

# Beispiele für alterungsbedingte Schäden bzw. Ausfälle in Kernkraftwerken. Welche Konsequenzen werden in Deutschland hieraus gezogen?

Dipl.-Ing. S. Mohr, Dipl.-Ing. S. Kurth  
Sicherheitskonferenz: Alterung und Ermüdungsverhalten sowie wiederkehrende Prüfungen von Komponenten der Atomkraftwerke in der Restlaufzeit  
Hameln, 03.12.2014

# Beispiele für alterungsbedingte Schäden bzw. Ausfälle in Kernkraftwerken und Konsequenzen

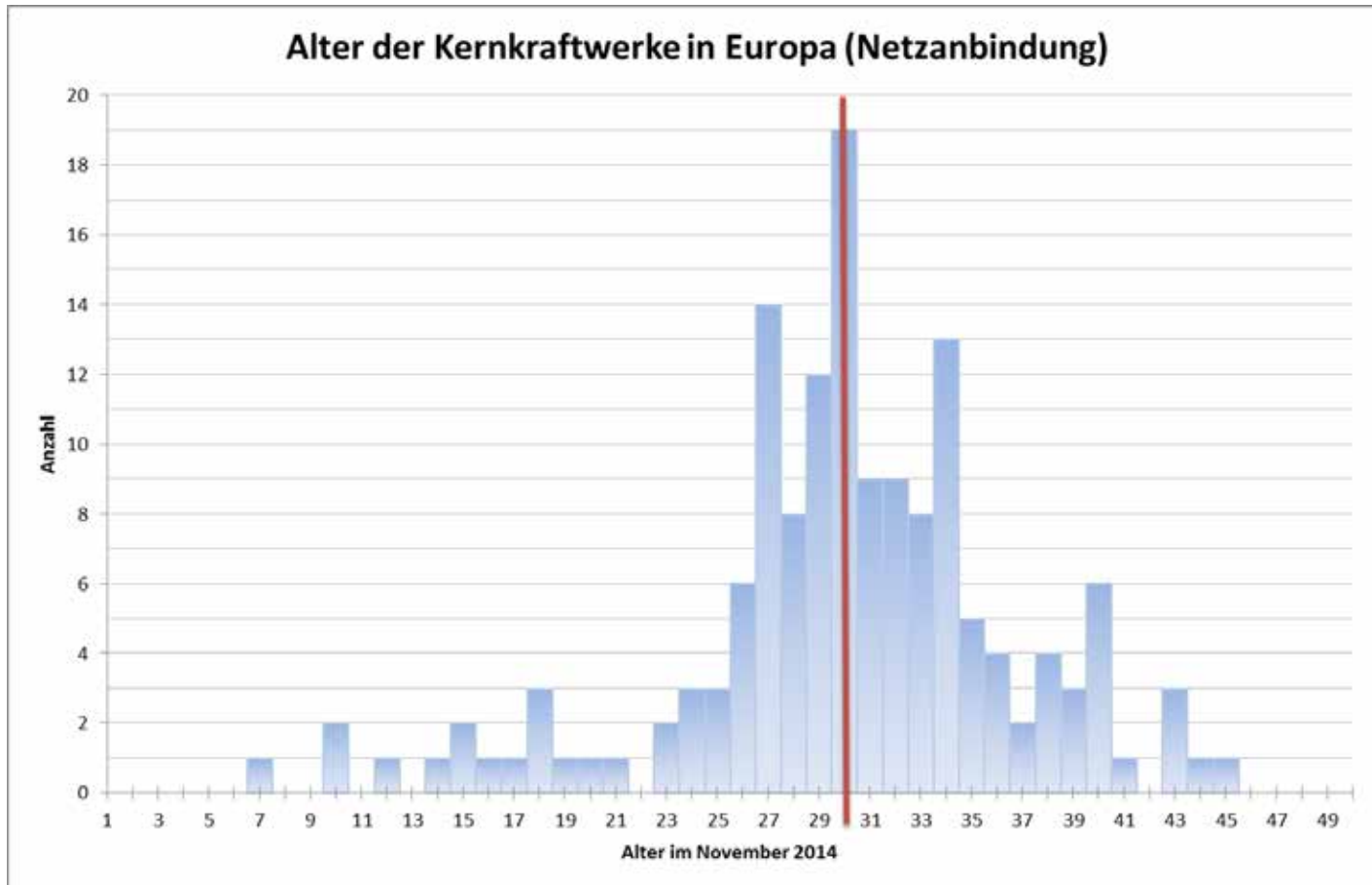
