. Mit der Replika standen sehr repräsentative Materialproben für die Validierung zur Verfügung.

Die vom Öko-Institut geforderte Verwendung von Originalmaterial wird in keinem Regelwerk verlangt. Eine solche Forderung des Öko-Instituts ist insbesondere auch sachlich unsinnig. Für die Validierung müsste das Originalmaterial im Anschluss an die Ultraschallmessung zerstörend geprüft werden und stünde somit für die Verwendung nicht mehr zur Verfügung. Eine Validierung erfolgt immer an einer Referenz mit bekannten Messgrößen und nicht am unbekanntem Prüfstück.

3.2 Vergleichbarkeit der Ultraschallmessungen an RDB und Replika

Aussagen des Öko-Instituts

Die Replika wurde erst nachträglich zur Validierung des Ultraschallverfahrens genutzt, nachdem die eigentlichen Ultraschalluntersuchungen am RDB bereits abgeschlossen waren. Die hierbei aufgetre-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

nen Schwierigkeiten bei der ultraschalltechnischen Verifizierung der fraktografisch gefundenen Aluminiumoxideinschlüsse lassen den Schluss zu, dass die bereits am RDB durchgeführte Untersuchung noch ungenauer war, als die für einen sehr kleinen Ausschnitt der Replika verifizierten Ergebnisse.

Bewertung des ENSI

Die Schlussfolgerung des Öko-Instituts, wonach die am RDB durchgeführte Untersuchung ungenauer war als diejenige an der Replika, ist falsch. Sowohl RDB als auch Replika wurden mit dem identischen Prüfsystem geprüft. Ansonsten hätten die Ergebnisse nicht für die Validierung der Ultraschallprüftechnik verwendet werden können.

Eine nachträgliche Qualifizierung oder Validierung stellt keinen Mangel dar. Es spielt für den Nachweis der Eignung und der Leistungsfähigkeit einer Prüftechnik keine Rolle, ob dieser vor oder nach dem Einsatz der Prüftechnik an der Komponente erfolgt.

3.3 Eingeschränkte Korrelation zwischen Ultraschallbefunden und metallografischen Untersuchungen

Aussagen des Öko-Instituts

Die Herstellung einer Korrelation zwischen den Ultraschallbefunden und den zerstörenden Werkstoffprüfungen der Replika konnte nur für drei Einschlusskategorien erreicht werden und die Ergebnisse des Bildbearbeitungstools mussten bedarfsweise manuell angepasst werden. Das ENSI erkannte bei dieser manuellen Nachbesserung nicht näher erläuterte Inkonsistenzen.

Die Einschätzung des ENSI, dass diese Inkonsistenzen nicht relevant für das Gesamtergebnis seien, kann nicht geteilt werden. Die Darstellung der Ergebnisse der metallografischen Untersuchungen insgesamt weist darauf hin, dass schon bei der Replika eine Korrelation zwischen Ultraschallbildern und realen Einschlüssen nur eingeschränkt herzustellen war. Diese eingeschränkte Korrelation dann noch als Basis für die Interpretation der Ultraschallbilder des Rings C heranzuziehen, entspricht nicht den hohen Qualitätsanforderungen, die im Fall des RDB zu stellen sind und die weder Ungenauigkeiten noch Inkonsistenzen zulassen. Insgesamt stößt das Ultraschallverfahren hier an seine Grenzen.

Bewertung des ENSI

Es ist unbestritten, dass im vorliegenden Fall bis an die technischen Grenzen des Ultraschallverfahrens gegangen wurde. Eine Korrelation zwischen den Ultraschallbildern und den realen Einschlüssen konnte nur für die grösseren Befunde hergestellt werden. Die kleineren Einschlüsse konnten zwar erkannt, aber grössenmässig nicht genau vermessen werden (ENSI 2018a).

Die Kritik des Öko-Institutes, dass im Falle des RDB weder Ungenauigkeiten noch Inkonsistenzen bei der Grössenbestimmung der Indikationen zulässig seien, zielt am Thema vorbei. Eine genaue Grössenbestimmung ist im gewählten Nachweiskonzept nur für die grössten Ultraschallbefunde, den sogenannten High Amplitude Indications (HAI), nötig. Das Verhalten des Materials mit kleinen und kleinsten Indikationen wird mit Hilfe von Materialproben erfasst.

Dies entspricht im Übrigen der in zahlreichen, auch kerntechnischen Regelwerken und Industriespezifikationen definierten Vorgehensweise bei der Qualitätsüberwachung von sicherheitskritischen Komponenten und Bauteilen. Bei der Ultraschallprüfung werden Reflektoren, deren Reflektivität unterhalb einer zuvor festgelegten Schwelle liegt, nicht als relevant betrachtet und eine Grössenbestimmung ist vielfach



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

nur dann erforderlich, wenn über die Akzeptanz von Fehlern entschieden werden soll, die zuvor nicht als pauschal zulässig eingeordnet werden konnten.

3.4 Validierung der HAI-Anzeigen

Aussagen des Öko-Instituts

Die Replika-Materialprobe für die Ultraschallvalidierung konnte die größten und amplituden-stärksten HAI-Anzeigen des RDBs nicht validieren. Der untersuchte Replika-Würfel mit 3 cm Kantenlänge beinhaltete keine HAI. Ein Grund für das Fehlen der HAI wird in den Unterlagen nicht genannt. Da jedoch die Replika HAI aufwies, hätten diese dennoch untersucht werden können. Es ist völlig unverständlich, wieso eine solche Untersuchung unterblieb.

Bewertung des ENSI

Ziel einer Validierung ist es, eine Befundgrösse zu identifizieren, welche mit einem zerstörungsfreien Prüfverfahren noch eindeutig charakterisiert werden kann. Es liegt auf der Hand, dass grössere Indikationen ebenfalls detektiert und vermessen werden können.

Im Falle der HAI-Anzeigen kommt hinzu, dass sie im Nachweiskonzept konservativ wie Risse behandelt werden.

3.5 Berücksichtigung der HAI-Anzeigen im Sicherheitsnachweis

Aussagen des Öko-Instituts

Die HAI als besonders sicherheitsrelevant einzustufende größte und stärkste Materialfehler werden vom ENSI auch weiterhin nicht konsequent in den Schlussfolgerungen berücksichtigt. Es sei „nicht vollständig auszuschließen“, dass die beobachteten HAI durch eine hohe Konzentration an Agglomeraten mit Rissen zwischen den Ligamenten verursacht wurden und in den Bereichen mit hohen Dichten an HAI bestehe ein Risiko „relevanter Unterschätzung der GröÙen der Materialfehler“. Bestehen derartige Risse (Trennungen an Einschlüssen, siehe Abbildung 3-3) zwischen den einzelnen Materialeinschlüssen, ist unter Störfallbedingungen ein unkontrolliertes Rissverhalten entlang der Einschlüsse und ihrer kleinen, im Ultraschall nicht zu entdeckenden Risse zu unterstellen. Das Spröbruchverhalten des Werkstoffs würde dann nicht dem modellierten Verhalten für den Sicherheitsnachweis entsprechen, sondern könnte frühzeitiger zum Versagen führen. Infolge der hohen thermomechanischen Beanspruchungen des RDB im Leistungsbetrieb wäre auch ein betriebliches Risswachstum nicht auszuschließen.

Bewertung des ENSI

Es trifft nicht zu, dass das ENSI die HAI, als besonders sicherheitsrelevant einzustufende grösste und stärkste Materialfehler, nicht konsequent in den Schlussfolgerungen berücksichtigt hat. Im Gegenteil, die HAI-Anzeigen werden im Nachweis konservativ mit einem einhüllenden Risspostulat behandelt (ENSI 2018a). Das vom Öko-Institut geltend gemachte «frühzeitige Versagen» wurde somit bereits postuliert. Aufgrund der geführten Nachweise kann auch ein betrieblich bedingtes Risswachstum ausgeschlossen werden.

Die Kritik des Öko-Instituts am Vorgehen des ENSI ist nicht nachvollziehbar.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

3.6 Zulässigkeit der HAI-Anzeigen

Aussagen des Öko-Instituts

Regulär hätten diese Ergebnisse schon ein Ausschlusskriterium für die Abnahme des RDB-Sicherheitsnachweises sein müssen. Es ist derzeit nicht zu beurteilen, ob die HAI Risse an den Einschlüssen beinhalten und diese insbesondere in Folge der jahrzehntelangen betrieblichen Materialermüdung des RDB wachsen. Mit Ultraschallaufnahmen lassen sich derart kleine potenzielle Risse nicht erkennen. Das ENSI sieht die Stabilität der HAI als essentiell an und hält - im Gegensatz zum Betreiber - eine weitere Ultraschalluntersuchung in den betroffenen Bereichen für notwendig. Ein derartiges Vorgehen ist ebenso wenig nachvollziehbar wie die Tatsache, dass das ENSI diese erst 2022 durchführen lässt.

Bewertung des ENSI

Wie bereits mehrfach erwähnt, wurden die HAI-Anzeigen im Sicherheitsnachweis wie konservativ eingehüllte Risse behandelt. Allein die Tatsache, dass in einem RDB Risse vorhanden sind, stellt im Gegensatz zu den Ausführungen des Öko-Instituts noch kein Ausschlusskriterium für die Abnahme des RDB-Sicherheitsnachweises dar. Im ASME-Code sind die Verfahren und Kriterien zur Bewertung von Rissen festgelegt. Im vorliegenden Fall werden sämtliche Kriterien mit grosser Marge eingehalten. Der Vorwurf des Öko-Instituts ist nicht nachvollziehbar.

