

# Defekte an den Reaktordruckbehältern der belgischen KKW Doel 3 und Tihange 2

## Anmerkungen zum abschließenden Evaluierungsbericht 2015 der FANC

Ilse Tweer  
Materialwissenschaftlerin,  
wissenschaftliche Beratung

Januar 2016

In Auftrag von Rebecca Harms,  
Vorsitzende der Grüne/EFA- Fraktion im Europäischen Parlament  
Rue Wiertz  
B-1047 Brüssel



**The Greens | European Free Alliance**  
in the European Parliament

## Zusammenfassung

Das Kernkraftwerk Doel 3 wurde 1982, Tihange 1983 in Betrieb genommen. Bei beiden handelt es sich um DWR (Druckwasserreaktoren), Betreiber ist die Gesellschaft Electrabel, die zur französischen ENGIE-Gruppe gehört.

Im Rahmen der Ultraschallprüfung 2012 wurden bei beiden Reaktoren tausende Defekte im Grundmetall der Reaktordruckbehälter (RDB) entdeckt.

Der Betreiber Electrabel behauptete, bei den Defekten handle es sich „höchstwahrscheinlich“ um bei der Herstellung eingeschlossene Wasserstoff-Flocken, während des Betriebs der Reaktoren habe kein Wachstum stattgefunden. Die belgische Regulierungsbehörde erteilte im Mai 2013 die Genehmigung, beide Reaktoren wieder hochzufahren. Die Genehmigung schrieb Strahlungstests an Proben vor, die von einem verworfenen Dampfgenerator vom Typ AREVA VB395 stammen, der Wasserstoff-Flocken enthielt.

Diese Proben können nicht als repräsentativ für die Reaktordruckbehälterringer der betroffenen Reaktoren betrachtet werden, da die Historie von Herstellungsprozess und Wärmebehandlung mit Sicherheit nicht identisch ist. Electrabel jedoch betrachtete die Proben aufgrund des ähnlichen Erscheinungsbildes der Defekte als repräsentativ, und die FANC folgte dieser Argumentation.

Die Ergebnisse der ersten Bestrahlungstests zeigten eine unerwartet hohe Neutronenversprödung. In der Folge wurden beide Reaktoren im März 2014 heruntergefahren. Es wurden weitere Bestrahlungstests durchgeführt, auch mit Proben aus dem deutschen FKS (Forschungsvorhaben Komponentensicherheit)-Programm (KS02).

Am 17. November 2015 erteilte die FANC die Genehmigung, beide Reaktoren wieder hochzufahren.

Im Dezember 2015 beauftragte Rebecca Harms, Ko-Vorsitzende der Fraktion Grüne/EFA im Europäischen Parlament, die Verfasserin mit der Auswertung der verfügbaren Unterlagen, welche die FANC im Zusammenhang mit der Genehmigung zur Wiederinbetriebnahme veröffentlicht hatte. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei den Bestrahlungsergebnissen und deren Auslegung durch die verschiedenen, von Electrabel und der FANC beschäftigten Expertengruppen gelten.

Ziel der Auswertung der veröffentlichten Unterlagen war eine Klärung der wissenschaftlichen Argumente, welche die Genehmigung der Inbetriebnahme rechtfertigen sollen.

Obwohl keine Nachweise über die Art der in den jeweils zwei Ringen der Reaktordruckbehälter gefundenen Defekte vorliegen, folgt die FANC der Behauptung von Electrabel, es handle sich um Wasserstoff-Flocken. Die Ultraschallprüfung ergab direkt nach der Herstellung keine meldepflichtigen Anzeigen. Jedoch wurden 30 Jahre später tausende bis zu 179 mm große Defekte entdeckt. Dennoch schloss sich die FANC der Meinung des Betreibers an, während des Betriebs sei kein Wachstum der Defekte aufgetreten.

Es ist nachvollziehbar, dass ein empfindlicheres Ultraschalltestverfahren mehr kleine Defekte aufdeckt. Nicht nachvollziehbar ist jedoch, dass ein weniger empfindliches Ultraschallverfahren keine großen Defekte nachweisen könne. Im Gegenteil wäre zu erwarten, dass die mit einem

weniger empfindlichen Verfahren festgestellten großen Fehlstellen sich bei Anwendung eines empfindlicheren Verfahrens als Anordnung vieler kleiner Fehlstellen darstellen.

Das heißt, der Betreiber kann keinen belastbaren Nachweis darüber führen, dass während des Betriebs keine Zunahme an Defekten stattgefunden hat.