**1** Anlagenstatus in Europa

**2** Physikalische Alterung

**3** Konzeptionelle Alterung

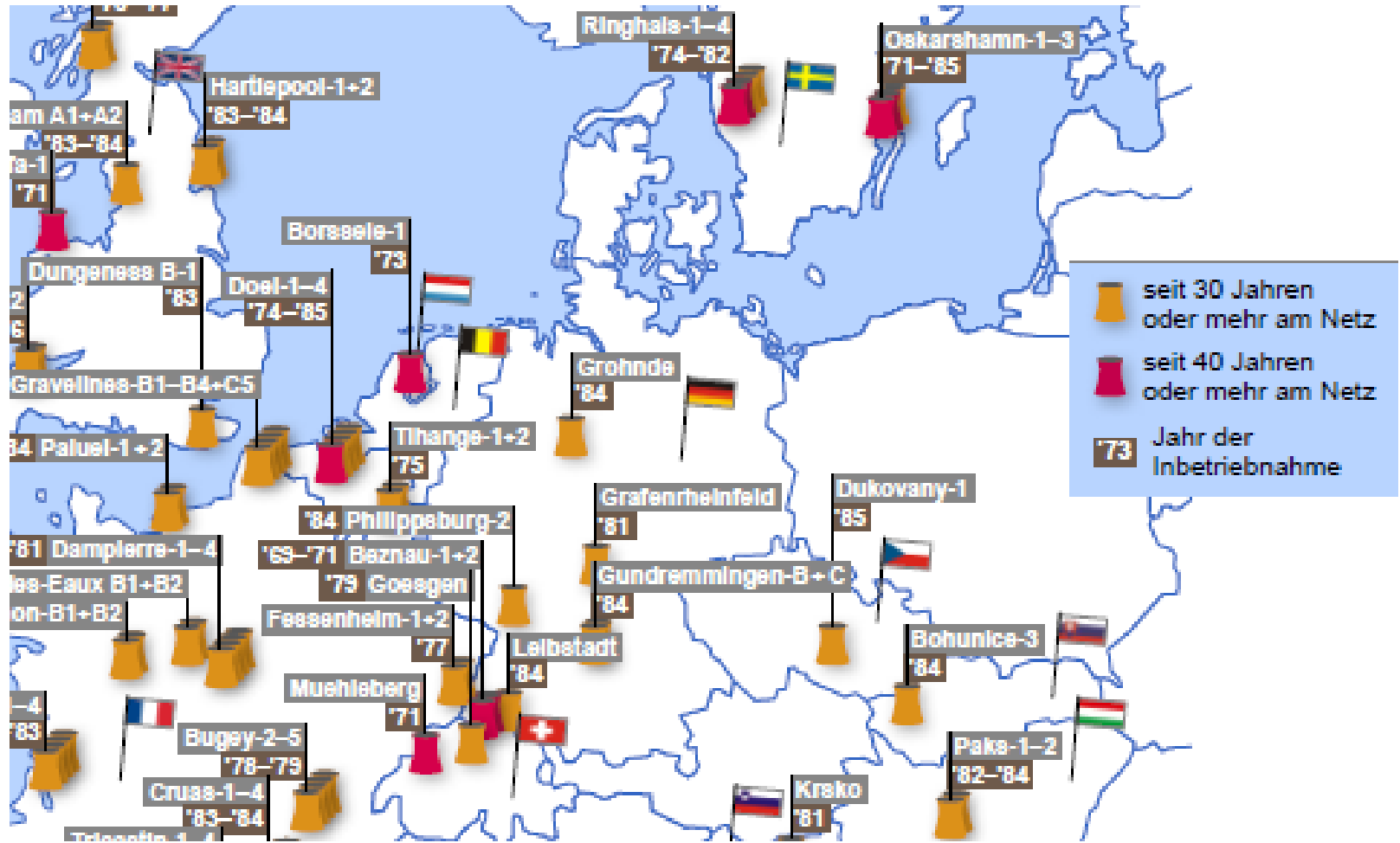
**4** Konsequenzen

# Anlagenstatus



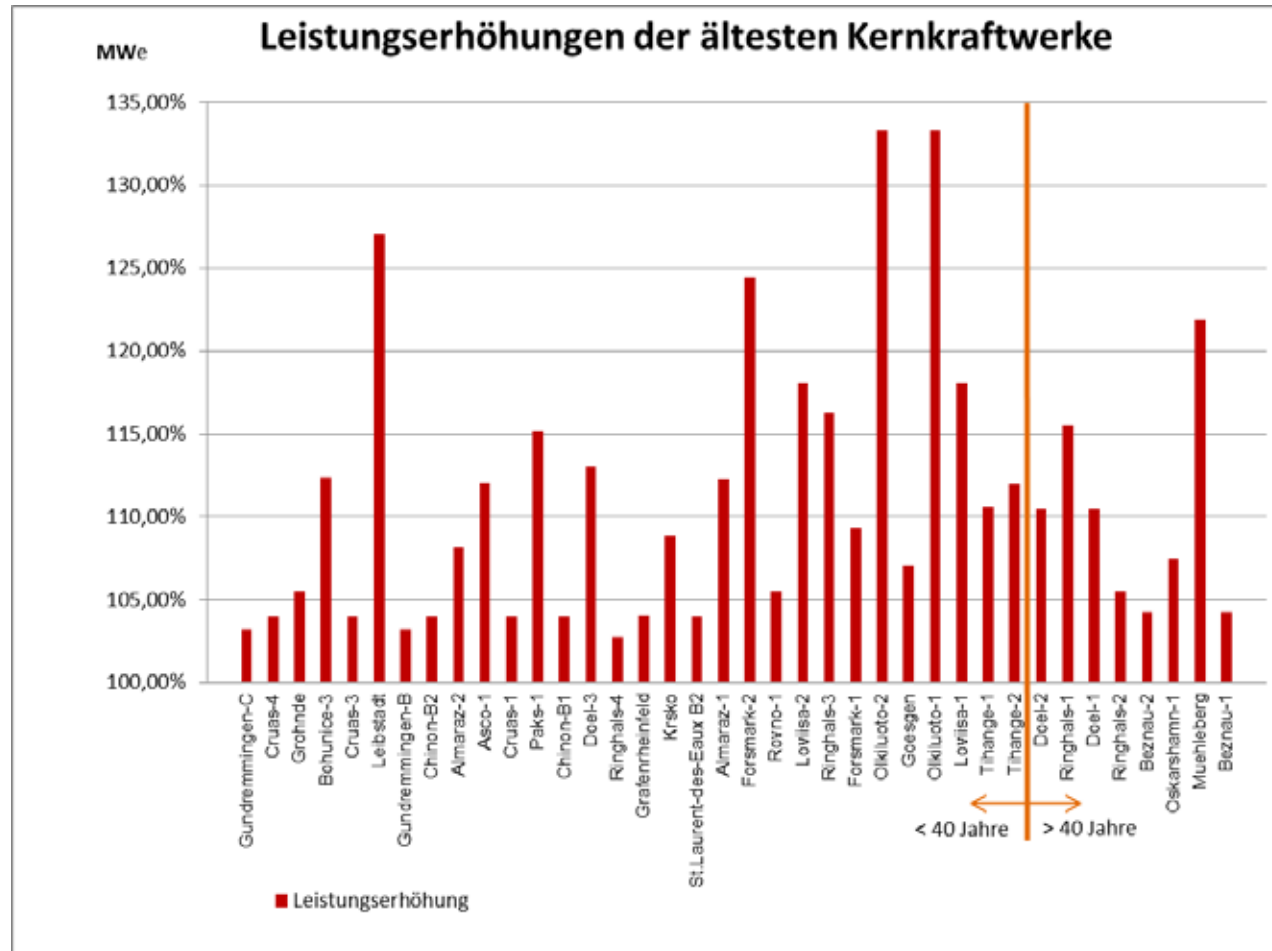
Kernkraftwerke der Europäischen Union inkl. Schweiz und Ukraine

