

www.eko.de


 **Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

## Doel 3/Tihange 2: Befunde am Reaktordruckbehälter

Begutachtung der Antworten der FANC

Dr. C. Pistner, B. Kallenbach-Herbert  
MKULNV NRW  
Düsseldorf, 23.06.2016

www.eko.de

 **Öko-Institut e.V.**

## Hintergrund

- 2012 Entdeckung unerwarteter Befunde an den Reaktordruckbehältern in Doel 3 und Tihange 2 (D3T2)
- Nachweisschritte
  - Bewertung der Ergebnisse der *Ultraschalluntersuchungen*
  - Untersuchung von Auswirkungen auf *Materialeigenschaften* des RDB
  - *Integritätsnachweis* mit vorhandenen Rissen
- 2013 Wiederanfahren der Anlagen
- 2014 neue unerwartete experimentelle Ergebnisse und erneutes Abfahren, in der Folge erneute Nachweisführung

→ Dezember 2015 Genehmigung zum Wiederanfahren durch die Aufsichtsbehörde FANC

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 2

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Hintergrund

- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und Ausschuss „Druckführende Komponenten und Werkstoffe“ (DKW) der deutschen Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) formulieren Fragen zum Nachweis (Januar 2016)
- FANC legt im Februar 2016 Antworten vor (31 Seiten), mit Verweisen auf detailliertere Berichte
- Expertentreffen zwischen belgischen und deutschen Experten mit zusätzlicher Einsichtnahme in weitere Unterlagen (ohne Beteiligung Öko-Institut)
- Bewertung der Antworten der FANC durch das Öko-Institut auf Basis öffentlich zugänglicher Berichte

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 3

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Schlussfolgerungen

- Zuordnung der Fragen zu drei wesentlichen Themenkomplexen
  - Ultraschalluntersuchungen (Fragen 1 bis 4)
  - Materialeigenschaften (Fragen 5, 6, 8 und 10)
  - Nachweisverfahren (Fragen 7, 9 und 11 bis 15)
- Verschiedene der Fragen durch die Aufsichtsbehörde FANC nachvollziehbar beantwortet aber
- zu allen Themenkomplexen offene Punkte, zu denen abschließende Bewertungen nicht möglich sind.
- **Aus unserer Sicht kann nicht bestätigt werden, dass noch ausreichende Sicherheitsmargen bei den zu unterstellenden Störfällen vorhanden sind.**

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 4

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Offene Punkte zu den Themenkomplexen – Ultraschalluntersuchungen

- Nachweisbarkeit ganz oder teilweise verdeckter Risse?
- Fehlende Nachweisbarkeit (bzw. Ausschließbarkeit) möglicherweise vorhandener radialer Verbindungen zwischen verschiedenen Rissen?
- Abdeckende Eigenschaften des „Ersatzfehlerkonzepts“ (→ vgl. Nachweisverfahren)?
- Schlussfolgerung „herstellungsbedingte wasserstoffinduzierte Risse (Wasserstofflocken)“ geht in Interpretation der Ultraschallanzeigen und deren Qualifizierung ein → können andere Ursachen (ggf. nur für einen Teil der Anzeigen) ausgeschlossen werden?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pflüger | Düsseldorf | 23.06.2016

5

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Offene Punkte zu den Themenkomplexen – Materialeigenschaften

- Konservativität der Bestimmung der Materialzusammensetzung (max. Aufkonzentrationen) im Bereich von Seigerungen?
- Konservativität der Sicherheitszuschläge zur Berücksichtigung von Unsicherheiten
  - Ausreichende Berücksichtigung der experimentellen Befunde?
  - Abdeckende Eigenschaft der experimentellen Befunde (ungeklärtes außergewöhnliches Versprödungsverhalten bei VB395)?
  - 2015 ggf. geringere Sicherheitszuschläge als 2012?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pflüger | Düsseldorf | 23.06.2016

6

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Offene Punkte zu den Themenkomplexen – Nachweisverfahren

- Experimentelle Untersuchungen bilden eindimensionale Belastungssituationen ab, ausreichend zur Validierung?
- Konservativität des Ersatzfehlerkonzepts bei
  - komplexen Rissfeldern,
  - inhomogenen Werkstoffbereichen (Seigerungen) und
  - mehrdimensionalen Spannungszuständen (Thermoschock bei Kühlmittelverluststürfällen)?
- Konservativität von gewählten Randbedingungen
  - Rotationssymmetrische Berechnungen ohne explizite Berücksichtigung von Strahlen- oder Streifenkühlung?
  - Annahme eines elastisch-plastischen Werkstoffverhaltes?
  - Ausreichende Berücksichtigung von Eigenspannungen?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 7