Aufgrund der Nachweise der Axpo kann ein betrieblich bedingtes Risswachstum der HAI ausgeschlossen werden. Trotzdem hat das ENSI sicherheitsgerichtet zur Bestätigung der Ergebnisse eine weitere Ultraschalluntersuchung der betroffenen Bereiche im Jahr 2022 angeordnet. Aufgrund des fehlenden Risswachstums ist ein früherer Untersuchungstermin wenig sinnvoll. Das Vorgehen entspricht dem Defence-in-depth-Prinzip in der Kerntechnik, wonach der bereits vorhandene Nachweis hier noch einmal mit einer davon unabhängigen Prüfung bestätigt wird.

3.7 Modellierung der HAI-Anzeigen als planare Materialfehler

Aussagen des Öko-Instituts

Eine rein theoretische Modellierung der HAI als planare Materialfehler – ohne beweissichernde Werkstoffprüfung – ist aus unserer Sicht nicht ausreichend validiert, risikobehaftet und in dieser Form auch nicht durch die Vorgaben des ASME-Codes abgedeckt. Es ist nicht mit der gebotenen extrem hohen Aussagesicherheit davon auszugehen, dass das Rissverhalten der HAI durch theoretische Modellierungen ausreichend charakterisiert werden kann. Die HAI waren jahrzehntelangen Alterungs- und Ermüdungsmechanismen ausgesetzt. Ein instabiles Rissverhalten in den Clusterbereichen kann nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden.

Bewertung des ENSI

Die Behauptung des Öko-Instituts, dass die Modellierung der HAI als planare Materialfehler – ohne beweissichernde Werkstoffprüfung – nicht durch die Vorgaben des ASME-Codes abgedeckt sei, ist unzutreffend. Das Gegenteil ist der Fall. Der ASME-Code fordert sogar explizit, dass nichtplanare Befunde in die Ebene mit der grössten Hauptspannung zu projizieren und als planare Fehler zu behandeln sind. Die Risspostulate wurden konservativ einhüllend aus den HAI generiert. Instabiles Risswachstum kann deshalb ausgeschlossen werden. Die Kritik des Öko-Instituts hierzu ist nicht nachvollziehbar.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

4 Root-Cause-Analyse (RCA)

4.1 Umfang der RCA

Aussagen des Öko-Instituts

Ein Vergleich der RCAs von Beznau 1 in Abbildung 3-3 mit denen von Tihange 2 und Doel 3 in Abbildung 3-4 zeigt, dass in der Schweiz die Einschlüsse hinsichtlich ihrer Entstehungsursache (endogen oder exogen) sowie ihrer Ausbildung (Schlackeneinschlüsse) stärker differenziert wurden und anstelle von Makrosegregationen sogenannte Bi-Films aufgeführt wurden. Bei den betriebsbedingten Materialfehlern ist in der Schweiz gegenüber der belgischen RCA noch der Effekt der Dekohäsion von Poren und Einschlüssen ergänzt worden. Hier zeigt sich, dass die RCA der RDB offenbar entsprechend den jeweils vermuteten Materialfehlern angepasst wurden.

Bewertung des ENSI

Es ist ureigenste Aufgabe der RCA basierend auf dem spezifischen Fertigungsprozess und den Befundinformationen mögliche Ursachen, seien sie betriebs- oder herstellungsbedingt, systematisch zu diskutieren. Dies kann sowohl aufgrund des Herstellungsprozesses als auch aufgrund der Befundsituation zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Befundsituation in Belgien und in der Schweiz war deutlich unterschiedlich, weshalb sich die in der Schweiz durchgeführte RCA von der belgischen RCA unterscheidet.

Die Kritik des Öko-Instituts am gewählten Vorgehen ist nicht nachvollziehbar.

4.2 Ursachen der Materialfehler

Aussagen des Öko-Instituts

Gemäß Abbildung 3-3 konnten zwei verbleibende Ursachen einer Entstehung der Materialfehler infolge des Leistungsbetriebs – Dekohäsion an Einschlüssen und Materialermüdung – von den Experten nur als sehr unwahrscheinlich eingestuft werden. Damit ist die Entstehung von Materialfehlern im Leistungsbetrieb nicht ausreichend sicher ausgeschlossen. Materialermüdung beim ältesten Druckwasserreaktor der Welt kann nicht sicher ausgeschlossen werden, insbesondere auch deshalb nicht, weil so gut wie keine Forschungsergebnisse zur Materialermüdung derart lange im Leistungsbetrieb befindlicher RDB vorliegen.

Das ENSI bestätigt, dass Ermüdungsschäden aufgrund thermomechanischer Belastungen im Leistungsbetrieb der einzige potenzielle Schadensmechanismus für eine Veränderung der Aluminiumoxideinschlüsse seien, hält eine Veränderung der Einschlüsse in Ring C im Leistungsbetrieb – ohne weitere Begründung – aber für ziemlich unwahrscheinlich. Auch der Terminus „ziemlich unwahrscheinlich“ zeigt, dass keine sichere Erkenntnis vorliegt.

Bewertung des ENSI

Der Einfluss von Dekohäsion an Einschlüssen und die Materialermüdung wurden von der Axpo untersucht. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass ein betrieblich bedingtes Risswachstum der HAI ausgeschlossen werden kann. Deshalb hält das ENSI eine Veränderung der Einschlüsse in Ring C im Leistungsbetrieb für ziemlich unwahrscheinlich. Trotzdem hat das ENSI sicherheitsgerichtet eine weitere Ultraschalluntersuchung der betroffenen Bereiche im Jahr 2022 angeordnet (ENSI 2018a).



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Ermüdung ist ein wesentlicher Alterungsmechanismus, der bei allen wechselnd belasteten Konstruktionen zu beachten ist. Daher ist Ermüdung auch grundsätzlich für den RDB zu betrachten und wurde selbstverständlich sowohl konstruktiv berücksichtigt als auch beim Safety-Case beachtet. Die thermomechanischen Spannungen werden durch in der Spezifikation festgelegte maximal zulässige Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten auf unschädliche Werte begrenzt. Die betrieblichen Beanspruchungen bleiben mit grossem Abstand unterhalb der zulässigen Werte aus der ASME-Designkurve (ENSI 2018a). Damit unterliegt der RDB weder *"hohen thermomechanischen Spannungen"* noch *"jahrzehntelanger betrieblicher Materialermüdung"*, wie von den Autoren wiederholt behauptet.

Bei Störfalltransienten kann ein ermüdungsrelevantes Beanspruchungsniveau grundsätzlich einmalig erreicht werden, jedoch fehlt es dann an der erforderlichen hohen Anzahl von Lastwechseln. Ermüdung kann daher, wie von der Axpo gezeigt und allseits akzeptiert, mangels Beanspruchungshöhe ausgeschlossen werden (ENSI 2018a).

Zurückzuweisen ist ferner auch die Behauptung *"Materialermüdung beim ältesten Druckwasserreaktor der Welt kann nicht sicher ausgeschlossen werden, auch deshalb nicht, weil so gut wie keine Forschungsergebnisse zur Materialermüdung derart lange belasteter RDB vorliegen."*

Ermüdung zählt zu den am besten untersuchten Schädigungsmechanismen überhaupt. Die Anzahl einschlägiger Publikationen ist vom Umfang kaum überschaubar. Seit mindestens Mitte der 1960er-Jahre ist bekannt, dass die Ermüdungsfestigkeit mit den statischen Festigkeitskennwerten, insbesondere mit der Zugfestigkeit korreliert ist. Auch hierzu gibt es eine Flut von Untersuchungen. Unter anderem wurde der Zusammenhang von Ermüdungsfestigkeit und statischen Festigkeitswerten extensiv an der Universität Darmstadt in den 1980er-Jahren untersucht.

Im Gegensatz zur Behauptung des Öko-Instituts ist die absolute Belastungsdauer bezüglich Ermüdung des RDB völlig unerheblich. Es kommt, da zeitabhängige Effekte wie Kriechen ausgeschlossen werden können, primär auf die Anzahl und Höhe der Lastzyklen an.

4.3 Diagnose Aluminiumoxideinschlüsse

Aussagen des Öko-Instituts

Die Herleitung der Diagnose Aluminiumoxideinschlüsse auf Basis der Ultraschallabbildungen wird allein mit der Lage der Anzeigen im unteren Bereich des Rings C nicht ausreichend plausibel begründet:

- *Nichtmetallische Einschlüsse, die beim Erstarrungsprozess im Rohgussteil nach unten sedimentieren, müssen nicht zwangsläufig aus Aluminiumoxid bestehen. Es gibt eine Vielzahl von sedimentierenden nichtmetallischen Einschlüssen. Diese treten in der Regel auch nie nur in einer Form auf.*
- *Aluminiumoxideinschlüsse oder andere Einschlüsse müssen nicht zwangsläufig durch Desoxidation entstanden sein, sondern könnten alternativ von der Feuerfestverkleidung des Gussbehälters in die Schmelze vagabundiert sein, ggfs. im Ultraschallbild ähnlich aussehen, aber andere Materialeigenschaften aufweisen.*
- *Aluminiumoxideinschlüsse sind in der Regel um Größenordnungen kleiner als die in Beznau detektierten Materialfehler. Nach Einschätzung des Expertengremiums IRP handelt es sich im Ring C von Beznau 1 offensichtlich um außergewöhnliche und in dieser Form bisher nicht aufgetretene Materialfehler. „Außergewöhnliche, in dieser Form bisher nicht aufgetretene Ma-*



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED] | [REDACTED]

terialfehler“ können auch von einem Ultraschall Experten nicht mit extrem hoher Aussagesicherheit einer Ursache zugeordnet und identifiziert werden, da ihm ausreichende Vergleichsmöglichkeiten fehlen dürften.

