

Fukushima und kein Ende

Ursachen, Ablauf und Konsequenzen des Reaktorunfalls

Dr. Christoph Pistner
Energie für die Zukunft

Centralstation Darmstadt
07.10.2013



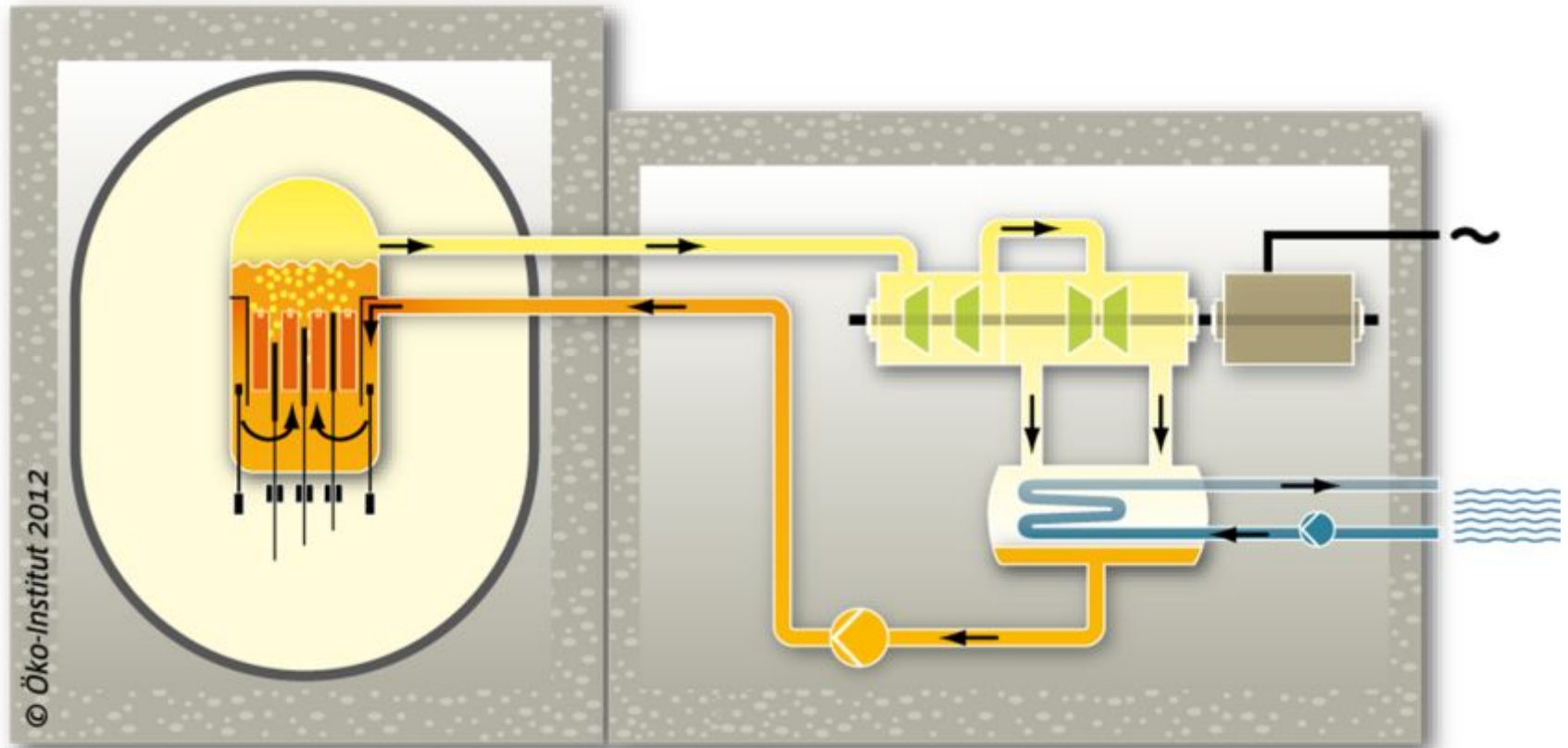
Übersicht

- 1** Grundlagen Reaktortechnik
- 2** Die Anlage Fukushima Daiichi
- 3** Das Ereignis
- 4** Die Auswirkungen
- 5** Heutiger Zustand und Nächste Schritte

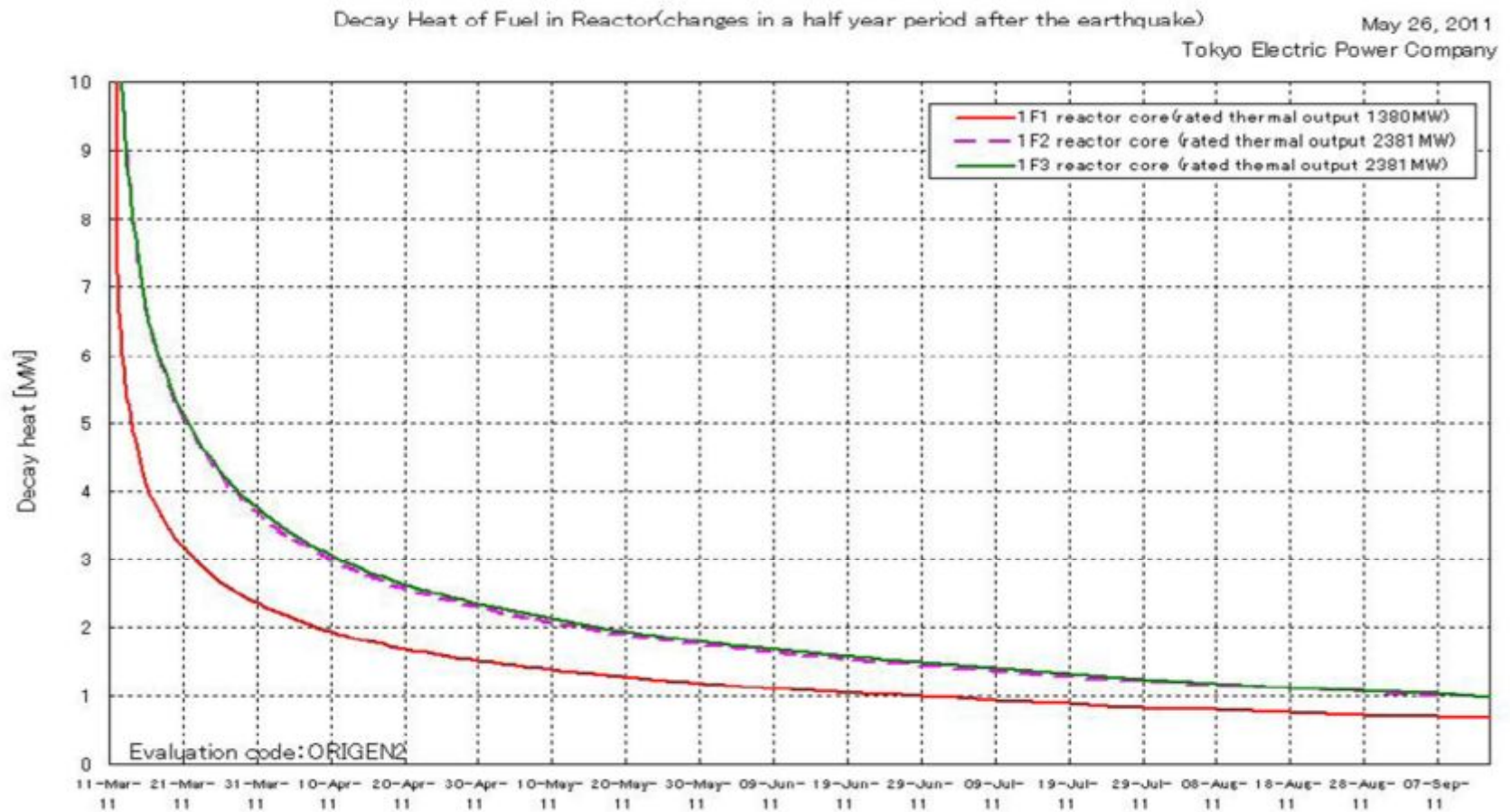
1

Grundlagen Reaktortechnik

Siedewasserreaktoren



Nachzerfallsleistung in Fukushima: 6 Monate



Was bedeutet das?

Block 1, Fukushima Daiichi, thermische Leistung 1.380 MW, Kühlung durch Verdampfung:

- Nach einer Stunde ca. 22 MW
→ 31 Tonnen Wasser pro Stunde
- Nach einem Tag ca. 11 MW
→ 15 Tonnen Wasser pro Stunde
- 1. Juli 2011 ca. 1 MW = 1000 kW
→ 1,4 Tonnen Wasser pro Stunde