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Ihre Ansprechpartner

<p><b>Dr. Christoph Pistner</b> Stellvertretender Bereichsleiter Telefon: +49 6151 8191-190 E-Mail: <a href="mailto:c.pistner@oeko.de">c.pistner@oeko.de</a></p>	<p><b>Öko-Institut e.V.</b> Büro Darmstadt Rheinstraße 95 64295 Darmstadt</p>
<p><b>Christian Küppers</b> Stellvertretender Bereichsleiter Telefon: +49 6151 8191-123 E-Mail: <a href="mailto:c.kueppers@oeko.de">c.kueppers@oeko.de</a></p>	
<p><b>Beate Kallenbach-Herbert</b> Bereichsleiterin Telefon: +49 6151 8191-109 E-Mail: <a href="mailto:b.kallenbach@oeko.de">b.kallenbach@oeko.de</a></p>	

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 8

www.oeko.de

Öko-Institut e.V.

## Teil 2:

### Detailinformationen zu den einzelnen Fragen

geclustert nach Themenkomplexen:

- Ultraschalluntersuchungen (Fragen 1 bis 4)
- Materialeigenschaften (Fragen 5, 6, 8 und 10)
- Nachweisverfahren (Fragen 7, 9 und 11 bis 15)

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistor | Düsseldorf | 23.06.2016

9

www.oeko.de

Öko-Institut e.V.

## Frage 1: Nachweisgrenzen

- Spezifikation vorgelegt
  - Wahrscheinlichkeit von 97,72% bei
  - Durchmesser von mehr als 6 mm und
  - maximaler Schräglage von 16° gegenüber der Behälterwand
- Diesbezüglich formal beantwortet, aber:
  - Unklarheiten bzgl. Parameterabhängigkeiten (Tiefenlage der Anzeigen), vgl. Frage 4
  - Keine Angaben zur Quantifizierung bei (teilweise) abgedeckten Anzeigen, vgl. Frage 3
  - Keine Angaben zu pot. radialen Verbindungen, vgl. Frage 9
  - Keine Angaben zu Diskriminierung bzgl. pot. anderer Ursachen, vgl. Frage 2

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistor | Düsseldorf | 23.06.2016

10

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 2: Unterscheidbarkeit Seigerungen - Wasserstofflocken

- Aussage geht auf Makroseigerungen ein (lokale Abweichungen von der mittleren chemischen Zusammensetzung des Stahls)
- Mit dieser Form der Ultraschalluntersuchung nicht detektierbar
- Diesbezüglich formal beantwortet, aber
  - Auf Unterscheidbarkeit bzgl. anderer Formen wie bspw. nichtmetallische Einschlüsse wird nicht eingegangen (vgl. Befunde in Beznau, Schweiz, die mit gleichem Ultraschallverfahren detektiert wurden)
  - „Wasserstofflocken“ immer ungünstigste Annahme?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 11

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 3: Verdeckte Risse

- Problem teilweise verdeckter Risse bereits im Safety Case 2013 adressiert
- Auch teilweise verdeckte Risse sollen vollständig detektiert werden aber
  - Keine Quantifizierung der Aussage (Größen, Abstände, Grad der Überlappung)
  - Keine Aussage zu vollständig verdeckten Rissen
  - Keine Aussage zu potenziellen radialen Verbindungen zwischen Rissen (Möglichkeit der Entstehung solcher radialer Risse bei Entstehung der Wasserstofflocken vom Betreiber 2013 zugestanden)
  - Keine Aussagen zum Unterschied der ausgewiesenen Anzahl und Größe der Anzeigen 2014 vs. 2012/2013: trotz Aussage eines konservativen Nachweises 2013 in 2014 mehr und größere Anzeigen

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 12

Öko-Institut e.V.

www.eko.de

### Frage 4: Schräglagenabhängigkeit

- Frage formal beantwortet aber
  - Für tiefliegende Anzeigen Widerspruch zu Antwort auf Frage 1

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 13

Öko-Institut e.V.

www.eko.de

### Zusammenfassung der Bewertungen: Ultraschalluntersuchungen

Fragen	Bewertung der Antworten	
Frage 1: Nachweisgrenzen des Prüfverfahrens	Frage ist formal beantwortet	Nicht alle Einflussgrößen auf Detektierbarkeit voll umfänglich diskutiert (siehe Folgefragen)
Frage 2: Unterscheidbarkeit von Seigerungen und Rissen	Frage ist formal beantwortet	Ausschluss anderer Ursachen nicht eindeutig geführt, Konservativität der Schlussfolgerung „Wasserstofflocken“ nicht eindeutig gezeigt
Frage 3: Verdeckte Risse	Einfluss vollständiger Überlappung und radialer Risse auf die Detektierbarkeit nicht geklärt	
Frage 4: Schräglagenabhängigkeit von Größe und Nachweisbarkeit	Frage ist formal beantwortet	Angaben zur detektierbaren Größe weichen von Antwort 1 ab
Übergeordnet	Widerspruch bzgl. Konservativität der 2012/13 Untersuchungen vs. 2014er Ergebnisse nicht aufgeklärt	