- *Nichtmetallische Einschlüsse, die in der Schmelze auf den Boden des Ingots sedimentieren, dürften keine Cluster bilden, da sich der Sedimentationskegel gleichmäßig ausbilden müsste. Die Bildung von über den Umfang ungleichmäßig ausgebreiteten extended areas (EA) ist hiermit nicht zu erklären.*

Bewertung des ENSI

Im Gegensatz zur Behauptung des Öko-Instituts erfolgte die Herleitung der Diagnose Aluminiumoxid-einschlüsse nicht allein auf Basis der Lage der Ultraschallanzeigen im unteren Bereich des Rings C. Die RCA stützt sich insbesondere auch auf die Untersuchungsergebnisse an der Replika ab. Diese haben klar gezeigt, dass die im Ring C festgestellten Ultraschallbefunde auf Konglomerate von Aluminiumoxideinschlüssen zurückgeführt werden können (ENSI 2018a)

Die oben aufgeführten Spekulationen des Öko-Instituts werden durch den Fertigungsprozess, die Detektierbarkeit mittels Ultraschall, die Anzeigenverteilung und die Untersuchungsergebnisse an der Replika nicht gestützt.

5 Repräsentativität der Materialproben

5.1 Herstellung der Replika

Aussagen des Öko-Instituts

Es gibt im gesamten nationalen und internationalen kerntechnischen Regelwerk keine Vorgaben zur Herstellung einer Replika und schon gar keine zur Beurteilung ihrer Repräsentativität. Demzufolge waren die Hersteller frei in der Vorgehensweise zu ihrer Herstellung und konnten alle gewünschten Maßnahmen für robuste Materialeigenschaften der Replika treffen, offenbar auch die Fertigungsverfahren teilweise abändern, so wie auch von ihnen bestätigt. Die seitens Axpo vorgelegten Nachweise zur Repräsentativität der Materialfehler in der Replika für die Materialfehler des RDB von Beznau 1 sind nicht ausreichend belastbar. Dies resultiert schon allein aus den mit Unsicherheiten behafteten Ultraschallergebnissen. Hiermit lässt sich nicht die extrem hohe Aussagesicherheit für die sicherheitsgerichtet nachzuweisende Repräsentativität der Replika erreichen, wie sie für den Sicherheitsnachweis des RDB unerlässlich ist.

Axpo musste zwingend nachweisen, dass die Aluminiumoxideinschlüsse keinerlei negative Auswirkungen auf das RDB-Material haben. Das Wunschergebnis der Einschlüsse, das die Replika liefern sollte, stand bereits vor ihrer Herstellung fest. Die mit der Herstellung befassten Firmen konnten somit zielstrebig auf die Erzeugung von Aluminiumoxidagglomeraten hinarbeiten, was sie nach eigenem Bekunden auch mit allen Mitteln betrieben haben. Ein solches Vorgehen entspricht nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik und ist nicht validiert.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Bewertung des ENSI

Mit der Herstellung einer Replika des betroffenen RDB-Rings C hat die Axpo ein neues Verfahren angewandt. Der Vorwurf des Öko-Instituts, dass es im gesamten nationalen und internationalen kerntechnischen Regelwerk keine Vorgaben zur Herstellung einer Replika gebe, ist jedoch offensichtlich falsch.

Bei der Herstellung einer Replika ist dasselbe Verfahren zugrunde zu legen wie beim Original (ENSI 2018a). Ansonsten wäre die Replika nicht repräsentativ. Demzufolge war der Hersteller der Replika auch nicht frei in der Vorgehensweise bei ihrer Herstellung. Zwar wurde bei der Herstellung in wenigen Punkten vom Herstellungsverfahren des Originals abgewichen, um genügend Aluminiumoxideinschlüsse im fertigen Bauteil zu erhalten. Trotzdem wurden bei der Herstellung der Replika alle Bestimmungen der Materialspezifikation eingehalten. Dies haben die anschliessenden zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfungen auch bestätigt.

Im Übrigen ist die Herstellung von Vergleichskörpern oder -komponenten sehr wohl in diversen internationalen Regelwerken vorgesehen. So werden beispielsweise repräsentative Vergleichskörper auch für den Eignungsnachweis von zerstörungsfreien Prüfungen gefordert (siehe z. B. KTA 3201.4 (KTA 2016)). Dabei sind die für das Nachweisziel relevanten Eigenschaften der Originalkomponente zu reproduzieren.

5.2 Repräsentativität der Replika

Aussagen des Öko-Instituts

Die von IRP vorgenommene Stellungnahme bestätigt Zweifel an der Eindeutigkeit der Repräsentativität der Replika, da andere Arten von Materialfehlern nicht vollständig ausgeschlossen werden können, zum Beispiel könne es sich auch um eine dichte Konzentration von Agglomeraten mit Rissen zwischen den Ligamenten handeln. Der Schluss, dass es keine Hinweise gäbe, dass die Replika nicht repräsentativ ist, ist somit nicht ausreichend. Wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Diagnosen falsch sind, werden die hohen Qualitätsanforderungen eines RDB-Sicherheitsnachweises nicht ausreichend und angemessen erfüllt.

Bewertung des ENSI

Die Schlussfolgerungen des IRP zur Repräsentativität der Replika (IRP 2018) werden vom Öko-Institut völlig verzerrt wiedergegeben. In Kapitel 3.3 seiner Stellungnahme hält das IRP diesbezüglich das Folgende fest:

“The reproduction of a 1960's forging, with the achievement of a close match between the chemical composition, mechanical properties, microstructure, UT signal, and inclusion characteristics of Replica C and Shell C, is evidence of the today's high level of technical understanding and practice of steelmaking and forging. Most importantly, it shows that the aim of producing a surrogate material was achieved very successfully.

The IRP considers that Replica C is representative of Shell C in respect of the purposes for which it has been used in the Safety Case, in particular:

- It confirms the root cause of the indications.
- It provides suitable material to investigate the effect of alumina agglomerates on materials properties in the most critical areas of the RPV.
- It provides suitable material for validating the UT procedure.”



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Die Bewertung des IRP bestätigte die Repräsentativität der Replika eindeutig. Sie bestätigte auch die Repräsentativität der Probekörper für den allergrössten Teil der befundbehafteten Bereiche. Die vom Öko-Institut angesprochenen Unsicherheiten beziehen sich auf die HAI-Anzeigen. Diese wurden, wie in den vorangehenden Kapiteln 2.4 bis 2.7 dargelegt, durch sehr konservative Risspostulate als zulässig nach den national und international anerkannten Regelwerken nachgewiesen.

6 Auswertung der Materialproben

6.1 Unbestrahlte Originalproben

Aussagen des Öko-Instituts

Die Untersuchung weniger Originalproben des RDB-Materials mit einzelnen kleinen Einschlüssen hat gezeigt, dass nicht nur Aluminiumoxideinschlüsse, sondern auch langgezogene Magnesiumsulfiteinschlüsse, langgezogene Aluminiumoxideinschlüsse und Magnesiumsulfiteinschlüsse in Kombination mit Calcium und feinen globularen Aluminiumoxideinschlüssen im Originalmaterial vorhanden waren. Somit ist die Diagnose der Axpo, dass es sich bei den Einschlüssen im RDB nur um Aluminiumoxideinschlüsse handele, als mit hoher Sicherheit unzureichend zu bewerten. Es muss somit davon ausgegangen werden, dass die Ultraschallanzeigen nicht ausschließlich Aluminiumoxideinschlüsse wiedergeben, sondern auch andere wie beispielsweise Magnesiumsulfiteinschlüsse.

*Angesichts der rein bildgebenden Darstellungsweise sowie der Detektiergrenzen, die das Ultraschallverfahren bietet, dürfte eine präzise Unterscheidung der verschiedenen Arten an nichtmetallischen Einschlusskombinationen eher unwahrscheinlich sein. Dies unterstreicht auch die Bewertung aus Kapitel 4.2, dass die Herstellung der Replika insofern nicht ausreichend repräsentativ ist und ihre Materialproben weder für die Qualifizierung des Ultraschallverfahrens noch für den Materialzustand des Reaktor-
druckbehälters herangezogen werden dürfen.*

Bewertung des ENSI

Das Öko-Institut postuliert, dass die Ultraschallanzeigen nicht ausschliesslich Aluminiumoxideinschlüsse wiedergeben, sondern auch andere wie beispielsweise Magnesiumsulfiteinschlüsse.

Wer sich auch nur am Rande mit RDB-Stählen des Typs A508 befasst hat, weiss, dass das Vorhandensein von Magnesiumsulfiteinschlüssen in solchen Stählen gleich aus dreifachen Gründen unmöglich ist. Erstens sind Sulfid-Einschlüsse in Stahl wegen ihrer thermischen Unbeständigkeit bei hohen Temperaturen gänzlich unbekannt. Zweitens enthalten Stähle des Typs A508 kein Magnesium als Legierungs- oder Begleitelement. Und falls drittens trotzdem Spuren von Magnesium in der Schmelze vorhanden wären, würde das Magnesium sofort oxidieren und somit keine Sulfite bilden.