# Anlagenstatus



Kernkraftwerke im grenznahen Bereich zu Deutschland

# Anlagenstatus



# Physikalische Alterung des Reaktordruckbehälters (Doel 3 und Tihange 2)

- Juni 2012 wurden Rissanzeigen im Grundwerkstoff im gesamten zylindrischen Bereich des RDBs des Belgischen Doel 3 Reaktors (nahezu 9000 Rissanzeigen) identifiziert. Ähnliche Schadstellen wurden September 2012 im RDB von Tihange 2 entdeckt. Beide Reaktoren wurden vom Netz genommen.
- Januar 2013: RSK-Stellungnahme geht von herstellungsbedingten Fehlern aus, wie sie als Ursache der im zylindrischen Teil des RDB von Doel-3 jetzt aufgefundenen Anzeigen vermutet werden („hydrogen flakes“), die für die RDB der im Leistungsbetrieb befindlichen deutschen Anlagen nicht anzunehmen sind.
- Derartige Herstellungsfehler können sich insbesondere mit zunehmender RDB-Versprödung, wie sie bei physikalischer Alterung üblich ist, auswirken.

# Physikalische Alterung des Reaktordruckbehälters (Doel 3 und Tihange 2)

- Mai 2013 stellte die Belgische Aufsichtsbehörde Belgic Federal Agency for Nuclear Control (FANC) fest: “However, there is little literature or experience about the influence of irradiation on flaw propagation in zones with hydrogen flakes. Hence, the potential evolution of the flaws under irradiation cannot be completely ruled out at this stage.”
- Juni 2013: Obwohl in Deutschland vergleichbare RDBs bereits vor der Inbetriebnahme aussortiert wurden, genehmigten die belgischen Aufsichtsbehörden den Weiterbetrieb von Doel 3 and Tihange 2 trotz reduzierter Sicherheitsmargen bei der Druckbehälterintegrität und Unsicherheit bezüglich des weiteren Rissfortschritts.
- März 2014 zeigten Tests an Materialien mit Rissanzeigen, dass die mechanischen Materialeigenschaften, insbesondere die Bruchzähigkeit stark beeinträchtigt waren. Die Reaktoren wurden wieder vom Netz genommen.

# Physikalische Alterung des Reaktordruckbehälters (Doel 3 und Tihange 2)

- Oktober 2014 Der belgische Betreiber Electrabel hat derzeit die dritte Testreihe angestrengt, um nachzuweisen, dass der Betrieb der RDBs trotz Rissanzeigen sicher ist. Der Betreiber hofft auf erneute Zulassung zum Betrieb von Doel 3 und Tihange 2.
- FANC führt derzeit ein Review durch, das die Argumentationskette des Betreibers als ausreichenden Sicherheitsnachweis prüfen soll.
- Dabei stellen sich eine Reihe von Fragen, wie z. B.: Sind die Ergebnisse der Bestrahlung einer Materialprobe in einem Forschungsreaktor in Zusammenhang mit Rissanzeigen repräsentativ für den Reaktorbetrieb alter RDBs?



## Physikalische Alterung von RDB-Einbauten (Mühleberg)



Kernkraftwerk Mühleberg (Schweiz), SWR, 43 Jahre:

Im Jahr 1990 wurden bei visuellen Inspektionen erstmalig bei einem europäischen KKW Risse in den Schweißnähten des Kernmantels festgestellt.

Die kritische Risslänge, die ein Kriterium für den obligatorischen Austausch des Kernmantels sein sollte, wurde zweimal neu festgelegt – jeweils kurz bevor die Risse die vorhergehende kritische Risslänge überschritten hatten.