Die Tatsache, dass nach der Herstellung keine Anzeigen beobachtet wurden, nach 30 Jahren jedoch tausende Defekte vorhanden sind, entsprechend den jüngsten Ultraschall-Ergebnissen mit steigender Größe, lässt sich nur mit der Entstehung/dem Wachstum von Defekten während des Betriebs erklären.

Der Betreiber bleibt nach wie vor die Erklärung schuldig, weshalb nur vier Ringe betroffen sind und weshalb die Defekte nur in diesen beiden Reaktordruckbehältern festgestellt wurden.

Ein Mitglied des International Review Board (IRB) argumentierte, vor der Anbringung der Plattierung könnten einige Reparaturvorgänge am Grundwerkstoff stattgefunden haben, durch die Defekte entstanden seien, die dann während des Betriebs weitergewachsen sein könnten. Eine ähnliche Auffassung vertrat die Verfasserin der Studie von 2013. Diese Möglichkeit wurde durch die FANC nicht erörtert.

W. Bogaerts und D. Macdonald gehen von einem möglichen Wachstumsmechanismus aufgrund von radiolytischem/elektrolytischem Wasserstoff in der RDB-Wand aus. Die FANC wies diese Hypothese zurück.

Die von Bel V beschriebene Defense-in-Depth (tiefengestaffelte) Sicherheitsstrategie (vergleichbar mit dem Prinzip der Basissicherheit in Deutschland) basiert auf höchster Qualität des Reaktordruckbehälters, die während der gesamten Betriebsdauer aufrecht erhalten werden muss. Diese Grundvoraussetzung ist mit Sicherheit nicht erfüllt. Ein Reaktordruckbehälter mit tausenden Defekten – und derart großen Defekten – wäre nicht genehmigungsfähig, weder heute noch zum Zeitpunkt der Herstellung.

Die Bestrahlungstests waren Teil der Vorgaben der FANC für den Neustart 2013. Diese Prüfungen wurden an Proben aus einem verworfenen Dampfgenerator (AREVA VB395) durchgeführt, an Stutzenausschnitten von Doel 3 (die keine Defekte haben) und bei der letzten Prüfung an deutschen FKS-Proben (KS02). Weder VB395 noch KS02 sind als repräsentativ für den Grundwerkstoff des RDB anzusehen. Die Stutzenausschnitte sind lediglich repräsentativ für den mängelfreien RDB-Werkstoff, haben aber nicht dieselbe Betriebshistorie wie der RDB hinter sich. Electrabel ging bei den Experimenten von der Annahme aus, die Proben seien repräsentativ.

Die unerwartete Versprödung der im BR2-Testreaktor bestrahlten VB395-Proben wurde schlussendlich mit einem noch unbekanntem Versprödungsmechanismus erklärt, und nun werden die Proben als anormale Ausreißer bezeichnet. Eine ähnlich gesteigerte Versprödung in den Hüllen der D3T2-Behälter erwarten Electrabel/FANC nicht.

In der Vergangenheit wurden Versuchsergebnisse zur Versprödung vergleichbarer Stahlsorten stets in die Datenbank aufgenommen, anhand derer prädiktive Versprödungskurven als einhüllende obere Grenzkurven definiert werden. Die Neutronenversprödung ist eine komplexe Auswirkung stochastischer Prozesse, die mehrere mögliche Mechanismen umfassen. Unerwartete

Ergebnisse einfach als „anormale Ausreißer“ abzutun, kann nicht als solide wissenschaftliche Praxis bezeichnet werden.

Versprödungskurven werden im Rahmen der PTS-Analyse (Thermoschock des unter Druck befindlichen Reaktorbehälters) verwendet, um die Bruchzähigkeitskurven in Abhängigkeit von der Neutronendosis zu berechnen. In den französischen Normen waren die so genannten FIS-Kurven die einhüllenden oberen Grenzkurven, basierend auf den experimentellen Versprödungsdaten vergleichbarer Stahlsorten. Electrabel hat an Stelle der bisher verwendeten FIS-Kurven neue prädiktive Kurven definiert. Die in der neuen Gleichung verwendeten Terme sollen Unsicherheiten über die aktuelle Bruchzähigkeit des RDB-Stahls berücksichtigen. Eine Rechtfertigung der verwendeten Faktoren bei den verschiedenen Termen wird nicht gegeben – es ist jedoch klar, dass die neue Trendkurve nicht länger eine einhüllende obere Grenzkurve für den veränderten Wert der Spröbruchübergangstemperatur  $RT_{NDT}$  darstellt.