Es kann deshalb nur vermutet werden, dass die Autoren der Öko-Institut-Studie (Mohr & Küppers 2019) Mangansulfid mit Magnesiumsulfid verwechselt haben. Ein Flüchtigkeitsfehler kann nicht als Entschuldigung für die Verwechslung herangezogen werden. Dies weil an insgesamt neun Stellen in der Öko-Institut-Studie explizit auf Magnesiumsulfid (also $MgSO_3$) anstatt auf Mangansulfid (MnS) verwiesen wird.

Für jede Fachperson ist die Verwechslung von Magnesium mit Mangan, sowie von Sulfid mit Sulfit unverzeihlich und stellt die Glaubwürdigkeit der Studie des Öko-Instituts gesamtheitlich in Frage.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Unabhängig von der symptomatischen Verwechslung von Magnesiumsulfid mit Mangansulfid zielt die Kritik des Öko-Instituts, wonach eine präzise Unterscheidung der verschiedenen Arten an nichtmetallischen Einschlusskombinationen mittels Ultraschallverfahren nicht möglich sei, ins Leere.

Es ist hinreichend bekannt, dass die in üblicher Ausprägung in Stählen vorhandenen nichtmetallischen Einschlüsse die mechanischen Eigenschaften nicht in unzulässiger Weise beeinträchtigen. Deshalb werden sehr kleine Reflektoren bei der Ultraschallprüfung im Rahmen der Qualitätssicherung nach der Herstellung als nicht relevant eingestuft. Die umfangreichen Materialuntersuchungen der Axpo haben gezeigt, dass sowohl die mithilfe von Ultraschall detektierten Aluminiumoxid-Konglomerate als auch die übrigen nichtmetallischen Einschlüsse keinen negativen Einfluss auf die Materialeigenschaften haben und auch das Verhalten der Werkstoffmatrix keine Veränderungen zeigt (ENSI 2018a).

6.2 Verwendung von Replika-Material

Aussagen des Öko-Instituts

Die für den Sicherheitsnachweis des RDB von Beznau 1 vorgenommenen Analysen und Materialuntersuchungen wurden wesentlich mit Replika-Material durchgeführt. Damit war AXPO nicht in der Lage,

- Sprödbruchreferenztemperaturen anhand von Originalproben mit vergleichbaren Materialfehlern zu ermitteln,*
- Auswirkungen der Neutronenstrahlung auf die Materialfehler und ihre umgebende Matrix im Ring C nach nahezu 50 Jahren Leistungsbetrieb zu analysieren,*
- Auswirkungen von Materialermüdung auf die Materialfehler und ihre umgebende Matrix im Ring C in nahezu 50 Jahren Leistungsbetrieb bei hohen Temperaturen und Drücken sowie Lastwechseln auszuschließen.*

Bewertung des ENSI

Das Öko-Institut negiert pauschal und ohne weitere Begründung die Aussagekraft aller Materialuntersuchungen mit Replika-Material. Die im Rahmen des Sicherheitsnachweises durchgeführten, umfangreichen Untersuchungen zur Auswirkung der Neutronenstrahlung auf die Materialfehler und ihre umgebende Matrix (ENSI 2018a) werden ohne Begründung ignoriert.

Ziel der Materialuntersuchungen mit Replika-Material war die Fragestellung, ob und wie in den Bereichen mit Einschlussclustern die Festigkeitseigenschaften (insbesondere die Bruchzähigkeit) sowie das Versprödungsverhalten des Materials verändert ist (ENSI 2018a). Die Versprödung hängt primär von der chemischen Zusammensetzung und sekundär von mikrostrukturellen Eigenschaften des Werkstoffes ab. Das Replika-Material wurde auch vergleichend mit dem Originalmaterial des sogenannten Akzeptanzringes des Rings C und mit Replika-Material ohne Einschlusscluster untersucht. Dabei wurden keine auffälligen Abweichungen der chemischen Zusammensetzungen, der Mikrostruktur und der Härteverläufe festgestellt. Da die Rissinitiierung nachweislich nicht an den Al_2O_3 -Einschlüssen erfolgt, und Struktureffekte durch die Werkstoffuntersuchungen ausgeschlossen werden konnten, ist für das Versprödungsverhalten nur das Matrixmaterial relevant. Die wichtige Erkenntnis aus den Untersuchungen war, dass die Al_2O_3 -Cluster, wie sie im Ring C vom KKB noch vorhanden sind, und die sie umgebende Matrix keine stärkere Versprödungswirkung verursachen als durch die Voreilproben des Originalmaterials abgedeckt ist. Dasselbe gilt für die Auswirkungen von Materialermüdung auf die Materialfehler und ihre umgebende Matrix. Wie bereits unter 4.2 dargelegt, kann Ermüdung ausgeschlossen werden.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED]

Aufgrund der fehlenden Begründung haben die vom Öko-Institut vorgebrachten Argumente den Status von blossen Behauptungen.

6.3 Untersuchungsergebnisse der Replika-Materialproben

Aussagen des Öko-Instituts

Die Materialuntersuchungen unterschiedlich grosser Materialproben der Replika zeigten nicht kompatible Untersuchungsergebnisse und ein signifikant grosser Anteil der Replikamaterialproben lag unterhalb der 95 %-Bandbreite der Master Curve. Beide Phänomene konnten von Axpo auch nach vertieften weiteren Analysen nicht mit hoher Aussagesicherheit und eindeutig erklärt werden. Dies weist ggf. darauf hin, dass die Untersuchungsbedingungen nicht richtig gewählt wurden, insbesondere durch die mehrheitliche Verwendung von zu kleinen C(T)-12,5 mm-Materialproben. Nachträgliche Erklärungen seitens Axpo, wenn das Ergebnis nicht plausibel war, mögen richtig sein, müssen es aber nicht. Gleichzeitig wurden die Ergebnisse der Materialuntersuchungen jedoch verwendet, wenn diese die erwünschten Aussagen untermauerten. Eine solche Vorgehensweise entspricht nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Bewertung des ENSI

Die Untersuchungsergebnisse der Replika-Materialproben wurden sowohl vom ENSI als auch vom IRP im Detail geprüft. Die Ergebnisse der Prüfungen wurden in den Stellungnahmen der beiden Gremien dargelegt und begründet (ENSI 2018a und IRP 2018). In Zweifelsfällen wurde eine konservative Betrachtungsweise gewählt.

Der nicht näher begründete, pauschale Vorwurf des Öko-Instituts, dass die am Ende von IRP und ENSI akzeptierte Bewertung der Axpo nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprochen habe, wird, gestützt auf die genannten umfangreichen Darlegungen in den Stellungnahmen des ENSI und des IRP, zurückgewiesen.

6.4 Unsicherheiten bei der Bestimmung der Materialeigenschaften

Aussagen des Öko-Instituts

Die Bewertungen des IRP weisen darauf hin, dass sich auch das internationale Expertengremium nicht sicher war, dass die Auswertung der Materialproben eindeutig ergeben hat, dass die im RDB vorhandenen Materialeinschlüsse keine Auswirkungen auf das Materialverhalten des RDB haben. Dies wird einerseits an der verwendeten Sprachwahl erkennbar. Die Ausdrücke „keine Anhaltspunkte“, „einigermaßen zuversichtlich“, „höchstwahrscheinlich korrekt“ sowie „relativ niedrige technische Wichtigkeit aufgrund der Unwahrscheinlichkeit“ sind für die Bewertung eines Sachverhaltes, der den Sicherheitsnachweis eines Reaktordruckbehälters betrifft, nicht angemessen. Andererseits müssen nach Stand von Wissenschaft und Technik alle Unsicherheiten, die bei einer Bewertung zu berücksichtigen sind, definiert und beziffert werden. Zu den auszuweisenden Unsicherheiten finden sich aber weder beim IRP noch bei AXPO oder dem ENSI belastbare Angaben.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Bewertung des ENSI

Das Öko-Institut versucht mit semantischen Spitzfindigkeiten zu suggerieren, dass das IRP nicht sicher war, ob die Bewertung eindeutig ergeben hat, dass die im RDB vorhandenen Materialeinschlüsse keine negativen Auswirkungen auf das Materialverhalten des RDB haben.

Diese Behauptung wird durch die Kernaussage des IRP zum Sicherheitsnachweis (IRP 2018) klar widerlegt:

“The IRP considers that the Axpo Safety Case is acceptable. This is based on the following:

- It has been established beyond all reasonable doubt that the flaws are laminar ‘agglomerates’ of alumina inclusions, formed during manufacture of the affected RPV shells, and which neither formed nor grew during service.
- It has been adequately demonstrated that such agglomerates do not significantly affect the materials properties relevant for structural integrity assessment or sensitivity to irradiation damage.
- The ultrasonic testing carried out on the RPV was sufficient to ensure that all flaws that might significantly affect structural integrity were detected and conservatively assessed.
- A fracture mechanics assessment of the flaws, using highly conservative assumptions, demonstrated that the case is robust.”

6.5 Weitere Versagensmechanismen

Aussagen des Öko-Instituts

Die Bewertungen des IRP können einen weiteren Versagensmechanismus im Material des Reaktor-druckbehälters nicht vollständig ausschließen. Sie stufen ihn aber aufgrund seiner Unwahrscheinlichkeit als technisch relativ unwichtig ein. Allerdings wird dies nicht weiter erläutert. Bereits in (Öko-Institut e.V. 2017) hat das Öko-Institut auf der Basis von Literaturangaben der IAEA darauf hingewiesen, dass mit dem Korngrenzenbruch auch ein anderer Versagensmechanismus als der Spaltbruch für ein Integritätsversagen des RDB beim Integritätsnachweis zu berücksichtigen ist. Danach haben die wenigen Forschungsarbeiten zu versprödeten RDB gezeigt, dass insbesondere bei intensiv bzw. lange bestrahlten und thermisch ermüdeten RDB ein zunehmend unkontrolliertes Rissverhalten im Werkstoff nicht vollständig auszuschließen ist. In einem solchen Fall könnte das Werkstoffverhalten nicht mehr mit dem Master Curve Verfahren beschrieben werden.