- Aktuell (4.10.2013), Kühlung ohne Verdampfung
→ 4,4 Tonnen Wasser pro Stunde

Kernschmelze

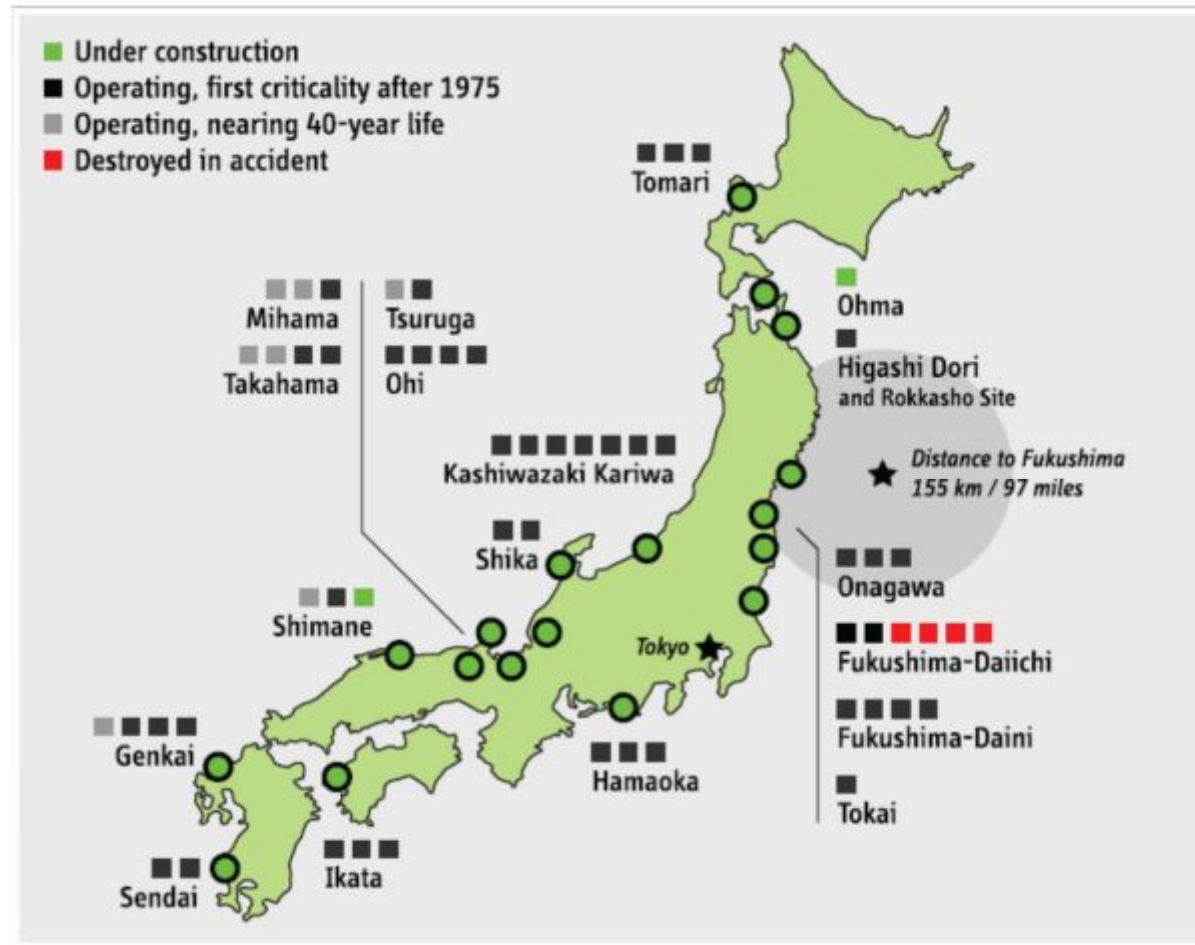
- Etwa 1200°C: Bersten von Brennstabhüllrohren, Beginn Spaltproduktfreisetzung
- 1300°C-1800°C: Zry-Oxidation, Wasserstoffbildung
- 1700°C: Schmelzpunkt Edelstahl
- 2030°C: Schmelzpunkt Zry
- 3120°C: Schmelzpunkt UO_2



2

Die Anlage Fukushima Daiichi

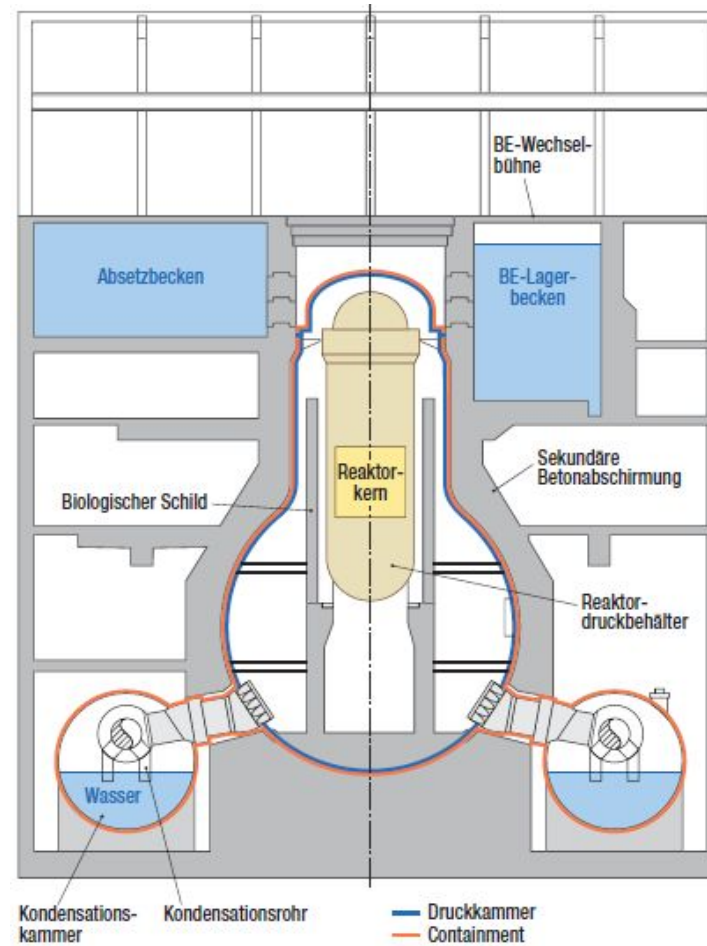
Kernkraftwerke in Japan



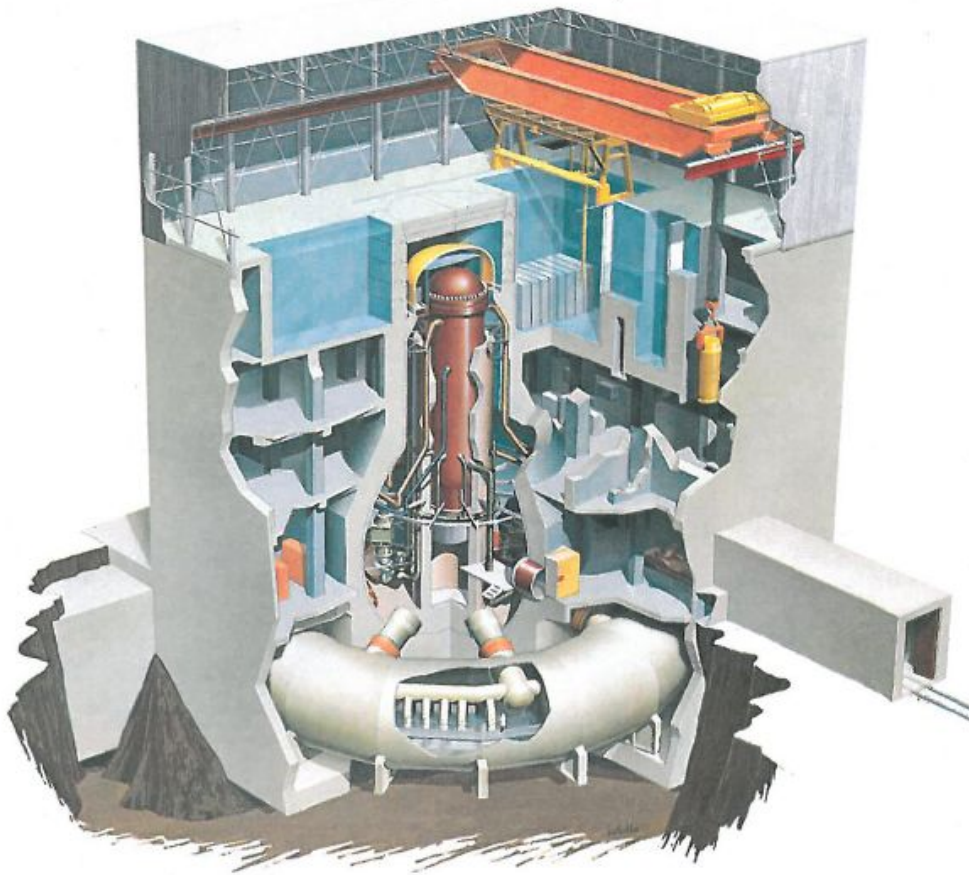
Fukushima Daiichi



Querschnitt Reaktorgebäude



Reaktorgebäude/Sicherheitsbehälter



3

Das Ereignis

Erdbeben I

- 11.03.2011, Vor 14:46 Uhr (japanische Ortszeiten)
 - Block 1-3 im Leistungsbetrieb
 - Block 4 in Revision, alle Brennelemente ins BE-Becken entladen
 - Block 5-6 in Revision, Kern im RDB, BE-Becken mit alten BE beladen
- 14:46 Uhr – Erdbeben Stärke 9,0

Erdbeben II

Loc. of seismometer (bottom floor of reactor bld.)		Record*1			Max. response acceleration to the DBGM Ss (Gal)		
		Max. acc. (Gal)					
		NS	EW	UD	NS	EW	UD
Fukushima Dai-ichi	Unit 1	460*2	447*2	258*2	487	489	412
	Unit 2	348*2	550*2	302*2	441	438	420
	Unit 3	322*2	507*2	231*2	449	441	429
	Unit 4	281*2	319*2	200*2	447	445	422
	Unit 5	311*2	548*2	256*2	452	452	427
	Unit 6	298*2	444*2	244	445	448	415

*1 These are temporal values, and may be corrected later.

*2 Each recording was interrupted at around 130-150 s from recording start time.