Frühere Sicherheitsmargen wurden somit sukzessive reduziert.

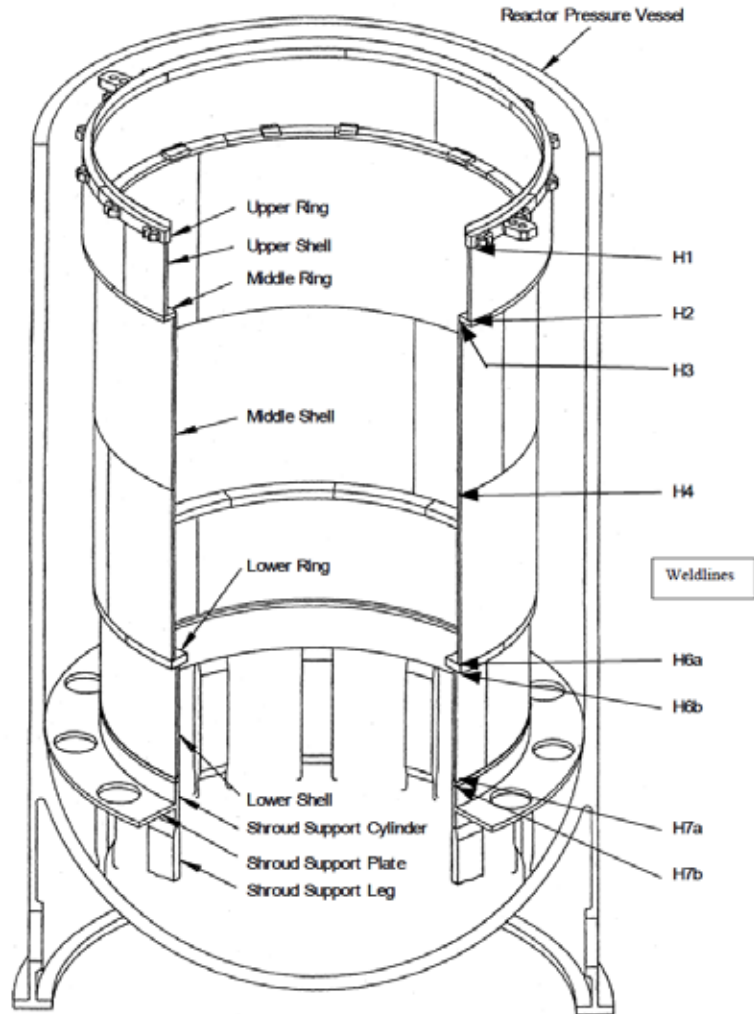
# Physikalische Alterung von RDB-Einbauten (Mühleberg)

Die Sicherheitsfunktionen von Kernmänteln beim SWR sind<sup>1</sup>:

- Unterstützung des Reaktorkerns unter allen Belastungssituationen,
- Beibehaltung einer kühlbaren Geometrie des Kerns,
- Sicherstellung des Einfalls der Reaktorsteuerstäbe und der Reaktivitätskontrolle,
- Sicherstellung der Abschaltbarkeit des Reaktors

„In Unfallsituationen, wie bei einem Erdbeben (horizontale Beschleunigung) oder bei einem Bruch der Reaktor-Umwälzschleife (horizontale Querströmung im Reaktor), muss der Kernmantel die auftretenden horizontalen Kräfte abtragen, da sich sonst der Kern gegenüber dem oberen bzw. unteren Kerngitter verschiebt. Eine solche Verschiebung hätte zur Folge, dass die für eine Reaktorschnellabschaltung benötigten Steuerstäbe nicht in den Kern eingefahren werden können und dass die Notkühlung und Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkern beeinträchtigt werden könnte.“<sup>2</sup>

# Physikalische Alterung von RDB-Einbauten (Mühleberg)



Die interkristalline Spannungsrissskorrosion kann sich auch auf andere Einbauten im RDB auswirken, z.B. die Kernsprühleitungen für die Kernnotkühlung.

Die längsten Risse wurden im Mittelbereich des Kernmantels gefunden, also im aktivsten Bereich des Kerns.