Bewertung des ENSI

Gemäss Öko-Institut ist die Anwendung der Master Curve dann in Frage zu stellen, wenn andere Bruchmechanismen als der transgranulare Spaltbruch das Sprödbbruchverhalten beeinflussen.

Dies ist unzutreffend. Grundsätzlich handelt es sich beim Master-Curve-Konzept nicht um ein mechanismenbasiertes, sondern um ein rein phänomenologisches Nachweiskonzept. Es setzt daher nicht zwingend einen spezifischen Bruchmechanismus voraus.

Mit Verweis auf (Pistner & Mohr 2017) referenzieren die Autoren auf den IAEA TECDOC 1631 (IAEA 2009). Der IAEA TECDOC 1631 gibt einen guten Überblick über den Stand der Technik bis ca. 2008 und die Vorteile der MC-Methode gegenüber der älteren Charpy-Methode. Die Autoren zitieren selektiv



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

aus einem relativ kurzen Abschnitt, in welchem Anwendungsgrenzen der Master-Curve-Methodik diskutiert werden. In einigen wenigen Fällen wurden Daten bestimmt, welche von der Form der Master Curve abweichen. Man erwartet, dass diese Abweichungen mit interkristallinem Sprödbbruch (IGF) einhergehen. Beobachtet wurden solche Effekte bei Werkstoffen mit extrem hohen Sprödbbruchübergangstemperaturen. Andererseits wird betont, dass IGF nicht notwendigerweise zur Verletzung der Anwendungsvoraussetzungen der Master Curve führen muss.

Für den Beznau Safety Case ist die IGF-Problematik von keinerlei Relevanz. Bis zu Sprödbbruchübergangstemperaturen von 100 °C ist der Effekt gemäss IAEA TECDOC 1631 vernachlässigbar – Werte die in Beznau nicht erreicht werden. Des Weiteren stützt sich der Safety Case auf die Methode IIB der Richtlinie ENSI-B01 (ENSI 2011) ab. Die Master Curve wird dabei ausschliesslich an unbestrahltem, nicht versprödetem Material angewandt. Die strahlungsinduzierte Verschiebung der Sprödbbruchtemperatur wird weiterhin mit Kerbschlagversuchen ermittelt. Die Einwände des Öko-Instituts gehen daher am Thema vorbei.

6.6 Methode zur Ermittlung der Sprödbbruchreferenztemperatur

Aussagen des Öko-Instituts

Die Materialtests zur Ermittlung der Sprödbbruchreferenztemperatur verdeutlichen sowohl bei den Akzeptanzproben als auch bei der Replika, dass die Sprödbbruchreferenztemperatur mit dem Master Curve Verfahren nicht so eindeutig ermittelt werden kann, wie es wünschenswert bzw. der Sicherheitsrelevanz dieser wichtigen Kenngröße angemessen wäre. So wurden im Lauf der Materialtests eine Tiefenabhängigkeit innerhalb des Gussmaterials, eine erhebliche Relevanz der Probengröße und auch Unterschiede in Abhängigkeit von der Versuchstemperatur der Proben festgestellt. Schwankungsbreiten von -35,5 °C bei der Beprobung unterschiedlicher Probengrößen sowie auch von 12±6 °C trotz gleicher Probengröße und Temperatur disqualifizieren die Master Curve Methode IIA insgesamt für die hohe, in diesem Fall erforderliche Aussagesicherheit. Auch die SINTAP-Methode für die Behandlung von Inhomogenitäten muss hier als „nicht aussagekräftig“ bewertet werden.

Bewertung des ENSI

Die an dieser Stelle vorgebrachte Kritik des Öko-Instituts an den Materialtests zur Ermittlung der Sprödbbruchreferenztemperatur ist sprachlich nur schwer verständlich. Obwohl es sich um ein Schmiedestück handelt, wird von Gussmaterial gesprochen. Weiter wird der T_0 -Wert des unbestrahlten RDB-Materials von -35,5 °C als "Schwankungsbreite" bezeichnet. Beide Aussagen sind klar falsch. Die von der Axpo durchgeführten Materialtests zur Ermittlung der Sprödbbruchreferenztemperatur wurden sowohl vom ENSI als auch vom IRP im Detail geprüft. Die Ergebnisse der Prüfungen wurden in den Stellungnahmen der beiden Gremien dargelegt und begründet (ENSI 2018a und IRP 2018).

Die Kritik des Öko-Instituts an der Methode IIA und der SINTAP-Methode sind gegenstandslos. Im Gegensatz zu den Behauptungen des Öko-Instituts wurden weder die Methode IIA noch die SINTAP-Methode für den abschliessenden Sicherheitsnachweis kreditiert. Die Akzeptanz durch das ENSI und das IRP stützt sich auf die konservativeren und besser abgesicherten Ergebnisse der Methode IIB.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED] [REDACTED]

6.7 Sprödbruchreferenztemperatur T_0 des unbestrahlten RDB-Materials

Aussagen des Öko-Instituts

Sehr unverständlich wird in diesem Zusammenhang die ENSI-Entscheidung, trotz selbst eingeräumter unzureichender Konservativität des Verfahrens den bei den Akzeptanzmaterialproben ermittelten T_0 -Wert von $-35,5^\circ\text{C}$ offiziell für den Ring C des RDB von Beznau 1 anzuerkennen. Mittels Charpy-Methode waren für den Ring C des RDB ehemals -1°C angesetzt worden, für den Langzeitsicherheitsnachweis wurden in (Axpo 2011), Seite 14, für das Master-Curve Verfahren -16°C festgelegt. Die ENSI-Entscheidung stellt eine unbegründete Erlaubnis zur Reduzierung der Sicherheitsmargen um nahezu -20°C dar.

Bewertung des ENSI

Aufgrund der Ausführungen des Öko-Instituts kann auf ein mangelndes Verständnis der Master-Curve-Methode geschlossen werden. Im obenstehenden Text werden zum wiederholten Male die Vorteile der genaueren, direkten Master-Curve-Methode gegenüber der indirekten Charpy-Methode in Abrede gestellt. Dabei werden die T_0 - resp. RT_{ref} -Werte des unbestrahlten Original-RDB-Materials vermischt. Bei den $-35,5^\circ\text{C}$ handelt es sich um den T_0 -Wert, welcher aus CT-25-Proben des unbestrahlten Original-RDB-Materials ermittelt wurde, während der Wert von -16°C die hierzu gehörige Temperatur RT_{ref} ist.

Es trifft somit nicht zu, dass das ENSI den mittels Akzeptanzmaterialproben ermittelten T_0 -Wert von $-35,5^\circ\text{C}$ für den Ring C des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1 als unzureichend konservativ betrachtet. Die Differenz von rund 20°C stellt keine Reduktion von Sicherheitsmargen dar. Im Gegenteil: T_0 und RT_{ref} sind schlicht und einfach zwei verschiedene Parameter.

Für die Hintergründe der Unterschiede der Parameter (auch bezüglich des Basiswertes von -1°C der Charpy-Methode) wird auf die Richtlinie ENSI-B01 (ENSI 2011) und einschlägige Literatur verwiesen.

7 Sicherheit des Integritätsnachweises

Bezeichnend für die Qualität der vorliegenden Studie des Öko-Instituts ist, dass unter dem Titel "Sicherheit des Integritätsnachweises" Argumente der vorhergehenden Kapitel wiederholt werden, welche nicht in direktem Zusammenhang mit dem Integritätsnachweis des RDB stehen.

Im Folgenden wird deshalb nur auf die neu vorgebrachten Argumente zum Integritätsnachweis eingegangen. Bezüglich der Wiederholungen von Argumenten wird auf die vorangehenden Kapitel verwiesen.

7.1 Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur

Aussagen des Öko-Instituts

Die herkömmliche Methode I zur Ermittlung der Sprödbruchreferenztemperatur als Kenngröße für die Widerstandsfähigkeit des RDB reichte 2011 nicht mehr aus, um den Thermoschocknachweis zu führen. Restriktiver als das UVEK-Außerbetriebnahmekriterium fordert der Thermoschocknachweis von Beznau 1, dass bereits an der Innenkante des RDB 93°C einzuhalten sind (und nicht in $\frac{1}{4}$ Wandtiefe des RDB wie bei UVEK). Das ENSI führte daraufhin 2011 das neue Master-Curve-Verfahren ins Regelwerk (ENSI 2011) ein, die sogenannte Methode II in den Varianten A und B.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Hiermit konnte AXPO den PTS-Nachweis doch noch erbringen. Während mit Methode I $RT_{ref} = 96\text{ °C}$ an der lokal relevantesten Stelle des Rings C erreicht wurde, ermittelte man mit Methode IIB noch $RT_{ref} = 89\text{ °C}$ und mit IIA $RT_{ref} = 83\text{ °C}$. An diesen Werten hat sich offenbar seit 2011 nichts geändert.

[...]

