



International  
**Nuclear Risk**  
Assessment Group

# Konferenzergebnisse

**Öffentliche Expertenkonferenz  
zur Sicherheit des belgischen  
Atomkraftwerkes Tihange 2**

13. und 14. April 2018 | Aachen, Deutschland



Am 13. und 14. April 2018 veranstaltete die **International Nuclear Risk Assessment Group (iNRAG)** in Kooperation mit der **StädteRegion Aachen** eine internationale Expertenkonferenz zum belgischen Atomkraftwerk Tihange 2.

Die iNRAG ist ein Zusammenschluss unabhängiger ExpertInnen, die den offenen wissenschaftlichen Diskurs über die Sicherheit der Kerntechnik suchen.



Präsentationsfolien zu finden auf [www.inrag.org](http://www.inrag.org)  
Zusammenfassungen und Links zu Videos: siehe nachstehende Seiten

## Vorträge

- 1** Die Entstehung von Wasserstoff-einschlüssen während der Fertigung des Reaktordruckbehälters
- 2** Tihange 2 Materialintegrität des Reaktordruckbehälters: Neue Inspektionen und „neue“ Risse?
- 3** Versprödung der Reaktordruckbehälter in Doel 3 und Tihange 2
- 4** Dokumentation bei der Lizenzierung und dem Betrieb von Kernkraftwerken
- 5** Technische Grundlagen zur Beurteilung der Rissbefunde in den Kernkraftwerken Tihange 2 und Doel 3
- 6** Safety of Surprises - Wie viel Risiko können wir uns erlauben? Erfahrungen aus der US-amerikanischen Atomaufsicht
- 7** Ungelöste Fragen der Rissanzeigen der Reaktordruckbehälter von Doel 3
- 8** Die Entscheidung der belgischen Atomaufsicht aus technischer und verfahrensrechtlicher Sicht
- 9** Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung für den Raum Aachen

VORTRAG 1

# Die Entstehung von Wasserstoffeinschlüssen während der Fertigung des Reaktordruckbehälters

## Dr. Jan Peirs

Maschinenbauer,  
Senior Researcher an der KU Leuven



Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, wann die Wasserstoffeinschlüsse im Stahl des Reaktordruckbehälters (RDB) aufgetreten sind: entweder während des laufenden Betriebs oder während der Fertigung.

Die zweite These vertritt unter anderem der belgische Kraftwerksbetreiber Electrabel. Dabei wird ein Einschluss von Wasserstoff im Zuge eines Wechsels von der Gamma- zur Alpha-Phase während des Stahlproduktionsprozesses postuliert. Zur Überprüfung dieser These fand eine Abschätzung der für die Anzahl der Einschlüsse benötigten Wasserstoffmenge statt.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, dass der entstehende Wasserstoff nicht ausreicht, um die Risse im RDB von Doel 3 und Tihange 2 zu erklären. Um diese These der Entstehung der Einschlüsse während der Fertigung zu verifizieren, wäre es daher sinnvoll, dass die Wasserstoffbilanzen von Electrabel unter Verwendung der realen Messdaten untersucht werden.

VORTRAG 2

## Tihange 2 Materialintegrität des Reaktordruckbehälters: Neue Inspektionen und „neue“ Risse?



### Dr. Walter Bogaerts

Materialwissenschaftler,  
Professor an der KU Leuven

Durch Zufall wurden bei Untersuchungen der Reaktordruckbehälter (RDB) in Doel 3 und Tihange 2 tausende Rissanzeigen im Grundmaterial gefunden. Allgemein wird davon ausgegangen, dass es sich dabei um Wasserstoffeinschlüsse handelt. Für den Sicherheitsnachweis des RDBs ist es von entscheidender Bedeutung, ob diese Einschlüsse bereits ab Fertigung vorhanden waren, oder ob sie während des Betriebes entstehen und sich damit ihre Anzahl und Größe weiter erhöhen kann.