Zum rechnerischen Nachweis der strukturellen Integrität muss das Temperaturfeld an der Wand des Reaktordruckbehälters für schwere Störfalltransienten (zum Beispiel Kühlmittelverluststöße) berechnet werden, wobei von einem Auftreffen von kaltem Sicherheitseinspeisewasser auf der heißen Behälterwand auszugehen ist. Die Temperaturgradienten verursachen thermische Spannungen in der Behälterwand, die ein unkontrolliertes Wachstum von Fehlstellen/Rissen fördern könnten, je nach den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs. Diese bruchmechanischen Berechnungen werden anhand von Annahmen zur tatsächlichen Bruchzähigkeit des Werkstoffs und der prädiktiven Trendkurven durchgeführt, um den Neutronenversprödungseffekt zu berücksichtigen. Die Berechnungen müssen für jeden entdeckten Riss durchgeführt werden (Größe, Form, Ort); es muss nachgewiesen werden, dass im Fall der angenommenen Störfalltransienten bei keiner Fehlstelle ein unkontrolliertes Wachstum auftritt (ASME-Kriterium).

Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften bestehen Zweifel, dass die Bruchzähigkeit (ohne Strahlungseffekte) in dem defekthaltigen Stahl, die gleiche ist wie bei defektfreiem Stahl. Für die neue prädiktive Trendkurve wird die anfängliche Bruchzähigkeit des defektfreien Werkstoffs zugrunde gelegt. Electrabel behauptet, in der neuen prädiktiven Trendkurve decke ein zusätzlicher Term eine (nicht erwartete) unbekannte strahlungsinduzierte Versprödung ab, in derselben Größenordnung wie bei den VB395-Proben beobachtet. Dieser Term wird durch Electrabel nicht quantifiziert. Angaben zu den eingesetzten numerischen Werten sind im ORNL-Bericht zu finden, wobei sich andeutet, dass die Trendkurve nicht eine Einhüllende der experimentellen Werte ist, sondern auf die in den Normen genannte begrenzende Anforderung für die Versprödung zugeschnitten ist.

Im Rahmen dieser Beurteilung der strukturellen Integrität erfüllen mehrere Defekte die ASME-Akzeptanzkriterien nicht. Deshalb wurde bei den ORNL-Berechnungen der so genannte Warm-Prestress-Effekt (warme Vorbelastung) eingeschlossen – dies ist gemäß den deutschen und französischen Normen für die PTS-Analyse nicht vorgesehen –, um die ASME-Abnahmekriterien einhalten zu können. Bei einer Fehlstelle reichte diese Vorgehensweise nicht aus, um die Einhaltung zu gewährleisten. Schlussendlich war eine „realistischere“ Modellierung notwendig, um das ASME-Kriterium einhalten zu können. Dies stellt sicherlich eine weitere Reduzierung der Konservativität dar.

Für positive Berechnungen nach SIA musste zudem angenommen werden, dass das Wasser für das Sicherheitseinspeisesystem (Notkühlwasser) auf 40°C erwärmt wird (laut Electrabel). ORNL hat bei seinen Berechnungen die Temperatur mit 40°C angesetzt. Im Abschlussbericht 2015 der FANC wird die Temperatur des Sicherheitseinspeisewassers nicht beziffert. Der Direktor des FANC, Jan Bens, hat das belgische Abgeordnetenhaus darüber informiert, dass diese Temperatur auf 45-50°C angehoben wurde. Die 50°C stellen hinsichtlich der Kühlbarkeit des Kerns bei einem Störfall die Obergrenze dar.

Dies wirft ein weiteres Problem auf: Die große Menge an Sicherheitseinspeisewasser (vermutlich rund 1800 m<sup>3</sup>) muss ständig auf etwa 45°C aufgeheizt werden. Die Temperatur darf nicht unter 40°C sinken, weil das einen Verstoß gegen die Anforderungen zur strukturellen RDB-Integrität bei Störfällen darstellen würde, und sie darf nicht 50°C erreichen, weil dies die Kühlbarkeit des Kerns unter Störfallbedingungen gefährden würde.

Dies ist offensichtlich ein kleiner Toleranzbereich ohne jeden Sicherheitspuffer.

Die Auswertung der veröffentlichten Unterlagen hat im gesamten durchgeführten Sicherheitsgutachten eine Reduktion der Konservativität zu Tage gefördert. Die in den Strahlungsprüfungen verwendeten nicht repräsentativen Proben, die eigentlich den Sicherheitspuffer in der Unsicherheitsbewertung im Sicherheitsgutachten von 2012 bestätigen sollten, haben sich in anormale Ausreißer verwandelt. Angesichts der Tatsache, dass ein Wachstum der Defekte in den RDB-Ringen während des Betriebs nicht auszuschließen ist, erscheint die Genehmigung, die beiden Kernkraftwerke wieder hochzufahren, unverständlich.