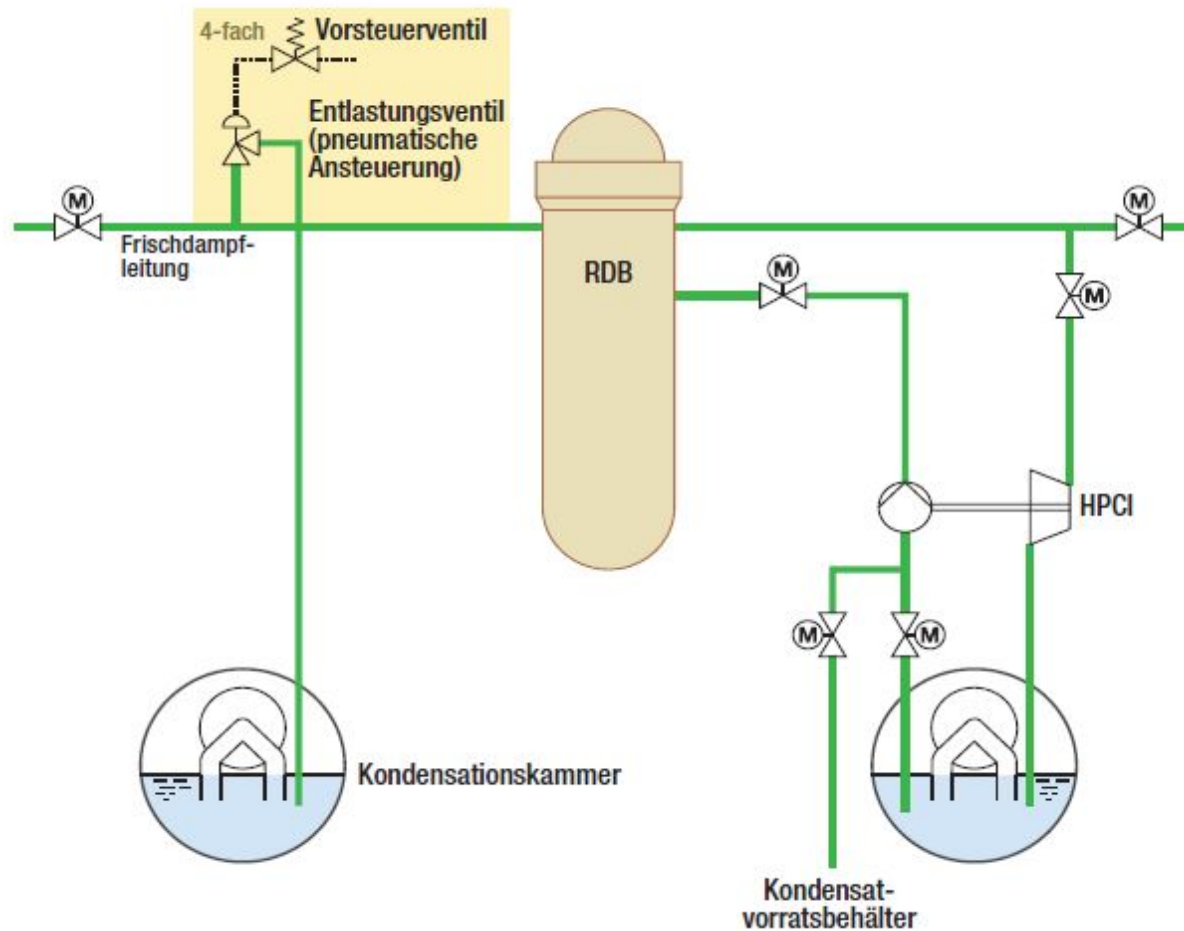
Verlust der externen Stromversorgung



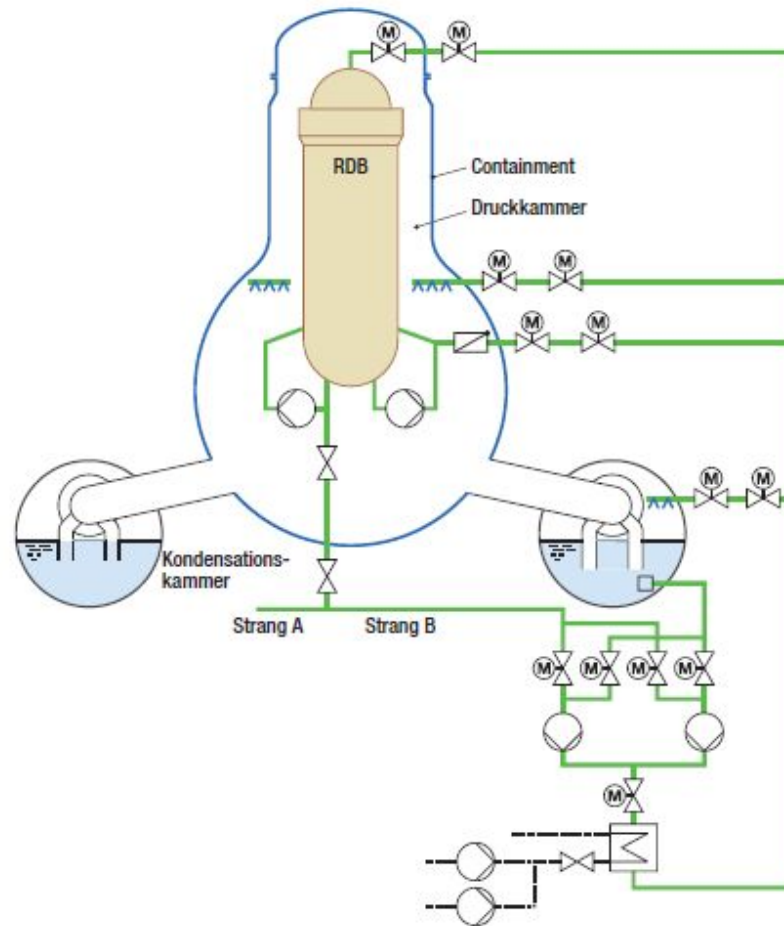
Erdbeben III

- Vor 14:46 Uhr
 - Block 1-3 im Leistungsbetrieb
 - Block 4 in Revision, alle Brennelemente ins BE-Becken entladen
 - Block 5-6 in Revision, Kern im RDB, BE-Becken mit alten BE beladen
- 14:46 Uhr – Erdbeben Stärke 9,0
 - Schnellabschaltung aller Reaktoren erfolgreich
 - Netzausfall: Notstromfall

Hochdruck-Einspeisesysteme



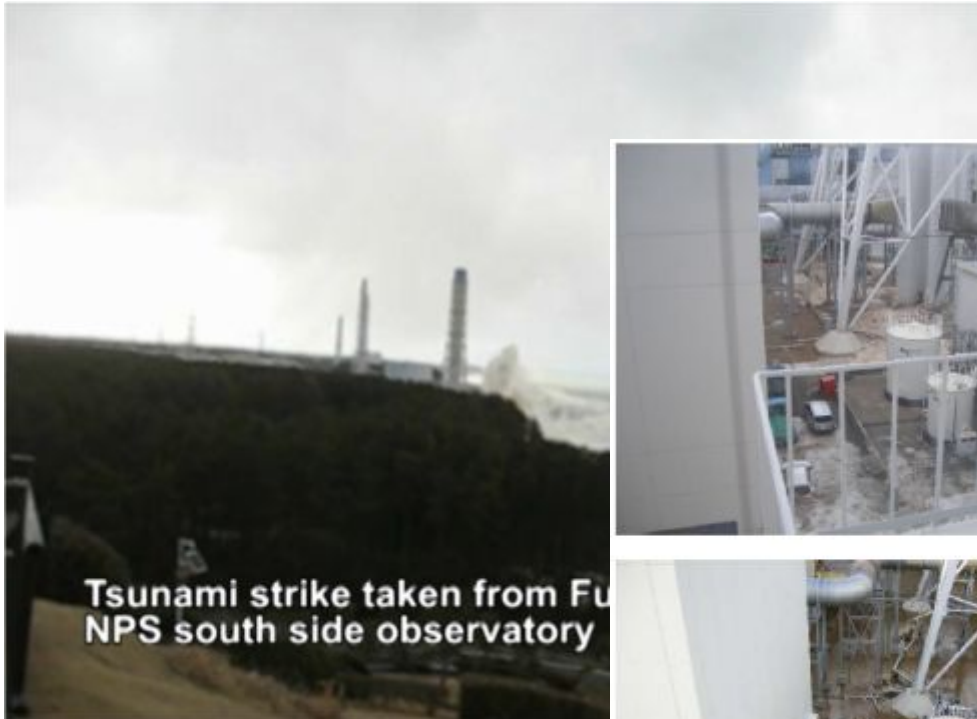
Niederdruck-Kühlsysteme



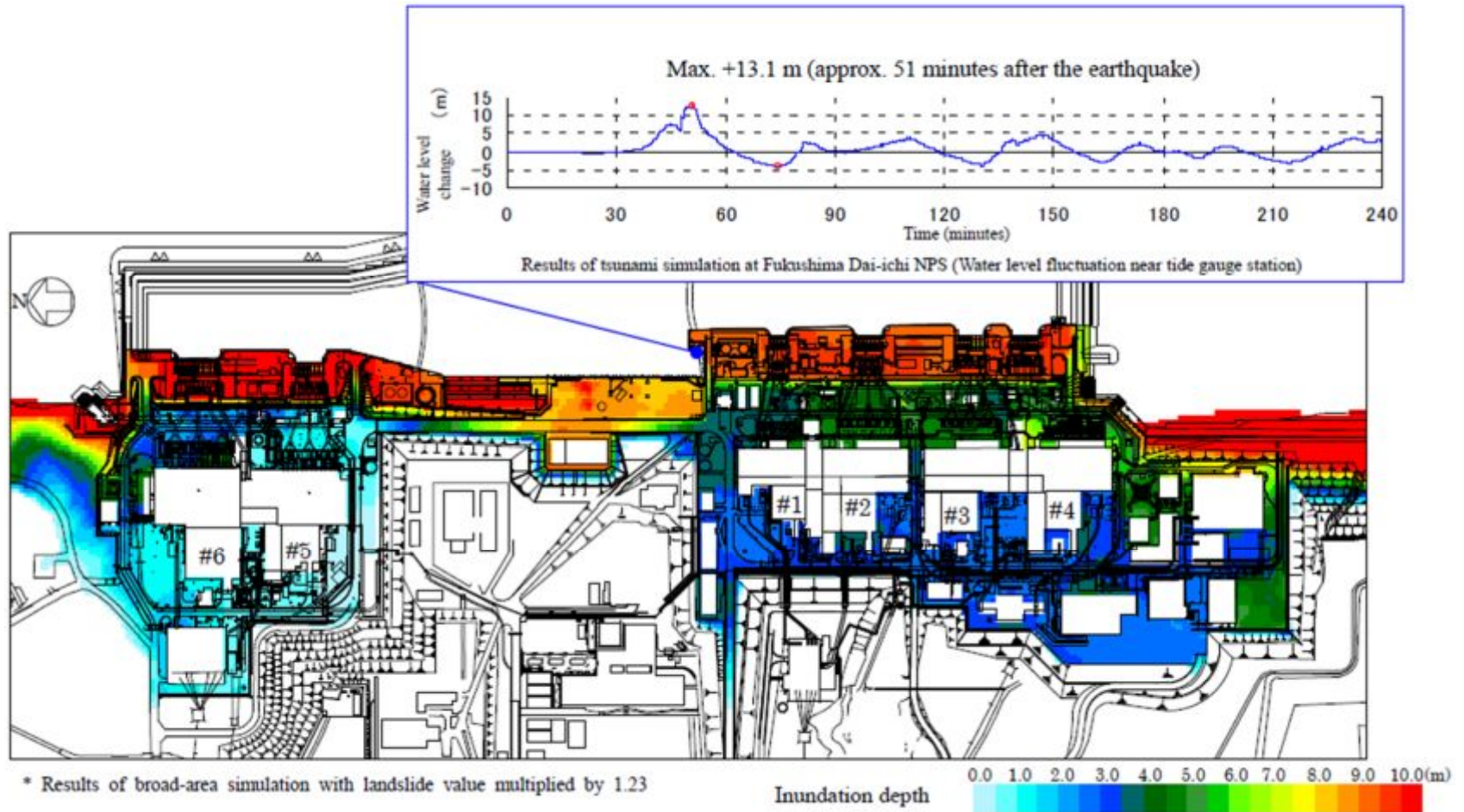
Tsunami I

- 15:37 Uhr – Tsunami erreicht Standort 
(ca. 14 m Flutwelle, Auslegung bis 5,7 m Höhe)