An den Längsnähten wurden bisher keine Rissanzeigen gefunden, eine Kreuzung zwischen Längs- und Umfangsnähten ist jedoch im Bereich des Möglichen.

International wurden die Kernmäntel oft ausgetauscht. Zugankerkonstruktionen gelten nur als Plan B.

# Physikalische Alterung von RDB-Einbauten (Mühleberg)

Neues Ultraschall-Prüfverfahren verringert die Befundanzeigen: Entwicklung der Anzeigen der Rundnaht 11 (L: Risslänge,  $\Delta$ : Differenz zeitlich aufeinander folgender Anzeigenlängen)

Jahr der Prüfung	Rissbereich (RB) 1				RB 2		RB 3		RB 4		RB 5		RB 6				<sup>3)</sup> RB 7		RB 1 – 3		RB 1 – 7
	Anzeige #1		<sup>1)</sup> Anzeige #2		Anzeigen #4 und #5		Anzeige #6		Anzeige #7		Anzeige #8		Anzeige #9		Anzeige #10		Anzeige #11		$\Sigma$ L	$\Sigma\Delta$	$\Sigma$ L
	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	L [mm]	$\Delta$ [mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1993	*69		77		*388		185												719		719
1994	69	0	86	9	395	7	193	8											743	24	743
1995	74	5	79	-7	453	58	278	85											884	141	884
1996	79	5	77	-2	458	5	276	-2	50										890	5	940
1997	82	3	<sup>2)</sup>	6	482	24	276	0	<sup>2)</sup>	18											
1998	72	-10	*83		578	96	307	31	68										1040	120	1108
1999	87	15	*115	32	620	42	329	22	69	1	223								1151	111	1443
2000	95	8	*115	0	660	40	350	21	69	0	278	55							1220	69	1567
2001	98	3	*115	0	721	61	366	16	66	-3	278	0							1300	80	1544
2002	103	5	*117	2	747	26	376	10	61	-5	281	3	95		85				1343	43	1865
2003	122	19	*122	5	805	58	384	8	72	11	305	24	159	64	111	26			1433	90	2080
2005	127	5	*130	8	869	64	400	16	69	-3	331	26	244	85	167	56	129		1526	93	2466
2006													254	10	185	18					
2007	135	8	130	0	914	45	413	13	66	-3	352	21	254	0	183	-2	241	112	1592	66	2688
2009	140	5	130	0	935	21	421	8	66	0	352	0	260	6	185	2	297	56	1628	34	2786
2011	141	1	<sup>4)</sup> 73	-57	<sup>4)</sup> 932	-3	<sup>4)</sup> 381	-40	73	7	326	-26	<sup>4)</sup> 268	8	159	-26	304	7	1247	-379	2321
mittleres Wachstum bis 2005 [mm/Jahr]	5,0		4,9		43,6		18,2		1,4		15,4		48,6		27,4				71,0		
mittleres Wachstum 2005 bis 2011 [mm/Jahr]	2,3		0		10,5		0		0,7		0		4,0		0		<sup>3)</sup> 22,5		0		

- <sup>1)</sup> Die bis 1996 noch getrennt geführten Anzeigen #2 und #3 wurden bis 2009 als durchgehende Anzeige #2 geführt. 2011 wurde diese wieder als 2 getrennte Anzeigen bestätigt.
- <sup>2)</sup> Für die Anzeigen #2 und #7 waren 1997 die Längen wegen Einschränkungen durch die Zuganker nicht bestimmbar (siehe Prüfberichte 1997 und 1998).
- <sup>3)</sup> Der RB 7 bestand 2005 aus zwei getrennten Anzeigen, die bis 2007 zusammengewachsen sind. Das mittlere Wachstum der äusseren Enden des Rissbereiches beträgt 22,5 mm.
- <sup>4)</sup> Diese Anzeigen wurden 2011 mit der verbesserten Prüftechnik als 2 bzw. 3 getrennte Anzeigen bestimmt.
- \* Diese Werte sind gegenüber den ursprünglichen Angaben aufgrund nachträglicher Erkenntnisse (Prüfberichte 1994 und 2007) angepasst.