Der Betreiber Electrabel geht davon aus, dass die Einschlüsse während der Fertigung entstanden sind, da es im Betrieb keine Wasserstoffquellen mehr gäbe. Allerdings könnte es sowohl durch kathodische Korrosion als auch durch Radiolyse zur Entstehung von elementarem Wasserstoff kommen. Dieser Wasserstoff könnte in die Wand des RDBs diffundieren und vorhandene Risse vergrößern (*Hydrogen Induced Cracking*) und damit zu einer weiteren, bisher nicht bekannten Verschlechterung der Sicherheitseigenschaften des RDBs führen.

VORTRAG 3

## Versprödung der Reaktordruckbehälter in Doel 3 und Tihange 2

### Dr. Ilse Tweer

Materialwissenschaftlerin,  
unabhängige Gutachterin in der Kerntechnik



Der Reaktordruckbehälter (RDB) ist die zentrale Komponente eines Druckwasserreaktors. Sein Versagen muss ausgeschlossen werden, da es keine kompensierenden Sicherheitssysteme gibt. Mit zunehmendem Betrieb verschlechtern sich die Materialeigenschaften des RDBs, z.B. durch Fehlstellenbildung/-wachstum, strahlenbedingte Versprödung und thermomechanische Materialermüdung. Der Nachweis ausreichender Sicherheitsmargen erfolgt durch die sogenannte *Pressurized Thermal Shock* (PTS) Analyse, bei der unter Berücksichtigung des Alterungsprozesses die tatsächlichen Materialeigenschaften des RDB-Stahls mit der hypothetischen Belastung auf einen bestimmten Riss während eines Störfalls verglichen werden.

Im RDB von Doel 3 und Tihange 2 wurden 2012 tausende Risse entdeckt, der PTS-Nachweis musste daher neu geführt werden. Der Einfluss der Strahlen-induzierten Versprödung konnte aufgrund mangelnder repräsentativer Proben nicht zweifelsfrei quantifiziert werden. Darüber hinaus ist die vom Betreiber durchgeführte Anpassung der Versprödungs-Trendkurve im Rahmen des *Structural Integrity Assessment* (SIA) kritisch zu beurteilen.

# Dokumentation bei der Lizenzierung und dem Betrieb von Kernkraftwerken



## DI Dieter Majer

Ehem. Leiter des Bereichs Sicherheit kerntechnischer  
Einrichtungen im Bundesumweltministerium

Aufgabe der Dokumentation bei der Lizenzierung und dem Betrieb von Kernkraftwerken (KKW) ist vor allem der überprüfbare Nachweis der Erfüllung rechtlicher Auflagen während der gesamten Lebensdauer des KKW. Dabei zielt die Dokumentation auf die Beschreibung des Soll-Zustandes eines KKW ab, die eine Bewertung des Ist-Zustandes ermöglicht (Technische Dokumentation). Darüber hinaus soll sie Grundlage für einen sicheren Betrieb der Anlage darstellen, Erfahrungsrückfluss ermöglichen und als Datenbank für das Alterungsmanagement dienen (Organisationsdokumentation). Essentielle Punkte der Dokumentation sind ihre Aktualität und Vollständigkeit, die sichergestellt werden müssen, wie auch die Sicherung der Zweiddokumentation.

All dies erfordert die Festlegung und Beschreibung eines systematischen Verfahrens, in dem Struktur, Umfang, unabhängige Prüfung und Handhabung der Dokumentation von der Erstellung bis zur Archivierung und Vernichtung geregelt sind.

VORTRAG 5

# Technische Grundlagen zur Beurteilung der Rissbefunde in den Kernkraftwerken Tihange 2 und Doel 3

## DI Simone Mohr

Senior Researcher für Nukleartechnik &  
Anlagensicherheit beim Öko-Institut e.V.



Der Reaktordruckbehälter (RDB), die wichtigste Komponente im Kernkraftwerk, ist von äußerster Sicherheitsrelevanz. Versagt der RDB durch Sprödbruch, wird die Kernkühlung unmöglich. Deshalb muss seine Herstellung qualitativ höchstwertig sein und der Nachweis, dass der RDB bei Störfällen integer bleibt, darf keine Unsicherheiten aufweisen.