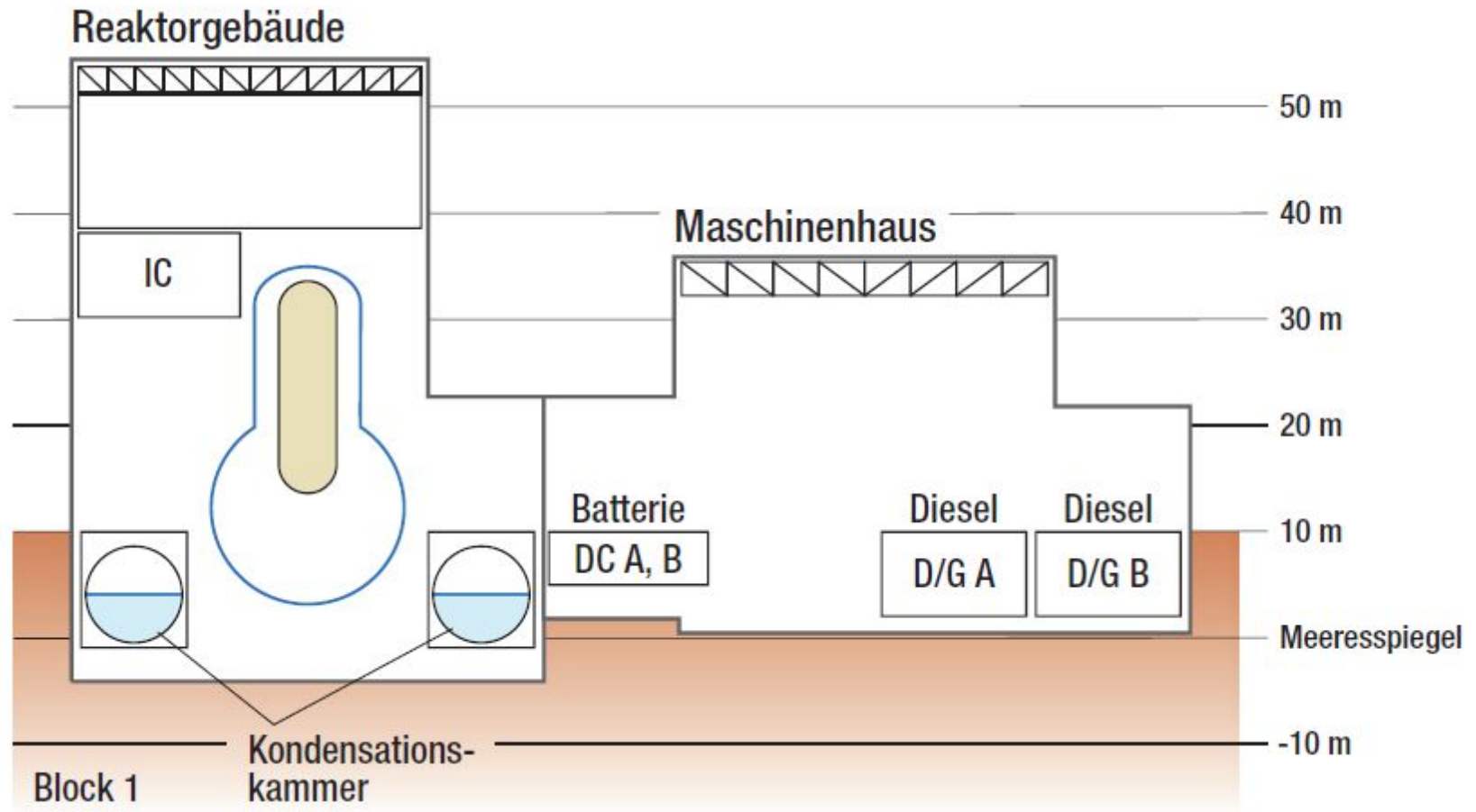
Tsunami II



Überflutung des Anlagengeländes



Notstrom-Systeme



Tsunami III

- 15:37 Uhr – Tsunami erreicht Standort 
(ca. 14 m Flutwelle, Auslegung bis 5,7 m Höhe)
 - Ausfall des Nebenkühlwassersystem
 - Ausfall der Notstromversorgung (direkt durch Ausfall Notstromdiesel oder indirekt durch Überschwemmung Schaltanlagen etc.), „Station Blackout“
 - In Block 1 und 2:
Ausfall Gleichstromversorgung, damit:
 - Ausfall der Systemsteuerungen (Start/Stop Pumpen, Verfahren von Armaturen)
 - Ausfall Instrumentierung (Drücke, Temperaturen, Füllstände etc.), Beleuchtung, Kommunikation

Arbeitsbedingungen (Aussagen von TEPCO-Angestellten)

“I asked for volunteers to manually open the vent valves. Young operators raised their hands as well; I was overwhelmed.”

“In total darkness, I could hear the unearthly sound of SRV dumping steam into the torus. I stepped on the torus to open the S/C spray valve, and my rubber boot melted.”

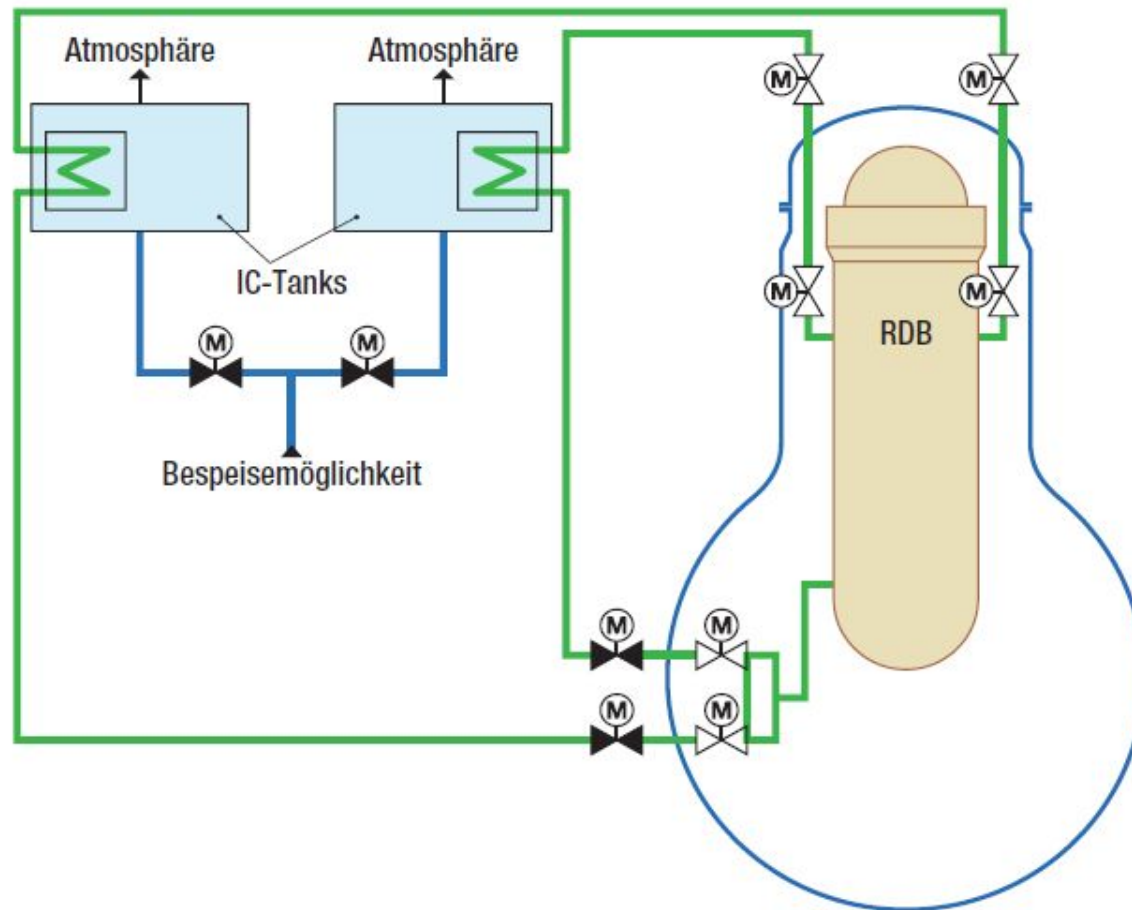
„After replacing an air cylinder for the PCV ventilation of Unit 3, I heard sound of steam and saw white mist around us. I got into a panic for a while.”

“There were so many manholes opened by the tsunami. In order to lay cables, we had to proceed step by step carefully checking safety in the complete darkness.”