Die Ausführungen des IRP in 6.1.3 beurteilen die Auswertung des Probensatzes T mit der Master Curve Methode IIA gemäß Abbildung 6-2 allerdings als nicht ausreichend konservativ. Sie plädieren für die Verwendung der Master Curve Methode IIB als zielführender als die Methode IIA, da hiermit vermieden werde, dass man von kleineren Materialproben bei der Ermittlung der Bruchfestigkeit Kredit nehmen müsse, wie beispielsweise den zerstörten Proben des letzten Voreilprobensatzes T von Beznau 1, der zu nicht konservativen Werten führen könnte im Vergleich zu konventionellen 1T-CT Proben. Das ENSI fordert in 6.1.2 ebenfalls die Auswertung nach Methode IIB. Die Sicherheitsmargen der Sprödbruchreferenztemperatur für die Einhaltung des UVEK-Kriteriums betragen somit gemäß richtiger Abbildung 6-3 nur 10 °C (54 VLJ in $\frac{1}{4} T$) und für das PTS-Kriterium noch ganze 4 °C (54 VLJ Innenwand).

Die Inanspruchnahme der Master-Curve Methode IIA ist somit für die Prognose der zukünftigen Versprödung des RDB als eine Reduzierung von Sicherheitsmargen anzusehen, die für Beznau 1 als unangemessen zu bewerten ist, da hierfür keine ausreichend großen Materialproben in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen.

Bewertung des ENSI

Die Auswertung der klassischen Kerbschlagbiegeversuche – also der Methode I der Richtlinie ENSI-B01 (ENSI 2011) – führt zu sehr konservativen Resultaten, weil die Methode auf rein empirischen Grundlagen beruht und deshalb grosse Sicherheitszuschläge angewandt wurden. Diese hohen Sicherheitszuschläge sind notwendig, um nicht quantifizierbare Unsicherheiten der Methode abzudecken. Die beiden moderneren Methoden II-A und II-B der Richtlinie ENSI-B01 basieren hingegen auf bruchmechanischen Versuchen und erlauben eine direkte Übertragbarkeit der Bruchzähigkeit auf das Bauteil. Die mithilfe der beiden Methoden des Typs II abgeleiteten Aussagen zum wirklichen Zustand des Stahls des Reaktordruckbehälters sind deshalb genauer.

Die Behauptung des Öko-Instituts, die Anwendung der Master-Curve-Methode reduziere die Sicherheitsmargen, ist unzutreffend. IAEA TECDOC 1631 (IAEA 2009) hält hierzu explizit fest: "The Master Curve approach for assessing the fracture toughness of a sampled irradiated material has been gaining acceptance throughout the world. This direct measurement of fracture toughness approach is technically superior to the correlative and indirect methods used in the past to assess irradiated RPV integrity."

Die Unterstellung des Öko-Instituts, dass die Master-Curve-Methode im Jahr 2011 ins ENSI-Regelwerk aufgenommen wurde, damit Beznau 1 den Thermoschocknachweis erbringen konnte, wird zurückgewiesen. Vielmehr wurde damit den gesetzlichen Anforderungen zur angemessenen Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik nachgekommen. Die Master-Curve-Methode hat inzwischen in fast allen relevanten Bruchmechanikrichtlinien sowie kerntechnischen Regelwerken Einzug gehalten. Unter anderem wurde sie 2001 in die KTA 3203 (KTA 2017a) und 2013 in die KTA 3201.2 (KTA 2017b) aufgenommen. Schliesslich ist im Jahr 2017 die KTA 3203 überarbeitet worden und die Anwendung der MC-Methode nochmals detaillierter geregelt worden. In der aktuellen KTA 3203 sind jetzt zwei Varianten enthalten, die mit den Methoden II-A und II-B der Richtlinie ENSI-B01 vergleichbar sind.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel:	Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter:	20.05.2020 / [REDACTED] [REDACTED]

Es ist zutreffend, dass das ENSI von der Axpo verlangt hat, die konservativere Methode II-B anzuwenden. Hauptgrund ist die bessere statistische Belegung durch eine höhere Anzahl an vorhandenen Werkstoffproben gegenüber der Methode II-A. Die Methode II-B ist eine Kombination aus Master Curve im unbestrahlten Ausgangszustand und Kerbschlagbiegeproben aus der Methode I zur Bewertung des Versprödungseinflusses. Die Anwendung der Methode II-B wurde auch vom internationalen Expertengremium IRP empfohlen.

Nichtzutreffend ist die Aussage des Öko-Instituts, wonach die weniger konservative Master-Curve-Methode II-A für die Prognose der zukünftigen Versprödung des RDB in Anspruch genommen werde. Der Sicherheitsnachweis basiert auf Methode II-B.

7.2 Bruchmechanischer Nachweis zur Strukturintegrität des RDB

Aussagen des Öko-Instituts

Der bruchmechanische Nachweis zur Strukturintegrität des RDB basiert jedoch auf Annahmen, die nicht ausreichend sicher belegt wurden. Bei den Materialfehlern im RDB soll es sich um Aluminiumoxideinschlüsse und Aluminiumoxidagglomerate handeln, wie in der Replika gefunden. Allerdings wurden in den Original-RDB-Materialproben auch Magnesiumsulfiteinschlüsse und Magnesiumsulfiteinschlüsse in Kombination mit Calcium und feinen globularen Aluminiumoxideinschlüssen in Form von Kügelchen gefunden. Auch bei den HAI wird offenbar nicht ausgeschlossen, dass diese auch aus anderen Einschlüssen bestehen, da diese nicht ausreichend konservativ identifiziert werden konnten aufgrund fehlender Materialproben. Die Repräsentativität der Replika muss somit in Zweifel gezogen werden, da der Ultraschall keine genaue Differenzierung zwischen Aluminiumoxideinschlüssen und anderen Einschlüssen gewährleistet. Alle Materialtests mit der Replika sind damit nicht repräsentativ für Ring C.

Bewertung des ENSI

Wie in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt konnte die Repräsentativität der Replika eindeutig bestätigt werden. Damit sind auch die vielen Materialproben, die aus den unterschiedlichsten Zonen der Replika genommen wurden, repräsentativ für die Bewertung der Werkstoffmatrix. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass in all diesen Zonen ausser üblichen Streuungen keine signifikanten Veränderungen des Verhaltens der Werkstoffmatrix festgestellt werden können. Daran ändern allfällig vorhandene nichtmetallischen Einschlüsse nichts. Die Werkstoffuntersuchungen haben gezeigt, dass in beiden Materialien dieselben nichtmetallischen Einschlüsse zu finden sind.

Die einzigen Bereiche, welche nicht vollständig durch Materialproben erfasst wurden, sind die HAI-Bereiche. Um jeden Zweifel auszuschliessen, wurde deshalb die Strukturintegrität im Bereich all dieser HAI-Anzeigen mit konservativ einhüllenden Risspostulaten bruchmechanisch bewertet. Diese konservative Annahme stellt den ungünstigsten Fall dar und deckt alle vom Öko-Institut vorgebrachten Unsicherheiten ab.

7.3 Akzeptanzkriterien für hohe Befunddichten

Aussagen des Öko-Instituts

Für die hohe Dichte und die Art der Einschlüsse gibt es im amerikanischen Regelwerk ebenso wie in anderen internationalen Regelwerken keine ausreichenden Vorgaben. AXPO bzw. die von AXPO be-



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

auftragten kerntechnischen Unternehmen mussten neue Akzeptanzkriterien entwickeln. Eine ausreichende Validierung der Vorgehensweise, wie sie nach den strengen Regeln des ASME-Codes zu erfolgen hat sowie Belege aufgrund von Praxiserfahrungen sind somit nicht möglich.

Bewertung des ENSI

Es trifft zu, dass die Axpo die Anwendung alternativer Akzeptanzkriterien für nahe beieinanderliegende Befunde vorgeschlagen hat. Sie zeigen die hohen Konservativitäten in den ursprünglichen Regeln im Rahmen der Margin-Analysen auf. Die vorgeschlagenen neuen Akzeptanzkriterien sind des Weiteren mit Wirkung vom 30.06.2017 offizieller Bestandteil des ASME-Codes und somit zum Abschluss des Safety Cases vollkommen konform zum ASME-Code gewesen (ASME 2017b).

Für den Sicherheitsnachweis wurden die alternativen Akzeptanzkriterien für nahe beieinanderliegende Befunde nicht kreditiert. Stattdessen wurde er mit den sehr konservativen klassischen Methoden des ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI (ASME 2017a) geführt. Die Kritik des Öko-Instituts ist somit in zweierlei Hinsicht nicht relevant.

7.4 Einfluss von Strahlung und Ermüdung

Aussagen des Öko-Instituts

Anders als die Replika wurde der RDB von Beznau 1 über fast 50 Jahre in langen Phasen extrem hoch bestrahlt und gleichzeitig auch hohen materialermüdenden Belastungen und Lastwechseln ausgesetzt. Möglicherweise änderte sich auch das Sprödbruchverhalten des Werkstoffs vom Spaltbruch hin zu intergranularem Sprödbruch (IGF), siehe (Öko-Institut e.V. 2017), Kapitel 9.1.2.3. Durch derartige Prozesse stattfindende Materialdegradationen spiegeln sich auch in den Materialeigenschaften wieder. Nichtmetallische Einschlüsse, die gegebenenfalls ihrerseits noch kleine frei bewegliche Kügelchen enthalten, interagieren mit ihrer umgebenden Matrix. Die Übertragbarkeit der Materialeigenschaften einer frisch hergestellten Replika auf den RDB muss als unsicher in der Aussage bewertet werden.