Die Integritätsnachweise von Doel 3 und Tihange 2 erfolgten auf Basis von Ultraschalluntersuchungen sowie Untersuchungen zu veränderten Materialeigenschaften aufgrund vieler Risse in den RDBs. Die Komplexität der Ultraschallverfahren erschwert die Beurteilung ihrer Ergebnisse und ihre Reproduzierbarkeit. *Root Cause* Analysen zur Unterstützung der Ultraschalldiagnose sind unsicher. Die Repräsentativität der Materialproben, die zur Untersuchung der Auswirkungen der Risse auf die Materialeigenschaften verwendet wurden, ist zweifelhaft. Somit gibt es unzulässige Unsicherheiten bei den Integritätsnachweisen der RDBs von Doel 3 und Tihange 2.

VORTRAG 6

## Safety of Surprises - Wie viel Risiko können wir uns erlauben? Erfahrungen aus der US-amerikanischen Atomaufsicht



### Gregory Jaczko, PhD.

Ehem. Leiter der US-amerikanischen kerntechnischen Regulierungsbehörde (NRC)

In der kerntechnischen Community herrscht beinahe Konsens darüber, dass es sich bei den Anzeigen im Reaktordruckbehälter (RDB) von Doel 3 und Tihange 2 um Wasserstoff-induzierte Risse handelt. Der belgische Betreiber Electrabel kam zu dem Ergebnis, dass die Risse aus dem Fabrikationsprozess stammen; allerdings entsprach der RDB, zumindest scheinbar, den Sicherheitsstandards während der Fertigung, obwohl die technischen Mittel zur Zeit der Fabrikation (1970er) in der Lage gewesen wären diese Mängel aufzuzeigen.

Folgerichtig hätte dies zu einer Ablehnung des RDBs führen müssen. Dies stellt die Fragen in den Raum, ob auch andere RDBs trotz solch schwerwiegender Mängel in Betrieb genommen wurden und ob nicht weitere Überprüfungen vorgenommen werden sollten. Electrabel sieht die Integrität des RDBs aufgrund einer neuen *Pressurized Thermal Shock* (PTS) Analyse als gesichert.

Die Ursache für die Entstehung der Risse ist nach wie vor nicht völlig geklärt. Mögliche Alternativen im Umgang mit dem Problem wären von Seiten der Aufsicht eine der Bewilligung entsprechende Qualität des RDBs zu fordern, oder das AKW abzuschalten. Letztere Möglichkeit wurde in der Vergangenheit in den USA praktiziert.

# Ungelöste Fragen der Rissanzeigen der Reaktordruckbehälter von Doel 3

## Dr. Rene Boonen

Materialwissenschaftler,  
Professor an der KU Leuven



Im Jahr 2012 konnten in Doel 3 im Zuge von Ultrallschallmessungen am Reaktordruckbehälter (RDB) fehlerhafte Stellen identifiziert werden. Der belgische Betreiber Electrabel vermutet eine Rissbildung durch Wasserstoffeinschlüsse während des Fabrikationsprozesses des RDBs. Demzufolge wären die Risse im RDB stabil und keinem Wachstum ausgesetzt. Durch Abschätzung der während des Fabrikationsprozesses entstehenden Wasserstoffmenge konnte jedoch aufgezeigt werden, dass dadurch maximal 1500 Risse entstehen konnten.

Eine ausreichende Erklärung für die 11600 Risse im Lower Shell des RDBs in Doel 3 konnte nicht gegeben werden. Dies zeigt die Notwendigkeit der Erstellung einer Wasserstoffbilanz während des Fabrikationsprozesses mit den von Electrabel verwendeten Daten. Eine derartige Untersuchung vonseiten des Betreibers Electrabel wurde nicht durchgeführt.



VORTRAG 8

## Die Entscheidung der belgischen Atomaufsicht aus technischer und verfahrensrechtlicher Sicht



### Dr. Wolfgang Renneberg

Physiker und Jurist, ehem. leitender Fachbeamter  
für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz in Deutschland

Die zeitliche Entstehung der Risse im Reaktordruckbehälter (RDB) ist eine der Kernfragen für den Weiterbetrieb von Tihange 2. Wenn diese Risse im Betrieb entstehen, bedeutet es auch aus Sicht der belgischen Atomaufsichtsbehörde (FANC) das sofortige Aus für Tihange 2. Die FANC geht allerdings davon aus, dass die Risse bereits bei der Fertigung entstanden sind, gibt aber gleichzeitig zu, dass die Technologie zum damaligen Zeitpunkt ausreichend weit fortgeschritten war, um die Risse zu entdecken.