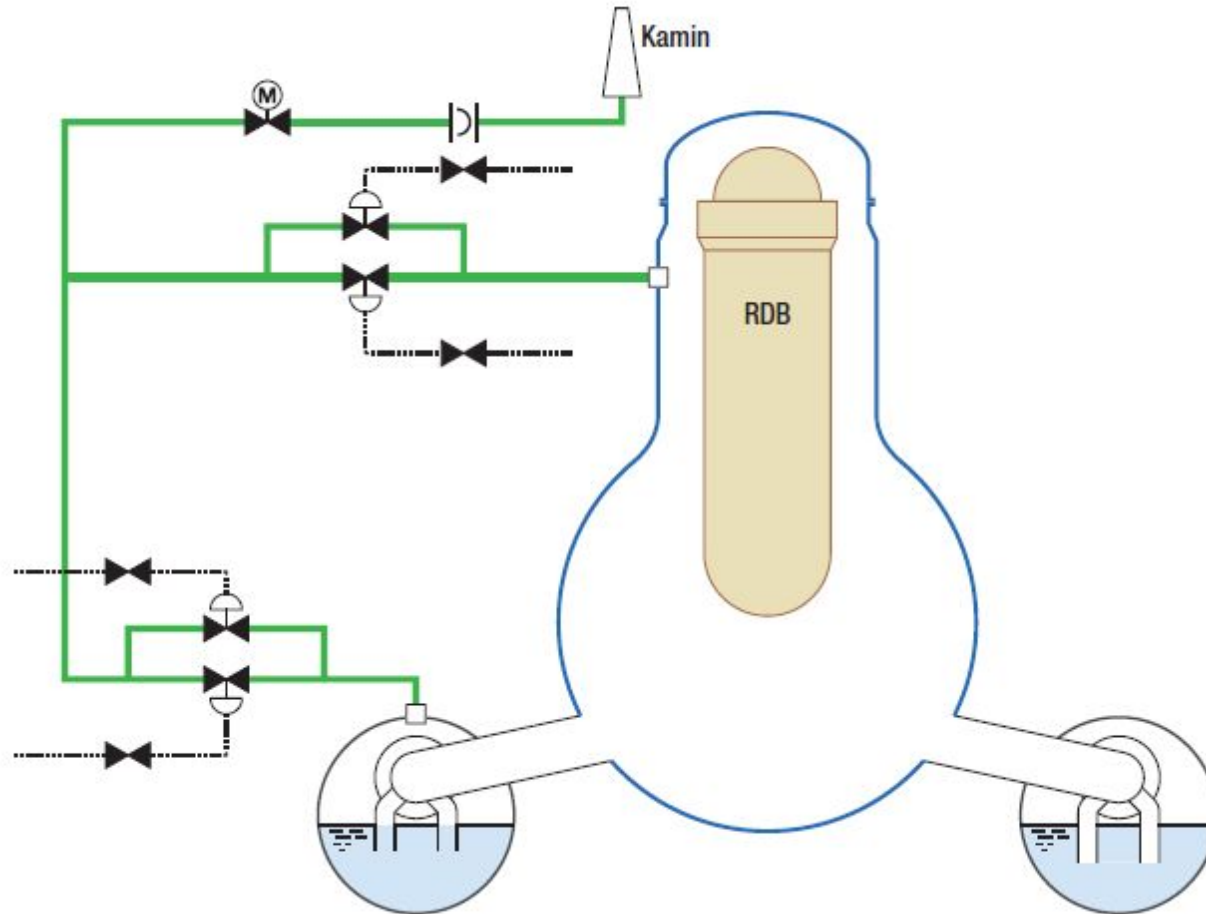
Tsunami II

- Wärmeabfuhr aus RDB über
 - Block 1: Isolation Condenser (IC, Notkondensator) oder
 - Block 2 und 3: Hochdruckeinspeisesysteme mit dampfgetriebenen Pumpen (zunächst RCIC, später HPCI,) in Wasservorlage des Torus

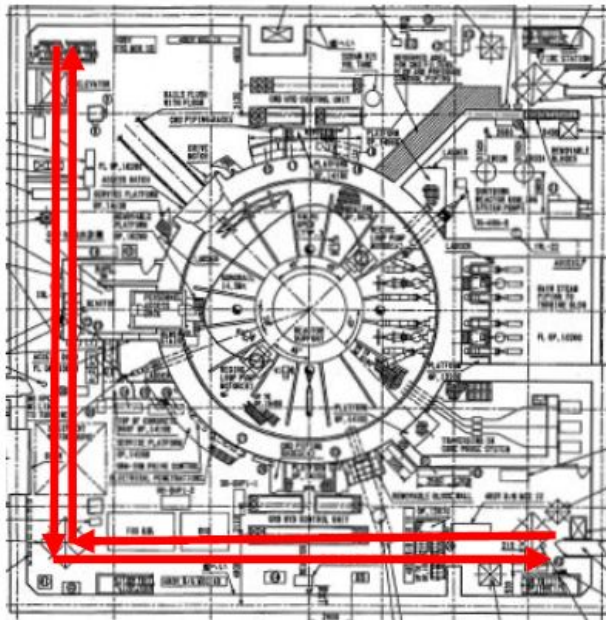
Notkondensator (Block 1)



Venting-System



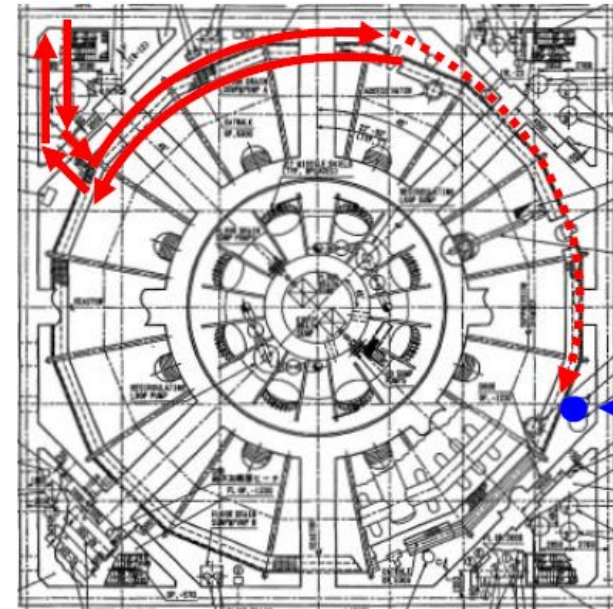
Manuelles Öffnen von Ventilen



**North-side
double door**

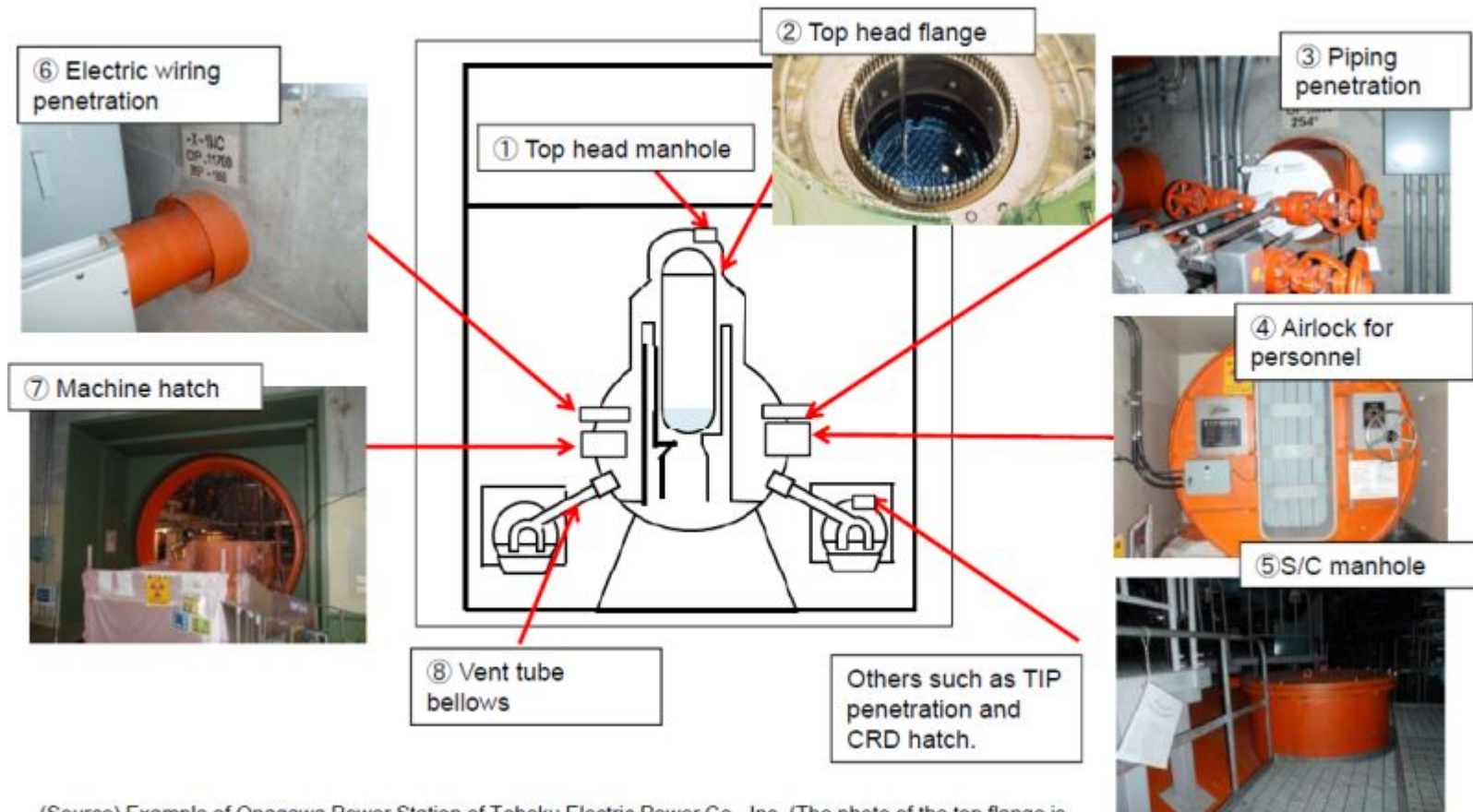
Dose at the
north-side
double
door was
high, and
south-
bound
course was
selected

**South-side
double door**



**S/C vent
valve
(AO valve)**

Wasserstofffreisetzung aus SHB



(Source) Example of Onagawa Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc. (The photo of the top flange is courtesy of Tokyo Electric Power Co., Inc.)