Bewertung des ENSI

Die Bestrahlung des RDB führt zur Versprödung seines Materials. Die Vorgänge und Einflussgrößen der Materialversprödung des Reaktor-druckbehälters sind gut bekannt. Ein wichtiger Faktor sind die Anteile von Kupfer, Nickel, Phosphor, Mangan, Schwefel und Vanadium in der Stahlzusammensetzung. In mikroskopischen Untersuchungen am Replika-Material konnte gezeigt werden, dass sowohl in der unmittelbaren Nähe als auch in den Bereichen zwischen den Aluminiumoxid-Einschlüssen keine Anreicherung versprödungsfördernder Elemente vorkommt. Aufgrund dieser Untersuchungen konnte ausgeschlossen werden, dass in den Bereichen mit Aluminiumoxid eine erhöhte Versprödung auftritt (ENSI 2018a).

Zum mit Verweis auf die Publikation (Pistner & Mohr 2017) aufgeführten alternativen Bruchverhalten wurde bereits unter 6.5 Stellung genommen.

Der Einfluss von potentiellen materialermüdenden Belastungen und Lastwechseln wird im Rahmen der Risswachstumsanalysen der bruchmechanischen Nachweise behandelt. Beide vom Öko-Institut angesprochenen Phänomene wurden somit beim Sicherheitsnachweis des RDB von Beznau 1 berücksichtigt.

Auch die Ausführungen zum Einfluss der nichtmetallischen Einschlüsse sind unzutreffend. Frei bewegliche oder nur lose mit der Matrix verbundene Einschlüsse interagieren nicht mit ihrer umgebenden



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Matrix. Vielmehr verhalten sich solche Einschlüsse eher wie Mikroporen. Dagegen interagieren fest eingebettete Einschlüsse mit der Matrix, was eine Rissinitiation bewirken kann. Am speziell daraufhin untersuchten Matrixverhalten wurden aber keinerlei Veränderungen festgestellt (ENSI 2018a).

7.5 Methodik der Einzelrissnachweise

Aussagen des Öko-Instituts

Die Methodik Einzelrissnachweise der HAI ist neu und nicht ausreichend validiert.

Bewertung des ENSI

Die Aussage ist so pauschal nichtzutreffend. Die im Nachweis verwendete Methodik, Anzeigen zerstörungsfreier Prüfungen konservativ einzuhüllen und als Riss zu modellieren, ist eine übliche konservativ abdeckende Standardvorgehensweise der Befundbewertung (ASME 2017a).

7.6 Ausweisung von Unsicherheiten und Konservativitäten

Aussagen des Öko-Instituts

Unsicherheiten bei der Nachweisführung sind auszuweisen und hinsichtlich ihrer Größenordnung zu quantifizieren und mit bestehenden Konservativitäten des Nachweises abzugleichen. Weder AXPO noch das IRP widmen sich diesem Thema.

Das ENSI räumt hierbei weitere Reduzierungen von Sicherheiten ein:

- *Die größten und intensivsten Ultraschallanzeigen, die für den Thermoschocknachweis relevant sind, konnten nicht ausreichend konservativ identifiziert werden. Diese wurden stattdessen mit einem neuen nicht verifizierten Verfahren modelliert und analytisch betrachtet.*
- *Es wurden neue, vom amerikanischen Regelwerk des ASME-Codes nicht abgedeckte Vorgehensweisen in Anspruch genommen. Die ASME Code Vorgaben seien zu konservativ gewesen (oder mit anderen Worten: mit diesen Vorgaben war der Sicherheitsnachweis nicht führbar). Diese neuen Vorgehensweisen wurden von der Firma AREVA entworfen und nur ein Teil hiervon - nämlich die numerischen Simulationen - wurden vom Fraunhofer Institut verifiziert.*
- *Die thermohydraulischen Belastungen des Thermoschocknachweises konnten noch nicht validiert werden.*

Die einzige Erhöhung der Sicherheitsmargen, die durch die Beheizung des Raums mit dem Notkühlwasserreservoir erfolgen soll, muss als wenig relevant bewertet werden, da hierdurch der notwendige Kühleffekt für die Störfallbeherrschung – und damit die Sicherheit an anderer Stelle - reduziert wird.

Bewertung des ENSI

Unter der Kapitelüberschrift "Demonstration of conservatism and of the margins of the SIA" wird in der ENSI-Stellungnahme zum Axpo-Sicherheitsnachweis (ENSI 2018a) eine Bewertung der Konservativitäten und der Margen der Strukturintegrität-Analysen (SIA) vorgenommen. Aufgrund dieser Bewertung kam das ENSI zum Schluss, dass das für die SIA verwendete Fehlermodell konservativ ist. Die Behauptung des Öko-Instituts, dass das ENSI hierbei eine weitere Reduzierung von Sicherheiten eingeräumt habe, ist unzutreffend.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Die vom Öko-Institut angeführten drei Kritikpunkte beziehen sich nicht wie behauptet auf die SIA, sondern lediglich auf die darüber hinaus durchgeführte Margenanalyse. Um die in der SIA enthaltenen Konservativitäten aufzuzeigen, wurden realistische und damit weniger konservative Nachweisverfahren als für die eigentliche SIA verwendet.

Das ENSI hat die mit der Margenanalyse hergeleiteten Margen zur Kenntnis genommen. Weil die der Margenanalyse zugrunde gelegten thermohydraulischen Belastungen teilweise nicht validiert sind, betrachtet das ENSI die Ergebnisse der Margenanalyse diesbezüglich als indikativ, aber nicht als vollständig nachgewiesen. Die Margenanalyse muss deshalb im Rahmen der laufenden Periodischen Sicherheitsüberprüfung überarbeitet werden.

Das ändert nichts an der Tatsache, dass das ENSI die von der Axpo durchgeführte SIA als konservativ bewertet.

Die für die Kritik an der Beheizung des Raums mit dem Notkühlwasserreservoir (im Übrigen eine international vielfach umgesetzte Massnahme) angeführte Begründung widerspricht den zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhängen. Der Kühleffekt für die Störfallbeherrschung wird von der Vorheizung nur unwesentlich tangiert. Die Kühlung ist vollumfänglich gewährleistet, solange der Kern von Wasser bedeckt bleibt. Die maximale Einspeisetemperatur unterliegt gewissen systemtechnischen Einschränkungen, ist jedoch für die Kühlwirkung im RDB belanglos.

8 Fazit

Gemäss den von den Auftraggebern der Studie publizierten Zusammenfassungen (SES 2019a) und (SES 2019b) bezieht sich die Hauptkritik der Studie auf die folgenden fünf Punkte:

- Die eingesetzten **Ultraschallverfahren** seien nicht geeignet, um die Einschlüsse exakt zu charakterisieren und räumlich zu lokalisieren.
- Es gebe in keinem nationalen oder internationalen Regelwerk Vorgaben zu den Problemen am RDB von Beznau 1 beziehungsweise zur **Herstellung einer Replika** respektive derer Repräsentativität.
- Die **Übertragbarkeit des Materialverhaltens** der Replika mit Aluminiumoxideinschlüssen auf den RDB sei nicht gegeben.
- Die Untersuchungen liessen keine Erkenntnisse über die Interaktion von **Strahlenverstrahlung und Materialermüdung** mit den Materialfehlern zu.
- Im Rahmen des Sicherheitsnachweises würden die verbleibenden **Unsicherheiten nicht quantifiziert**. Die Sicherheitsmarge der Sprödbruchreferenztemperatur seien zu klein.

Das ENSI widerspricht den Schlussfolgerungen und Kritikpunkten des Öko-Instituts entschieden. Statt auf die in der Schweiz geltenden, konkreten Regelwerksanforderungen einzugehen, bezieht sich das Öko-Institut auf eine willkürliche Interpretation übergeordneter und entsprechend unbestimmter Anforderungen des internationalen Rechts.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

Zu den fünf Hauptkritikpunkten stellt das ENSI das Folgende richtig:

- **Eingesetzte Ultraschallverfahren:** Obwohl im vorliegenden Fall die technisch beste verfügbare Prüftechnik zum Einsatz kam, kritisiert das Öko-Institut, dass das Prüfverfahren nicht anhand von befundbehaftetem Originalmaterial validiert wurde. Die vom Öko-Institut geforderte Verwendung von Originalmaterial wird in keinem Regelwerk verlangt. Die Forderung ist zudem auch sachlich unsinnig. Für die Validierung müsste das Originalmaterial im Anschluss an die Ultraschallprüfung zerstörend geprüft werden und stünde somit für die Verwendung nicht mehr zur Verfügung. Eine Validierung erfolgt immer an einer Referenz mit bekannten Messgrössen.
- **Herstellung einer Replika:** Das Öko-Institut kritisiert, dass es für die Herstellung einer Replika keine nationalen oder internationalen Regelwerksvorgaben gebe. Diese Kritik zeugt von einem Unverständnis des zugrunde gelegten Nachweiskonzepts. Für die Herstellung einer Replika ist das gleiche Regelwerk zu verwenden wie für das Original. Ob die Herstellung einer Replika ihren Zweck erfüllt, ergeben die anschliessenden zerstörungsfreien und zerstörenden Prüfungen am Replika-Originalmaterial. Ansonsten wäre die Replika nicht repräsentativ. Diese Prüfungen ergaben im vorliegenden Fall eine sehr gute Übereinstimmung mit den Originalproben des RDB.
- **Übertragbarkeit des Materialverhaltens:** Für die Begründung seiner Zweifel an der Übertragbarkeit des Materialverhaltens der Replika auf den RDB zieht das Öko-Institut insbesondere die Bewertungen des IRP heran. Dabei werden die Schlussfolgerungen des IRP zur Repräsentativität der Replika vom Öko-Institut verzerrt wiedergegeben, um zu suggerieren, dass das IRP an der Repräsentativität der Replika zweifle. Dies ist jedoch unzutreffend. In Kapitel 3.3 seiner Stellungnahme hält das IRP zweifelsfrei und eindeutig fest, dass die Replika in Bezug auf die Zwecke, für die sie im Sicherheitsnachweis verwendet wurde, repräsentativ ist.
- **Strahlenversprödung und das Ermüdungsrisswachstum:** Das Öko-Institut negiert pauschal die Aussagekraft aller Materialuntersuchungen mit Replika-Material. Die im Rahmen des Sicherheitsnachweises durchgeführten, umfangreichen Untersuchungen zum Einfluss der Materialfehler auf die Strahlenversprödung und das Ermüdungsrisswachstum werden ohne Begründung ignoriert. Aufgrund der fehlenden Begründung hat die vom Öko-Institut geäußerte Kritik den Stellenwert von blossen Behauptungen.
- **Quantifizierung der Unsicherheiten:** In Bezug auf die Quantifizierung der Unsicherheiten des Sicherheitsnachweises vermischt das Öko-Institut den Nachweis der Konservativität des Sicherheitsnachweises mit dem Nachweis der darüberhinausgehenden Margen. Zu letzterem forderte das ENSI zusätzliche Angaben. In Bezug auf den Nachweis der Konservativität des Sicherheitsnachweises bestätigen sowohl das IRP als auch das ENSI, dass die verbleibenden Unsicherheiten im Rahmen des Sicherheitsnachweises konservativ berücksichtigt wurden und dass alle Vorgaben des Regelwerkes eingehalten werden. Insbesondere wird das UVEK-Ausserbetriebnahmekriterium von 93 °C für die Sprödbruchreferenztemperatur eingehalten. Auch hier beruht die Kritik des Öko-Instituts auf einer nicht weiter begründeten Behauptung.

Darüber hinaus enthält die Stellungnahme des Öko-Instituts (Mohr & Küppers 2019) gravierende fachliche Fehler, welche die Fachkunde des Öko-Instituts zur Beurteilung des vorliegenden Sicherheitsnachweises grundlegend in Frage stellen. Dies soll anhand von zwei Beispielen aufgezeigt werden.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED] | [REDACTED]

- So thematisiert das Öko-Institut in seinem Bericht an insgesamt neun Stellen Magnesiumsulfiteinschlüsse. Das Vorhandensein von Magnesiumsulfiteinschlüssen in RDB-Stählen des Typs A508 ist jedoch gleich aus dreifachen Gründen unmöglich. Erstens kommen in Stählen grundsätzlich keine Sulfite vor, weil sie bei den bei der Stahlherstellung herrschenden Temperaturen nicht stabil sind. Zweitens enthalten Stähle des Typs A508 kein Magnesium als Legierungs- oder Begleitelement. Und falls drittens trotzdem Spuren von Magnesium in der Schmelze vorhanden wären, würde das Magnesium sofort oxidieren und keine Sulfite bilden.
- Zudem zeigt sich an den Ausführungen des Öko-Instituts ein mangelndes Verständnis der Master-Curve-Methode. So werden im Widerspruch zum schweizerischen und internationalen Regelwerk wiederholt die Vorteile der genaueren direkten Master-Curve-Methode gegenüber der indirekten Charpy-Methode in Abrede gestellt. Mehrfach werden die Methoden II-A und II-B verwechselt. Die Temperaturen T_0 und RT_{ref} werden wiederholt fehlinterpretiert. Einmal wird der T_0 -Wert der unbestrahlten 1C(T)-Proben nicht nachvollziehbar als "Schwankungsbreite" interpretiert.

Zusammenfassend beruhen die vom Öko-Institut formulierten Zweifel am Entscheid des ENSI und der Sicherheit von Beznau 1 auf

- der Unkenntnis des anwendbaren Regelwerks;
- einem mangelhaften Verständnis des Konzeptes des geführten Sicherheitsnachweises;
- verzerrt wiedergegebenen Schlussfolgerungen des ENSI und des IRP; und
- dem Ignorieren von wesentlichen Bestandteilen des Sicherheitsnachweises.

Aufgrund der genannten, schwerwiegenden Mängel kommt das ENSI zum Schluss, dass die Stellungnahme des Öko-Instituts (Mohr & Küppers 2019) in keiner Weise geeignet ist, die Beurteilung des ENSI im Hinblick auf die Sicherheit des RDB des KKW Beznau 1 in Frage zu stellen.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

9 Referenzen

- American Society of Mechanical Engineers, ASME (2017a): The American Society of Mechanical Engineers; ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components. 2017 Edition.
- American Society of Mechanical Engineers, ASME (2017b): The American Society of Mechanical Engineers; ASME Boiler & Pressure Vessel Code Cases Nuclear Components; N-877: Alternative Characterization Rules for Multiple Subsurface Radially Oriented Planar Flaws. 30 June 2017.
- ENSI (2011): Alterungsüberwachung; Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen; ENSI-B01/d. Brugg, August 2011 (https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/b01_d.pdf).
- ENSI (2018a): ENSI Review of the Axpo Power AG Safety Case for the Reactor Pressure Vessel of the Beznau NPP Unit 1; ENSI 14/2573, Revision 1. Brugg, May 31, 2018 (<https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/14H2573-Rev.-1.pdf>).
- ENSI (2018b): Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen; Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen; ENSI-B07/d. Brugg, September 2008 (https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/b-007_d.pdf).
- IAEA (1994): Convention on Nuclear Safety; INFCIRC/449. Vienna, 5 July 1994 (<https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc449.pdf>).
- IAEA (2009): Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants; IAEA-TECDOC-1631. Vienna, October 2009 (https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1631_web.pdf).
- International Review Panel, IRP (2018): Assessment of the Safety Case for the Reactor Pressure Vessel of the Beznau Unit 1 Nuclear Power Plant; Revision 0., Brugg, February 2018 (https://www.ensi.ch/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/IRP-assessment-of-the-B1-SC-Rev0-20180228b_final.pdf).
- Kerntechnischer Ausschuss, KTA (2016): Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung; KTA 3201.4, Fassung 2016-1 (http://www.kta-gs.de/d/regeln/3200/3201_4_r_2016_11.pdf).



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 14KEX.BEFLAW / ENSI 14/2857
Titel: Kommentar des ENSI zur Stellungnahme des Öko-Instituts zum Sicherheitsnachweis des Reaktor-
druckbehälters von Beznau 1
Datum / Sachbearbeiter: 20.05.2020 / [REDACTED]

- Kerntechnischer Ausschuss, KTA (2017a): Überwachung des Bestrahlungsverhaltens von Werkstoffen der Reaktor-druckbehälter von Leichtwasserreaktoren; KTA 3203, Fassung 2017-11 (http://www.kta-gs.de/d/regeln/3200/3203_r_2017_11.pdf).
- Kerntechnischer Ausschuss, KTA (2017b): Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung; KTA 3201.2, Fassung 2017-11 (http://www.kta-gs.de/d/regeln/3200/3201_2_r_2017_11.pdf).
- Mohr, S., Küppers, S. (2016): Ultraschallbefunde des Kernkraftwerks Beznau; Stellungnahme zum geplanten weiteren Vorgehen des Betreibers. Darmstadt, März 2016 ([https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/downloads/energiethemen-atomenergie-risiken-risiko-altreaktoren/Greenpeace_Report_Ultraschallbefunde\(2\).pdf](https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/downloads/energiethemen-atomenergie-risiken-risiko-altreaktoren/Greenpeace_Report_Ultraschallbefunde(2).pdf)).
- Mohr, S., Küppers, S. (2019): Materialfehler im hochversprödeten Reaktor-druckbehälter des Kernkraftwerks Beznau Block 1; Stellungnahme zum Sicherheitsbericht der Axpo, zum Review des ENSI und zum Assessment des IRP bezüglich des Sicherheitsnachweises des Reaktor-druckbehälters von Beznau 1. Darmstadt, 28. Juni 2019, (https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/Stellungnahme%20SafetyCase_Beznau_1_20190628.pdf).
- Öko-Institut e.V. (2016): Nichtmetallische Einschlüsse in Form von Aluminiumoxid in Reaktor-druckbehälterstahl. Literaturrecherche zu potenziellen Auswirkungen von Aluminiumoxideinschlüssen im Reaktor-druckbehälter des Kernkraftwerks Beznau 1. Darmstadt, Oktober 2016.
- Pistner, C., Mohr, S. (2017): Sicherheitsstatus des Kernkraftwerks Beznau. Aktualisierung der Analyse der Ergebnisse des EU-Stresstests des Kernkraftwerks Beznau. Darmstadt, August 2017 (https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Kernenergie/Berichte/Anlagen/Grenznahe_KKW/2017_Aktualisierung_EU-Strestest_Beznau.pdf).
- Schweizerische Energiestiftung, SES (2019a): Materialfehler in RDB des KKW Beznau; Zusammenfassung der Kritik des Öko-Instituts. Webartikel vom 28. August 2019 (https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/20190828_Popula%CC%88fassung%20O%CC%88ko-Institut_def.pdf).
- Schweizerische Energiestiftung, SES (2019b): Materialfehler im hochversprödeten Reaktor-druckbehälter des Kernkraftwerks Beznau Block 1. Webartikel vom November 2019 (<https://energiestiftung.ch/publikation-studien/materialfehler-im-hochversproedeten-reaktor-druckbehaelter-des-kernkraftwerks-beznau-block-1.html>).