# Physikalische Alterung von RDB-Einbauten

## Aktueller Stand Oktober 2014:

- Mittlerweile sind neue Risse im Kernmantel, senkrecht zu den Schweißnähten aufgetaucht.
- Der Betreiber will den Reaktor weiter betreiben, ohne Austausch des Kernmantels, mit erneutem Instandhaltungskonzept. Die Aufsichtsbehörde prüft noch.

# Physikalische und konzeptionelle Alterung von Containments



Schadmechanismen durch Alkali-Silizium-Reaktion, mehr als 50% der Oberfläche, bis zu 30 cm tief. (Tihange)



Nachrüstungen von Großkomponenten erfordern bei älteren Anlagen eine Öffnung des Containments (Doel 2)



# Konzeptionelle Alterung



Fort Calhaun 2011

# Konzeptionelle Alterung



ENSREG-Stresstest:  
Nachrüstungsbedarf beim  
Überflutungsschutz in den KKW  
Borssele und Graveline





## Konzeptionelle Alterung

- “The Borssele power plant site in the Netherlands relies on the flood protection provided by the network of dykes in Zeeland. The operator has been required to improve the flood protection to withstand a flooding of 4,000 year return period, in order to comply with Dutch legal requirements. Even then, however, the site would not be protected against a flood with a 10,000 year return period, as required by the new WENRA reference level.”
- “1'000 year storm surge + tide 120 for the costal sites of Flamanville, Gravelines ....”

## Konsequenzen in Deutschland

### 6. Vertragskonferenz der Espoo Konvention (Juni 2014):

- Die Espoo Konvention ist ein von der UN-ECE (Wirtschaftskommission für Europa bei den Vereinten Nationen) eingeführtes Übereinkommen, das in bestimmten Angelegenheiten eine grenzüberschreitende Umweltverträglichkeitsprüfung fordert. Das Verfahren wurde eingeführt, da sich Umweltauswirkungen, die von einem Staat verursacht werden, in der Regel auch auf das Gebiet anderer Staaten ausweiten können. Verursacherstaaten müssen deshalb Nachbarstaaten rechtzeitig über ihre Vorhaben informieren.
- Alle deutschen Nachbarstaaten haben die Konvention unterzeichnet.
- Ein Leitfaden für die praktische Anwendung der Espoo-Konvention richtet sich an zuständige Behörden/Kontaktstellen auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene, aber auch an internationale Finanzierungsinstitutionen und NGOs

## Fazit

- Derzeit gibt es keinen wohldefinierten Maßstab dafür, wann (über eine Einzeldetailprüfung und -bewertung hinaus) das Sicherheitsniveau einer Anlage insgesamt (also unter Berücksichtigung aller einzelnen physikalischen, technischen und konzeptionellen Alterungsaspekten in Summe) aus heutiger Sicht nicht mehr ausreichend ist.
- Vorhandene Schadmechanismen aufgrund physikalischer Alterung werden weiter beobachtet, die fortschreitende Reduzierung von Sicherheitsmargen wird in Kauf genommen.
- Nachrüstungen bei Auslegungsdefiziten aufgrund konzeptioneller Alterung sind nur in begrenztem Maße möglich.
- Deutschland sollte sich verstärkt international einbringen. Ein Beispiel hierfür kann die Teilnahme an grenzüberschreitenden UVPs gemäß Espoo-Konvention sein.

## Ihre Ansprechpartner

---

### **Dipl.-Ing. Simone Mohr**

**Öko-Institut e.V.**

Büro Darmstadt  
Rheinstrasse 95  
64295 Darmstadt

Telefon: +49 6151 8191-146

E-Mail: [s.mohr@oeko.de](mailto:s.mohr@oeko.de)

### **Dipl.-Ing. Stephan Kurth**

**Öko-Institut e.V.**

Büro Darmstadt  
Rheinstrasse 95  
64295 Darmstadt

Telefon +49 6151 8191-108

E-Mail: [s.kurth@oeko.de](mailto:s.kurth@oeko.de)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!  
Thank you for your attention!