Folgen I

(auf Basis von Simulationsrechnungen)



- Block 1:
 - Verlust der Kühlung 11.03., 15:37 Uhr für ca. 14 Stunden
 - Kernzerstörung ab ca. 20:30 Uhr
 - Wasserstoffexplosion am 12.03., 15:36 Uhr



Folgen II

(auf Basis von Simulationsrechnungen)

- Block 3:
 - Verlust der Kühlung 13.03., 2:42 Uhr für ca. 6,5 Stunden
 - Kernzerstörung ab ca. 9:00 Uhr
 - Wasserstoffexplosion am 14.03., 11:01 Uhr ►
- Block 2:
 - Verlust der Kühlung 14.03., 13:25 Uhr für ca. 6,5 Stunden
 - Kernzerstörung ab ca. 20:00 Uhr
- Block 4: 15.03.2011, ca. 6:00 Uhr Explosion

Fukushima Daiichi, März 2011



Weitere Maßnahmen

- Wasserzufuhr durch Hubschrauber, Wasserwerfer, Feuerlöschfahrzeuge und Autobetonpumpe
- Wiederherstellung externen Stromversorgung
- Stabilisierung der Wassereinspeisungen
- Inertisierung der Containments
- Inspektionen Reaktorgebäude mit Personal und Robotern
- Dekontaminationsmaßnahmen und Einhausungen
- Speichern und Dekontaminieren von Kühlwasser
- Einstufung in INES Level 7 (bislang nur Tschernobyl)

Wesentliche Fehlerursachen (Auswahl I)

- Versagen der Atomaufsicht
 - Mangelnde Trennung Aufsicht/Betreiber
 - Keine „Sicherheitskultur“
- Auslegungsfehler (Unterschätzung Tsunamirisiko)
 - Begrenzte Nachrüstung von (Alt)anlagen
 - Mangelnde Umsetzung internationaler Erkenntnisse und Empfehlungen
- Defizite Notstromversorgung
 - Zu geringe Diversität, mangelnde räumliche Trennung, mangelnde Entmaschung (Kühlsysteme)
- Defizite Nebenkühlwasserversorgung
 - Keine Diversität, EVA-Festigkeit

Wesentliche Fehlerursachen (Auswahl II)

- Versagen von Notfallmaßnahmen
 - Notfallmaßnahmen weltweit als Reaktion auf Tschernobyl (1986) diskutiert, aber bislang nur teilweise umgesetzt
 - Notfallmaßnahmen nicht für Ereignisse von außen (Erdbeben, Hochwasser etc.) ausgelegt
 - Unzureichende Berücksichtigung von Unfallfolgen auf dem Anlagengelände (Zugänglichkeit, Radioaktivität)
- Unzureichende Durchführbarkeit von Maßnahmen bei Verlust der Stromversorgung

4

Die Auswirkungen

Risiken einer Strahlenexposition

Risiko (Annahme: lineare Dosis-/Wirkungsbeziehung)		
Dosis von 1 Sv:		
Tödliche Krebserkrankung und Nichttödliche Krebserkrankung	5,5%	1 : 18
Schwerwiegende vererbbaare Wirkungen	0,2 %	1 : 500
Insgesamt	5,7%	1 : 18
Dosis von 100 mSv:		
Alle Wirkungen	0,57%	1 : 175
Dosis von 1 mSv:		
Alle Wirkungen	0,005.7%	1 : 17.500
Dosis von 10 µSv:		
Alle Wirkungen	0,000.057%	1: 1.750.000

Unfallfolgen I

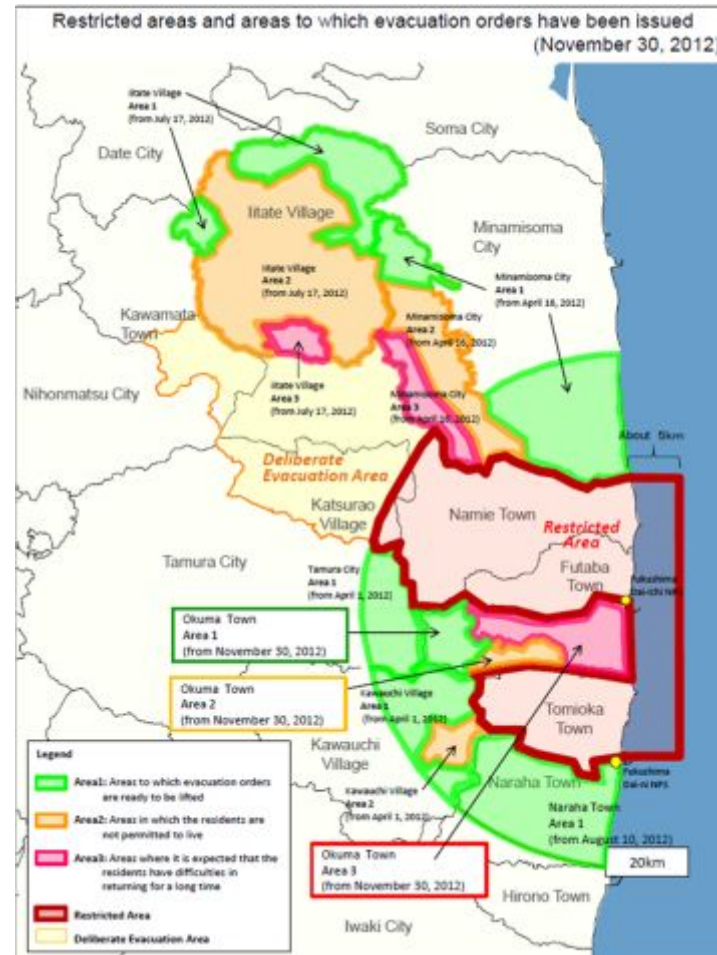


	8 Stunden Aufenthalt μSv		Ganzjahresaufenthalt mSv	
μSv/h	Min.	Max.	Min.	Max.
19-91	152	728	166	797
9,5-19	76	152	83	166
3,8-9,5	30	76	33	83
1,9-3,8	15	30	17	33
1,0-1,9	8	15	9	17
< 1,0		< 8		< 9

Das bedeutet:

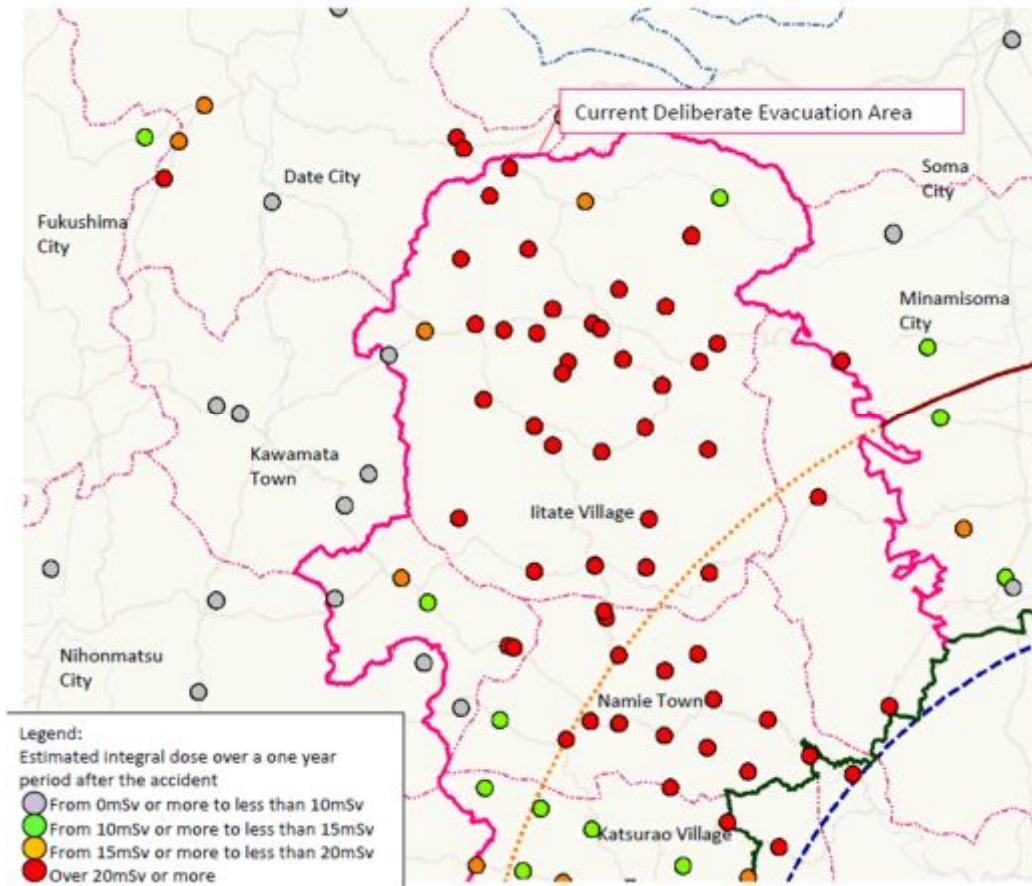
	Umsiedlungsrichtwert D überschritten (100 mSv ganzj.), auch kurzzeitiger Aufenthalt verursacht schon nennenswerte Strahlenbelastungen
	Dosisgrenzwert von 1mSv/a für normalbetriebliche Emissionen durch ODL zehnfach überschritten