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 14



Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 5: Ausmaße der Seigerungen

- Grundsätzlich nachvollziehbar und plausibel
- Frage formal beantwortet, aber
  - Abschätzung zu maximalen Aufkonzentrationen gemäß Untersuchungen aus 1985, Anwendbarkeit auf D3T2 kann auf Basis vorliegender Unterlagen nicht bewertet werden, vgl. Fragen 6 und 8

Doel 3/Tihange 2 | C. Pletner | Düsseldorf | 23.06.2016 15

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 6: Einfluss von Seigerungen auf Bruchzähigkeit

- Grundsätzlich nachvollziehbar und plausibel
  - Zuschlag auf Referenztemperatur im unbestrahlten Zuschlag von 10°C
  - Einfluss auf bestrahlungsbedingte Verschiebung der Referenztemperatur durch Berücksichtigung veränderter chemischer Zusammensetzung in französischer RSE-M-Kurve
- Frage formal beantwortet aber
  - In 2015 gegenüber 2012 geringere Werte für lokale Anreicherungen (bspw. Phosphor 14% anstelle von 35%), vgl. Frage 5?
  - Zuschläge abdeckend hinsichtlich vorhandener Unsicherheiten, vgl. Frage 10?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pletner | Düsseldorf | 23.06.2016 16



Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 8: Auswirkung unterschiedlicher Phosphorgehalte

- Frage formal beantwortet aber
  - Abschätzung zu maximalen Aufkonzentrationen gemäß Untersuchungen aus 1985, Anwendbarkeit auf D3T2 (Konservativität hinsichtlich aller chemischen Unterschiede) kann auf Basis vorliegender Unterlagen nicht bewertet werden
  - Einfluss des Phosphorgehalts auf die jeweilige lokale Aufkonzentration?
  - In 2015 gegenüber 2012 geringere Werte für lokale Anreicherungen (Phosphor 14% anstelle von 35%)?

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 17

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 10: Festlegung der Referenztemperatur

- Antwort diskutiert grundsätzlich zwei Terme aus der Festlegung der Referenztemperatur
  - Einfluss der Makroseigerungen auf den anfänglichen Wert der Referenztemperatur
  - Französische RSE-M-Formel zur Bestimmung der bestrahlungsbedingten Versprödung
- Vorgehensweise grundsätzlich nachvollziehbar, aber
  - Konservativität der einzelnen Beiträge nicht abschließend belegt, 2015 z. T. geringere Zuschläge als 2012
  - Angemessene Berücksichtigung von „unplausiblen“ experimentellen Ergebnissen?
    - Starke Streuung des anfänglichen Werts der Referenztemperatur bei KS02
    - Unerwartet starke Verschiebung der Referenztemperatur bei VB395

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 18

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Zusammenfassung der Bewertungen: Materialeigenschaften

Fragen	Bewertung der Antworten
Frage 5: Abschätzung der Ausmaße der Seigerungen	Die Vorgehensweise ist grundsätzlich nachvollziehbar und plausibel beschrieben
Frage 6: Einfluss von Seigerungen auf Bruchzähigkeit	Vorgehen und herangezogene Daten zur Berücksichtigung von Seigerungen nachvollziehbar beschrieben
Frage 8: Auswirkungen unterschiedlicher Phosphorgehalte	Frage ist formal beantwortet      Berücksichtigung unterschiedlicher Phosphorgehalte nicht vollständig nachvollziehbar
Frage 10: Festlegung der Referenztemperatur	Es wird nicht nachvollziehbar belegt, dass die Festlegung der Referenztemperatur konservativ ist

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 19

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 7: Fehler Übergang Grundwerkstoff/Plattierung

- Alle Anzeigen als wasserstoffinduzierte Risse interpretiert
- Frage ist beantwortet

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 20

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 9: Anwendbarkeit der verwendeten Analysemethoden

