

Fukushima – Unfallablauf und -folgen

26.10.2011

Dr. Christoph Pistner, Gerhard Schmidt

Öko-Institut e.V., Darmstadt

Übersicht

- Grundlagen Reaktortechnik
- Reaktorsicherheit
- Nachkühlung und Kernschmelzproblematik
- Die Anlage Fukushima
- Aufbau und Funktionsweise
- Chronologie der Ereignisse in Fukushima
- Eindrücke aus der Anlage
- Grundlagen Strahlenschutz
- Radiologische Aspekte des Fukushima-Unfalls

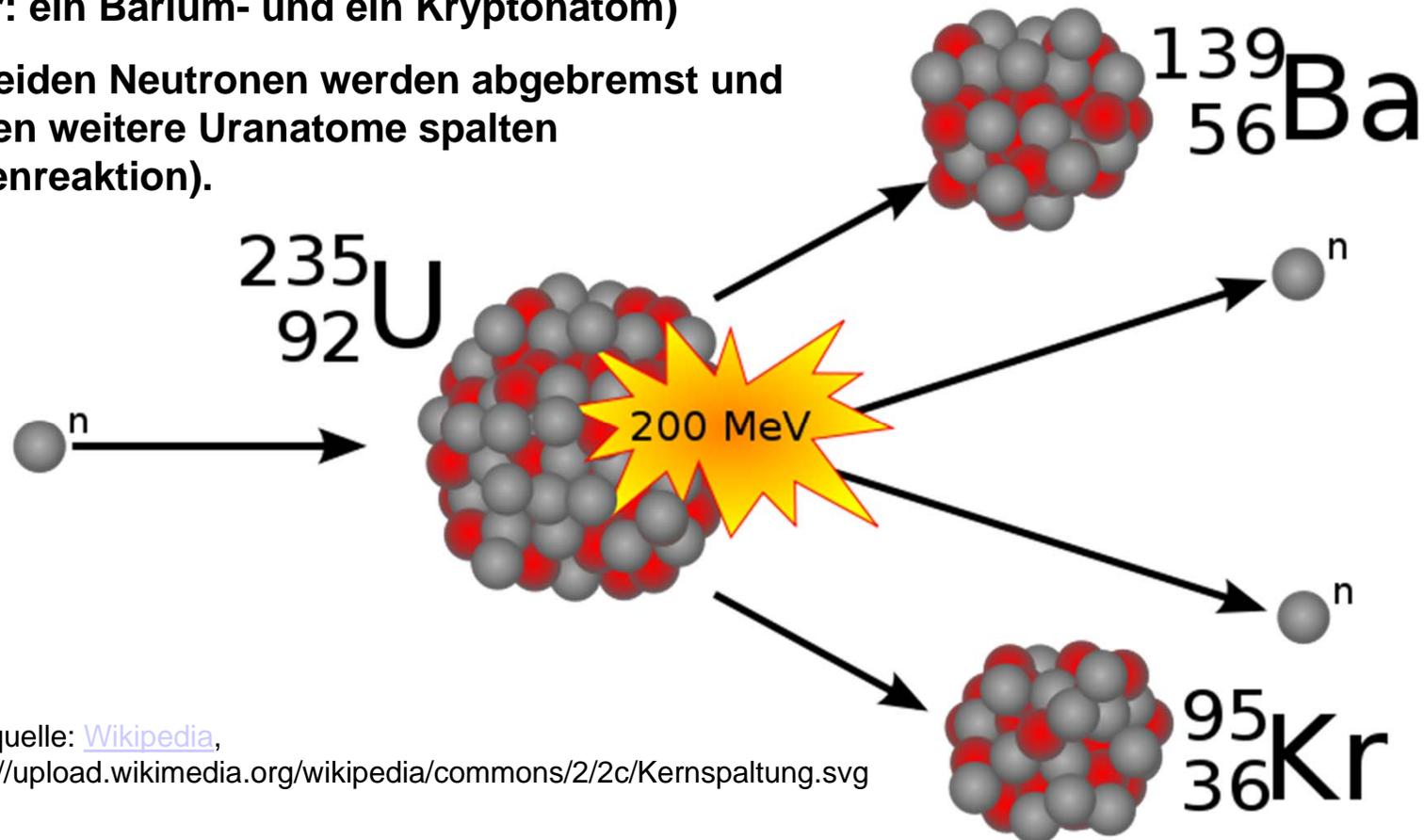
Grundlagen Reaktortechnik

Kernspaltung

Neutronen spalten Uran-235-Kerne, es entstehen

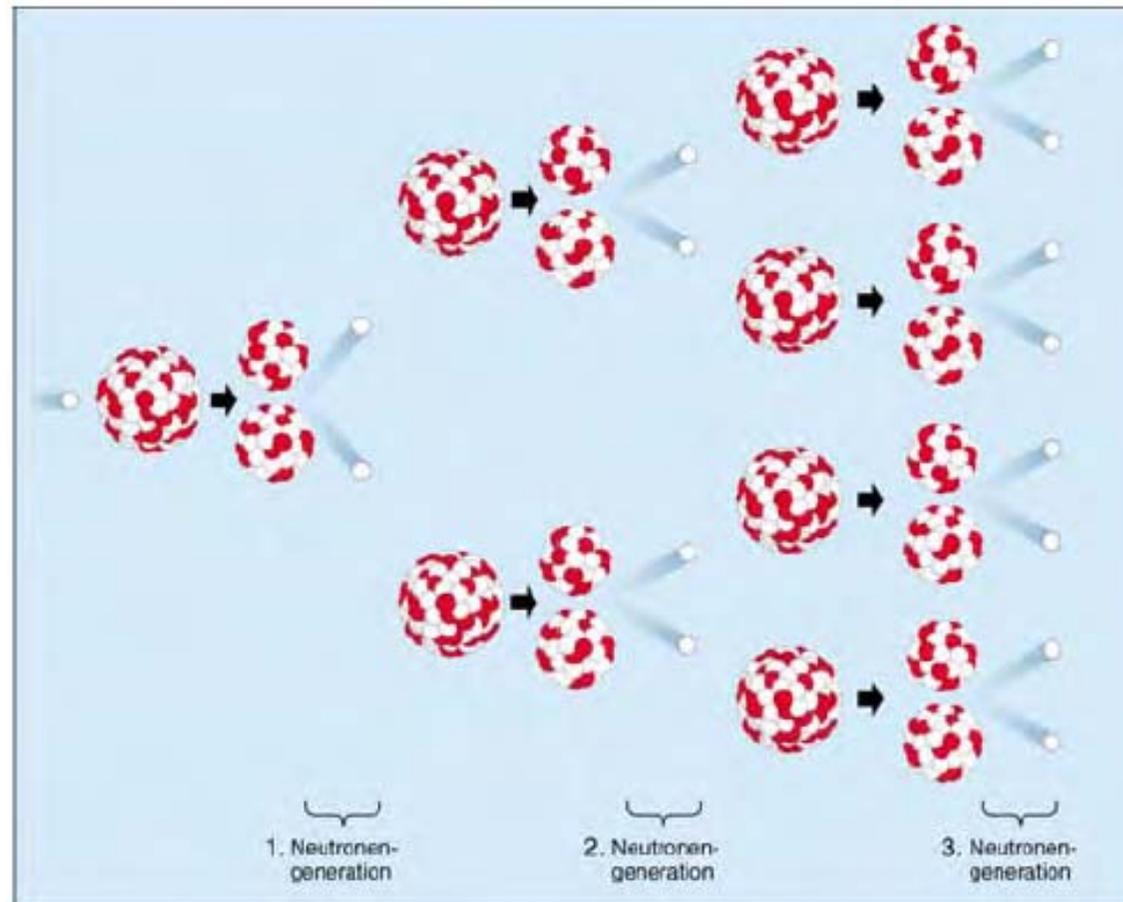
- Energie
- zwei weitere Neutronen
- zwei unterschiedliche Spaltprodukte
(hier: ein Barium- und ein Kryptonatom)

Die beiden Neutronen werden abgebremst und können weitere Uranatome spalten (Kettenreaktion).