Unfallfolgen II



Unfallfolgen III

Deliberate Evacuation Area and Specific Spots Recommended for Evacuation



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



Die Region Fukushima



5

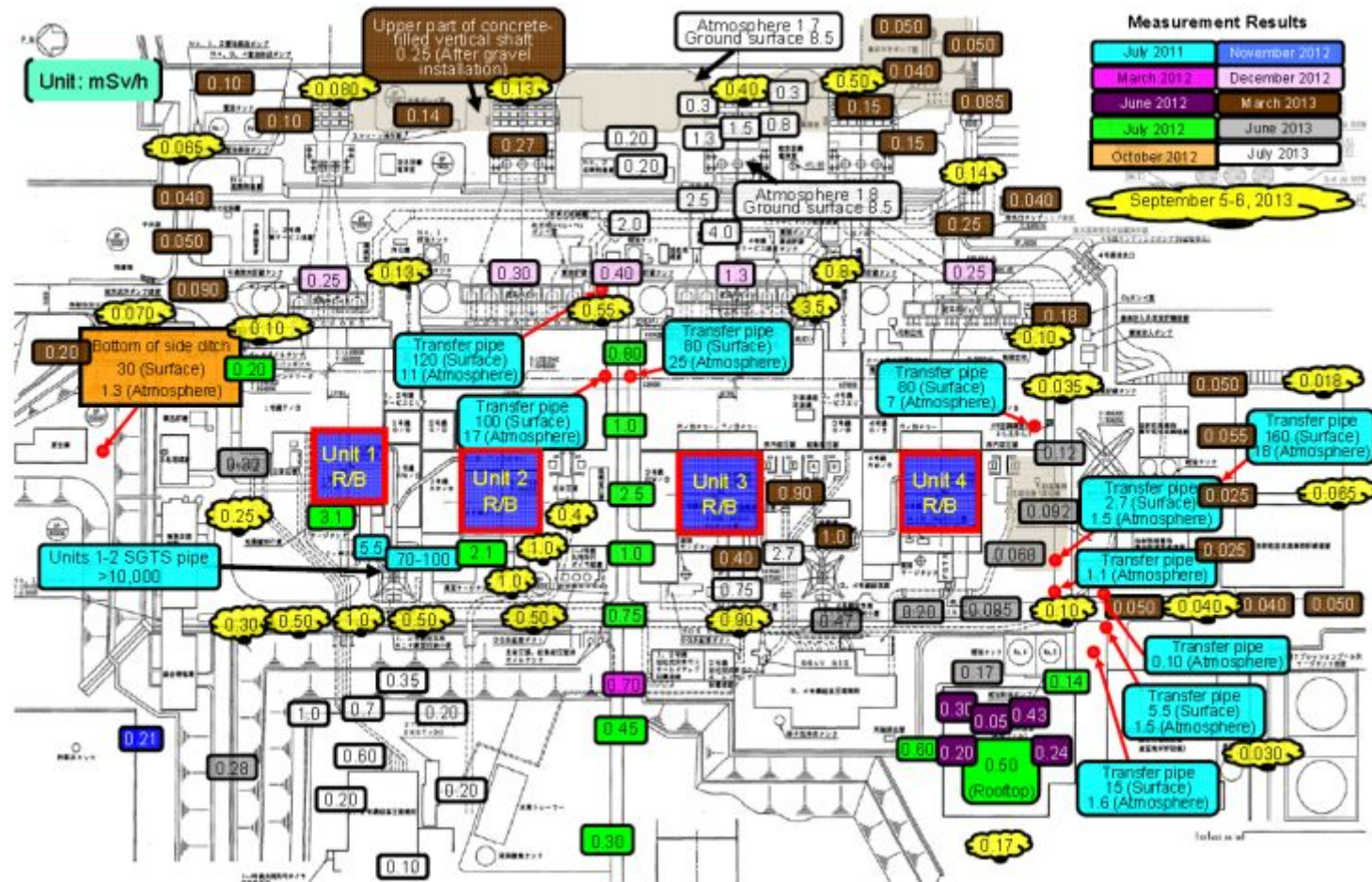
Heutiger Zustand und Nächste Schritte

Heutiger Zustand

- Kernschäden Block 1-3
- Reaktordruckbehälter Block 1-3 beschädigt
- Sicherheitsbehälter undicht
- Reaktorgebäude Block 1, 3 und 4 stark zerstört
- Kontinuierliche Kühlmiteileinspeisung erforderlich, hochkontaminiertes Kühlmittel im Kreislauf fördern
- Brennelementlagerbecken: Kühlung über Wärmetauscher
- Block 1: Einhausung abgeschlossen
- Block 3: Trümmerbeseitigung
- Block 4: Gerüst und Einhausung zur BE-Entladung aufgebaut

Fukushima Daiichi

(9. September 2013, 5:00 Uhr jap. Ortszeit)



Nächste Schritte

- Stabilisieren der Gebäude (ca. 2 Jahre)
- Bergung des Brennstoffs aus den Lagerbecken (ca. 10 Jahre)
 - Reparaturen und Dekontamination der Reaktorgebäude
 - Errichten Krananlagen
- Bergung des Brennstoffs aus den RDBs (ca. 30-40 Jahre)
 - Reparaturen der Sicherheitsbehälter
 - Fluten der Sicherheitsbehälter mit Wasser
 - Öffnen Sicherheitsbehälter und Reaktordruckbehälter
 - Verpacken des Brennstoffs in Behälter

Einhausung Block I



Trümmerbeseitigung Block III



Brennelemente Entladung Block IV



(1) Before the steel frame construction was started (December 18, 2012)



(2) Completion of the first layer of the steel framing (January 14, 2013)



(3) Completion of the steel frame construction excluding the upper part of the Reactor Building (April 10, 2013)



(4) Completion of the steel frame construction (May 29, 2013)



(5) Completion of outer wall and roof panel installation (July 20, 2013)

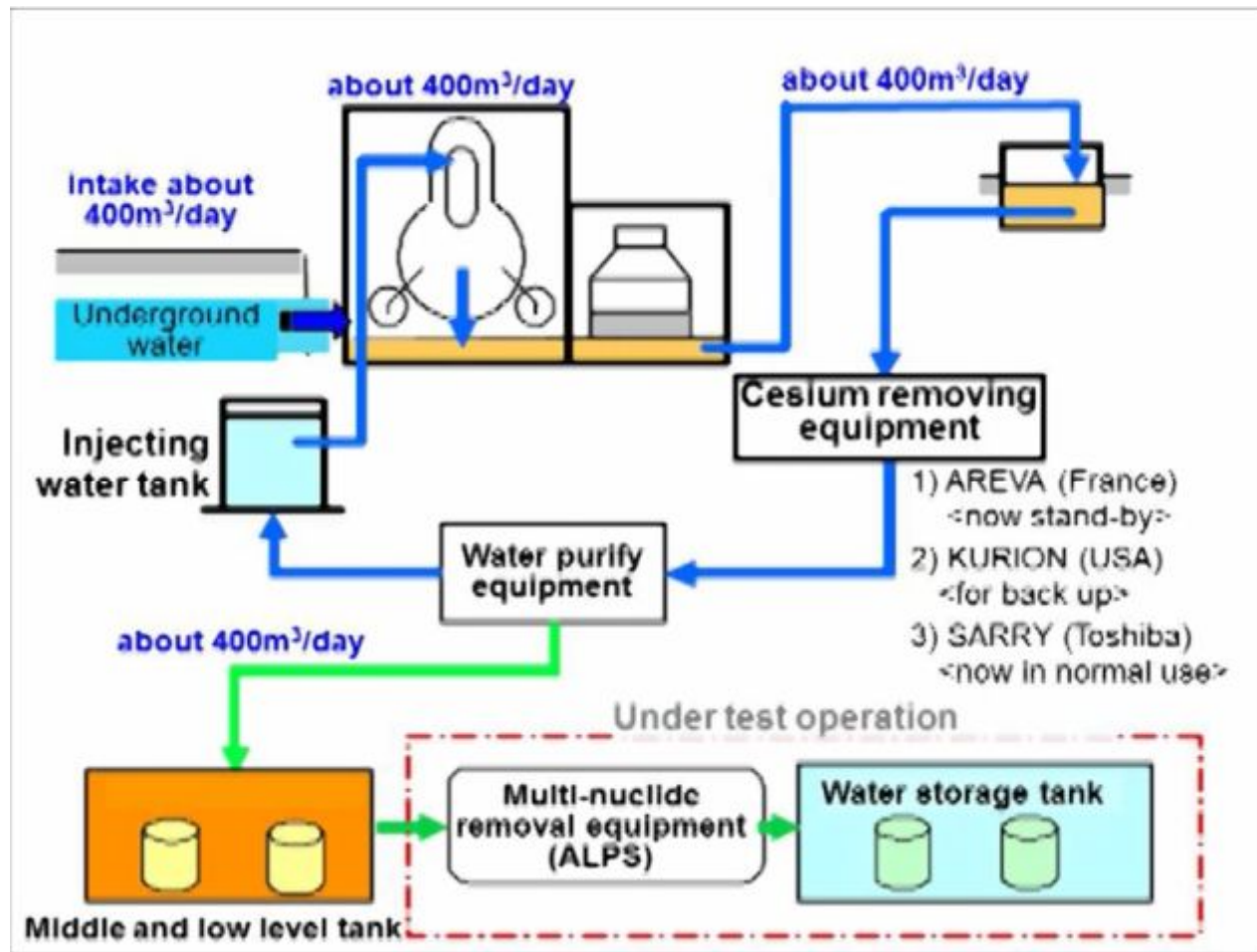


Simulated image of the cover to be installed for fuel removal

Brennelemente Entladung Block IV (Oktober 2013)