- Verweis auf experimentelle Untersuchungen
  - 4-Punkt-Biegeversuche
  - Zugversuche
- Keine expliziten Aussagen zum Ersatzfehlerkonzept
  - Als Code Case N-848 ins ASME Regelwerk aufgenommen
- Nachvollziehbarkeit hinsichtlich abdeckender Fehlergröße und Schräglage
- Offene Aspekte bzgl. Kombination aus
  - Komplexen Rissfeldern
  - Inhomogenen Werkstoffbereichen, vgl. Fragen 5, 6 und 8
  - mehrdimensionalen Spannungszuständen (Thermoschock)

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 21

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

## Frage 11: Lastfälle

- Betriebliche Lastfälle, Transienten sowie Kühlmittelverluststörfälle betrachtet
- Frage ist formal beantwortet, aber offene Aspekte bzgl. der unterstellten Randbedingungen:
  - Konservativität des Ansatzes eines elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens für die betrachteten Kühlmittelverluststörfälle?
  - Rotationssymmetrische Berechnungen ohne explizite Berücksichtigung von Strahlen- oder Streifenkühlung?
  - Konservative Berücksichtigung von Eigenspannungen durch den Plattierungsprozess?
  - Angemessene Berücksichtigung inhomogener Werkstoffeigenschaften, vgl. Frage 9

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 22

www.oeko.de

Öko-Institut e.V.

### Frage 12: Beanspruchung der Risse in gemischten Spannungszuständen

- Es wird pauschal auf Diskussionen zwischen Betreiber und Aufsichtsbehörde verwiesen
- Es wird pauschal auf experimentelle Ergebnisse verwiesen
- Eine tatsächliche Verifizierung des „äquivalenten Spannungsintensitätsfaktors“ kann auf Basis der vorgelegten Unterlagen nicht nachvollzogen werden

Doel 3/Tilange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016

23

www.oeko.de

Öko-Institut e.V.

### Frage 13: Anwendbarkeit des Verfahrens nach ASME BPVC

- Aufsichtsbehörde stellt fest, dass keine formale Validierung erfolgte
- Nachvollziehbare Angaben zu verwendeten Spannungs-Dehnungs-Kurven sowie zur Behandlung von Dehnungskonzentrationen
- Frage formal beantwortet aber
  - Anwendbarkeit des Verfahrens nach ASME BPVC setzt fehlerfreies Bauteil voraus, Anwendbarkeit auf fehlerbehaftetes Bauteil nicht validiert, damit Konservativität nicht sichergestellt

Doel 3/Tilange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016

24

www.oeko.de

Oeko-Institut e.V.

### Frage 14: Druckprüfungen

- Angaben zu durchgeführten Druckprüfungen liegen vor
- Die Frage ist beantwortet

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 25

www.oeko.de

Oeko-Institut e.V.

### Frage 15: Postulierte Fehler

- Aufsichtsbehörde schließt zusätzliche Fehler aufgrund der Nachweisgrenzen der Ultraschalluntersuchungen aus, vgl. Frage 1
- Nach Regelwerk zu unterstellender postulierter Fehler wurde (unabhängig von vorhandenen Rissbefunden) untersucht
- Frage formal beantwortet aber
  - Konservativität des Verzichts auf zusätzlich zu Rissbefunden postulierte Fehler nicht eindeutig nachvollziehbar

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 26

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

### Zusammenfassung der Bewertungen: Nachweisverfahren (1/2)

Fragen	Bewertung der Antworten	
Frage 7: Fehler Übergang Grundwerkstoff/Plattierung	Frage ist beantwortet	
Frage 9: Anwendbarkeit der Analysemethoden	Keine explizite Validierung der Anwendbarkeit der Analysemethoden	Komplexe mehrdimensionale Belastungszustände nicht abgebildet
Frage 11: Unterstellte Lastfälle	Frage ist formal beantwortet	Konservativität verschiedener Annahmen ist nicht gezeigt
Frage 12: Beanspruchung der Risse in gemischten Spannungszuständen	Die Anwendbarkeit des „äquivalenten Spannungsintensitätsfaktors“ ist nicht verifiziert	
Frage 13: Anwendbarkeit des Verfahrens nach ASME BPVC	Angaben zu abgefragten Parametern sind plausibel	Vorgehensweise nach ASME-Verfahren für vorliegende Randbedingungen nicht formal validiert

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 27

Öko-Institut e.V.

www.oeko.de

### Zusammenfassung der Bewertungen: Nachweisverfahren (2/2)

Fragen	Bewertung der Antworten	
Frage 14: Druckprüfung der RDB	Die Frage ist beantwortet	
Frage 15: Berücksichtigung postulierter Fehler	postulierte Fehler gemäß ASME wurden untersucht	Verzicht, weitere postulierte Fehler zu berücksichtigen, nicht eindeutig nachvollziehbar

Doel 3/Tihange 2 | C. Pistner | Düsseldorf | 23.06.2016 28