Wären die Risse nach Fertigung entdeckt worden, hätte der RDB verworfen werden müssen. Erst kürzlich offen gelegte Dokumente zeigen, dass in einigen Werkstücken bereits damals vergleichbare Anzeigen gemessen wurden. Außerdem gibt es Hinweise, dass festgestellte Rissbefunde in weiteren Prüfprozessen nicht mehr berücksichtigt wurden. Das impliziert, dass der damaligen Genehmigung falsche Unterlagen zugrunde gelegen haben könnten. Damit aber wäre bereits die ursprüngliche Genehmigung rechtswidrig. In jedem Fall sollte bis zur vollständigen Klärung eine Außerbetriebnahme verfügt werden.

# Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung für den Raum Aachen

## Dr. Nikolaus Müllner

Physiker und stv. Leiter des Instituts für Sicherheits-  
und Risikowissenschaften an der Univ. für Bodenkultur Wien (BOKU)



In einer Kurzstudie wurden die radiologischen Auswirkungen des Versagens des Reaktordruckbehälters (RDB) von Tihange 2 auf den Raum Aachen untersucht. Entscheidend hierfür ist unter anderem der sogenannte Quellterm, der Art und Menge der radioaktiven Stoffe, die aus dem Reaktordruckbehälter entweichen, und die Zeiträume, in denen das geschieht, beschreibt.

Der verwendete Quellterm geht von einem Versagen des Reaktordruckbehälters aufgrund eines *Pressurized Thermal Shock* (PTS) durch Kalteinspeisung bei hohem Druck aus. Dabei wurde angenommen, dass es zu einer Freisetzung von 30% des Cs-137 Inventars kommen würde. Mit Hilfe des Programms Flexpart/Flexrisk wurde die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination der weiteren Umgebung um Tihange ermittelt.

Da die Region Aachen in ungünstiger Windrichtung von Tihange 2 liegt, ist die wetterbedingte Wahrscheinlichkeit für eine erhebliche Kontamination der Region hoch.



## Bewertung der nuklearen Risiken des Atomkraftwerks Tihange 2

- 1** Der Betrieb des Kernkraftwerks Tihange 2 widerspricht international anerkannten Bewertungsmaßstäben für die Sicherheit von Kernkraftwerken!
- 2** Die Gefahr eines Versagens des Reaktordruckbehälters ist nach den vorliegenden Untersuchungen nicht praktisch ausgeschlossen.
- 3** Eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen aufgrund eines unterstellten Unfalls mit Versagen des Reaktordruckbehälters kann demnach zu einer weiträumigen Unbewohnbarkeit von Landstrichen - bis weit in die Aachener Region hinein - führen.
- 4** Der Reaktor hätte mit den jetzt entdeckten Rissen am Reaktordruckbehälter bereits im Jahre 1983 nicht in Betrieb gehen dürfen, sofern diese Risse bereits bei der Herstellung vorhanden waren, wie von Betreiber und Aufsichtsbehörde unterstellt wird.
- 5** Solange der Sicherheitsnachweis für den Reaktordruckbehälter nicht erbracht ist, darf der Reaktor nicht betrieben werden. Der Reaktor muss deshalb nach dem jetzigen bekannten Stand der Untersuchungen einstweilig stillgelegt werden!

### Kontakt

[www.inrag.org](http://www.inrag.org)

**Dr. Friederike Frieß**

Mail: [info@inrag.org](mailto:info@inrag.org)

Tel.: +43 (1) 47654-81821

INRAG Office

Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

Borkowskigasse 4, 1190 Wien, Österreich

ZVR - Zentrales Vereinsregister (AT): 173 253 9393



**Frontgrafik:**

Designed by Freepik

**Bild AKW Tihange:**

Michielverbeek, Wikimedia Commons,  
lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by-sa-3.0,  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

**Bilder der Veranstaltung:**

StädteRegion Aachen