Kühlung und Wasserkreislauf I

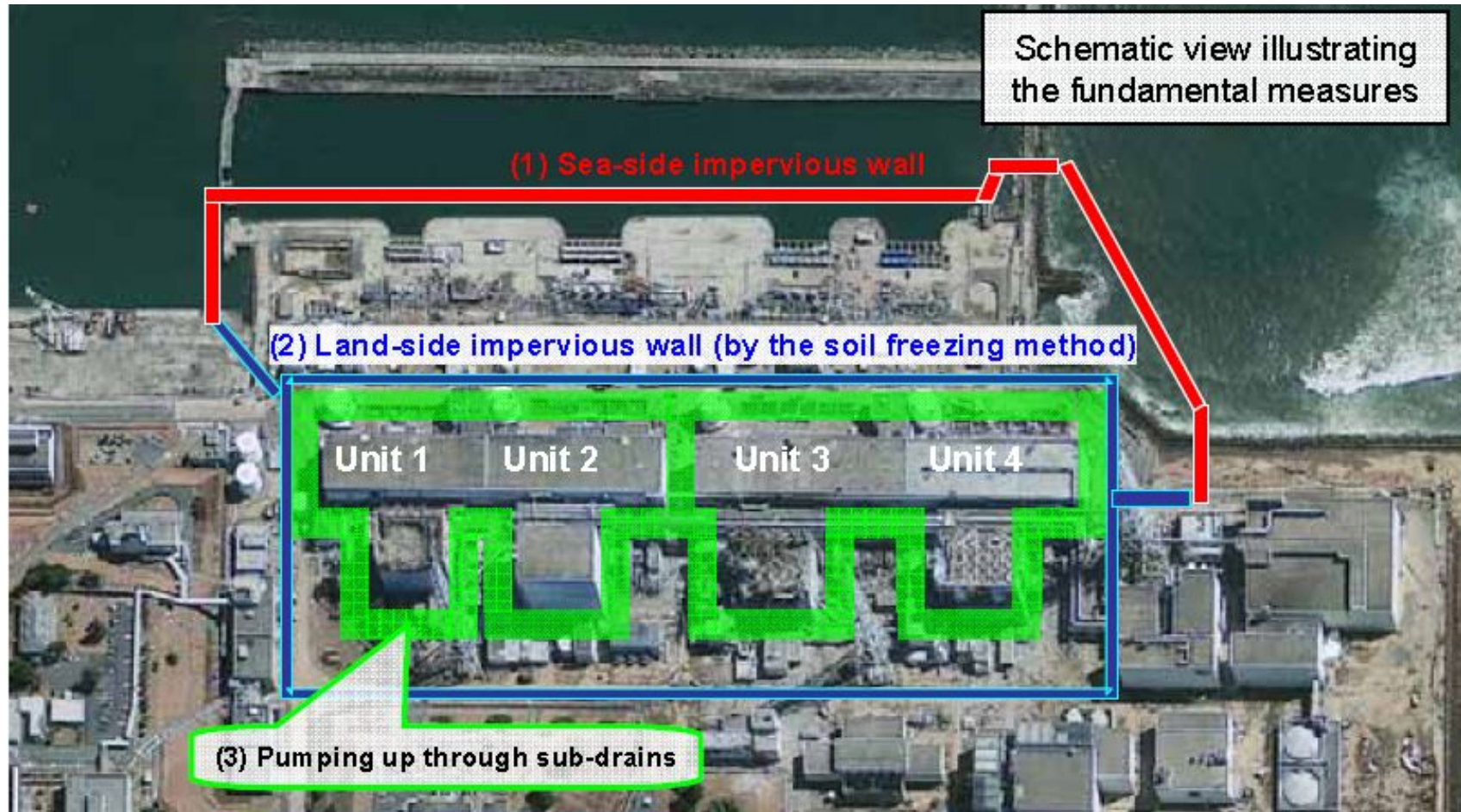


Kühlung und Wasserkreislauf II

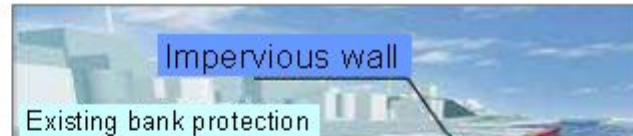
Stand 01.10.2013:

- Tägliche Wassermenge zur Kühlung der Reaktoren:
 - 372 m³
- Volumen der Untergeschosse Block 1-4
 - 75.200 m³
- Behandelte Wassermenge seit 11.03.2011
 - 752.750 m³
- Auf dem Gelände gelagertes kontaminiertes Wasser
 - ca. 300.000 m³
- Länge des Rohrleitungssystems
 - ca. 3 km

Grundwasserproblematik I



Grundwasserproblematik II



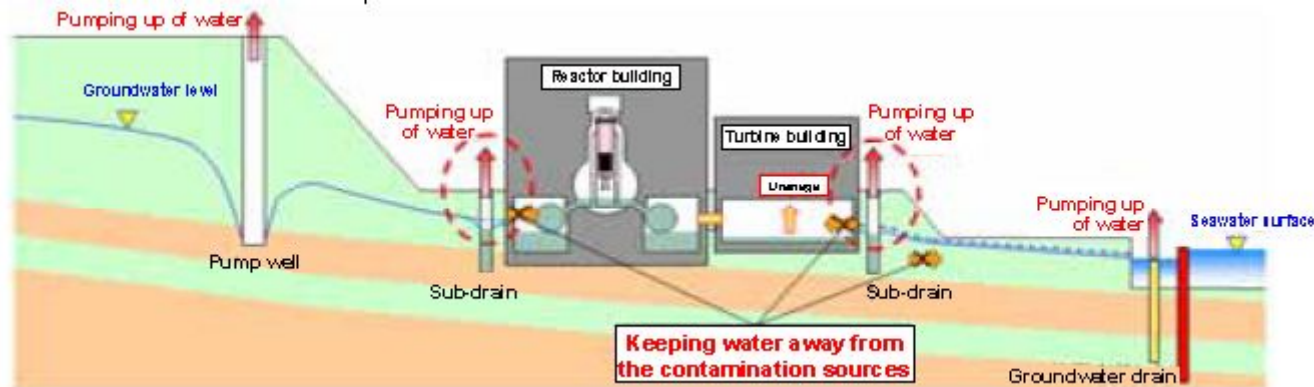
<Steps of building a soil-frozen wall>

Hole drilling

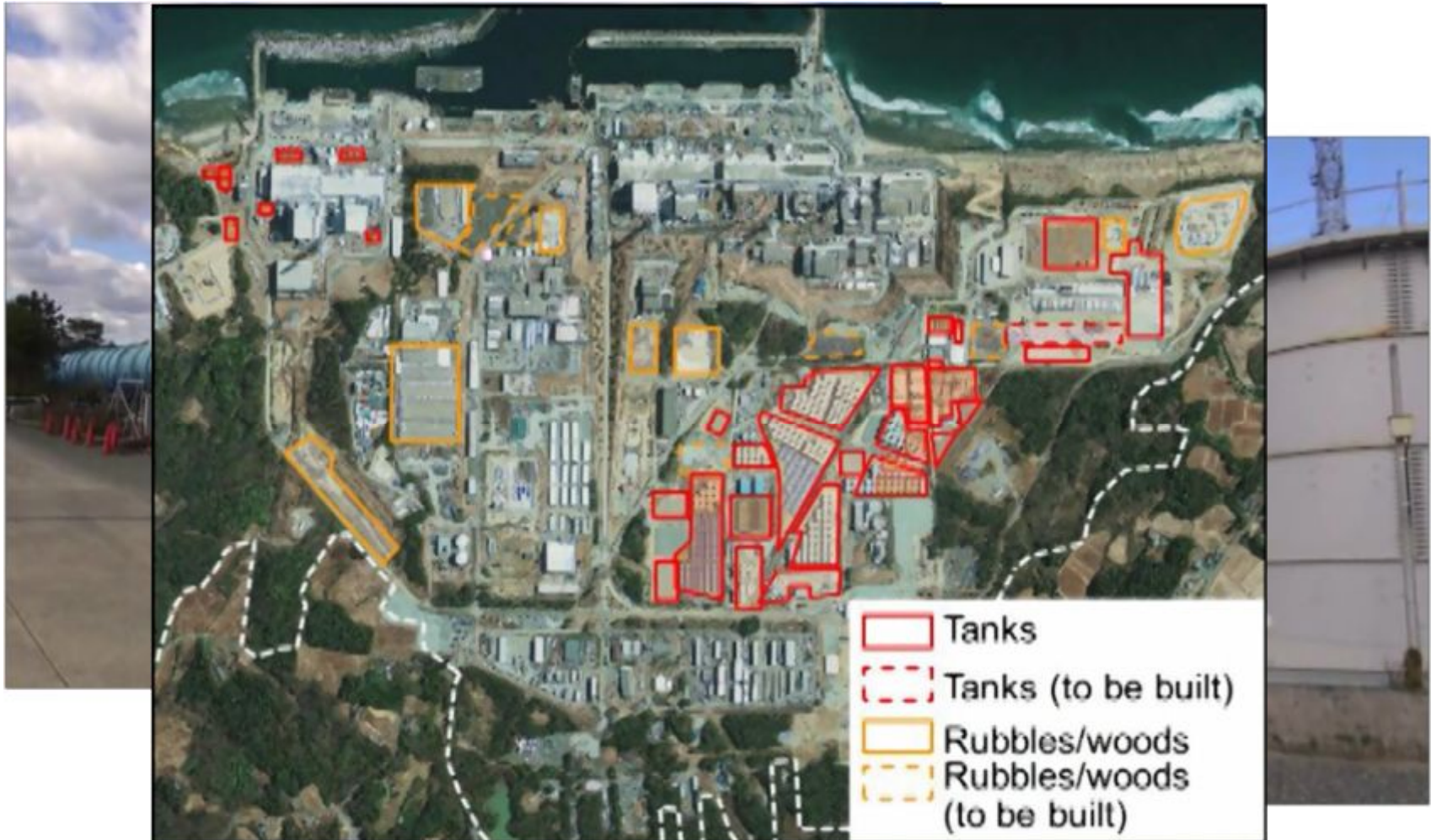
Embedment of freezer pipes

Circulation of coolant (formation of frozen soil)

Circulation of coolant



Lagerproblematik



Fazit

- Zweiter „katastrophaler Unfall“ (INES 7) nach Tschernobyl
- Unfälle in allen Kernkraftwerken weltweit möglich
 - Gravierende Auslegungsfehler nicht erkannt
 - Auslegung hat grundsätzlich Grenzen
 - Auch nach 40 Jahren Betrieb nicht alle Sicherheitsdefizite erkannt und behoben
- Trotz Tschernobyl keine erfolgreichen Notfallmaßnahmen
 - Defizite in Technik und Organisation

Naoto Kan (ehem. Japanischer Premierminister)

Foreign Affairs, 08.03.2012:

“I have thought very hard about the types of safety measures necessary to prevent any such disaster from happening again. However, when one weighs these measures against the tremendous risks, it is clear that no amount of precautions will make a country completely safe from nuclear energy. I have reached the conclusion, therefore, that the only option is to promote a society free of nuclear power.”

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

Haben Sie noch Fragen?
Do you have any questions?