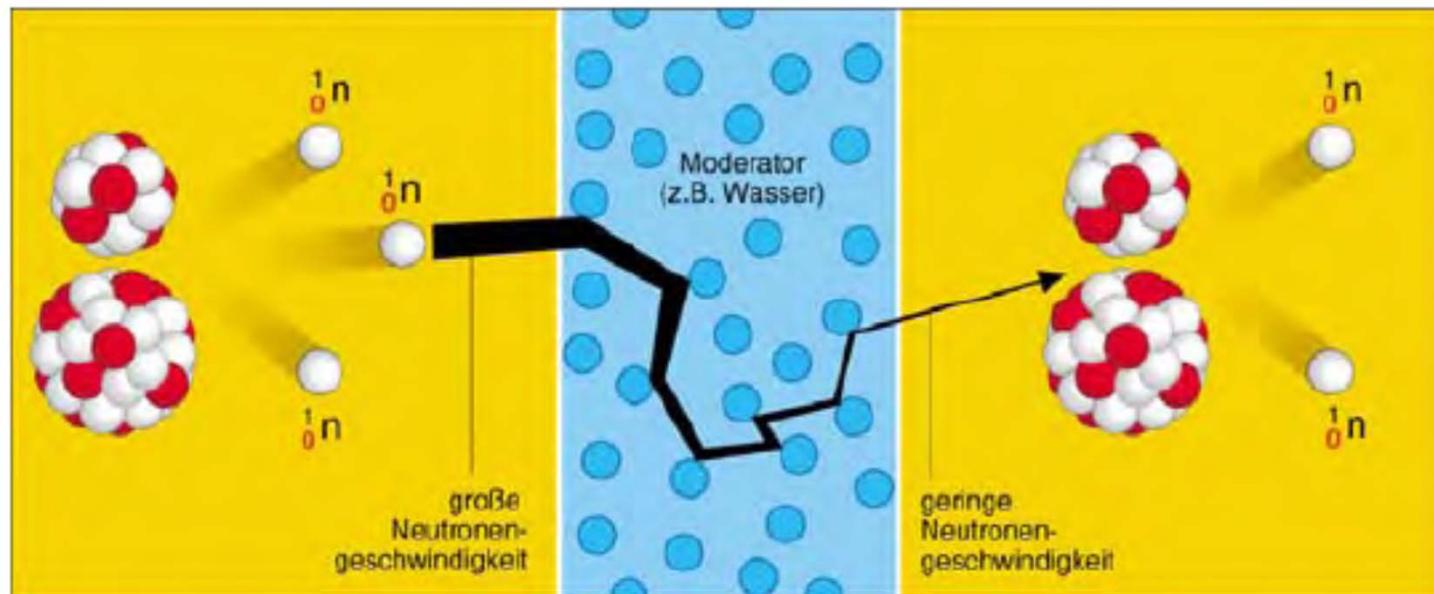
Bildquelle: [Wikipedia](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Kernspaltung.svg),
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Kernspaltung.svg>

Kettenreaktion



Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Moderation (Abbremsen von Neutronen)



Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Energiefreisetzung bei der Spaltung

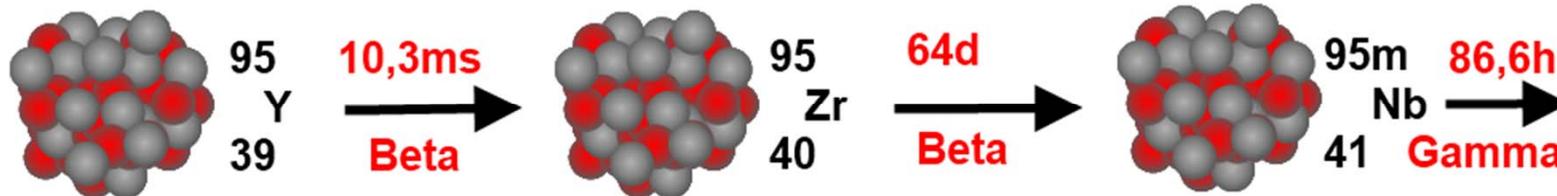
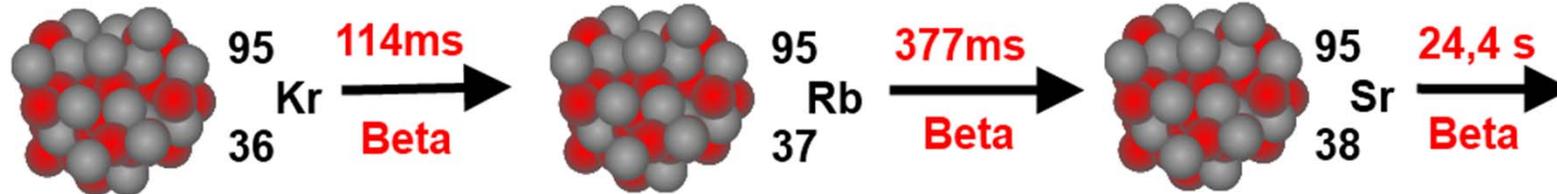
Kinetische Energie der Spaltprodukte	175 MeV	83,3 %
Kinetische Energie der Spaltneutronen	5 MeV	2,4 %
Energie der Gamma-Strahlung (unmittelbar)	7 MeV	3,3 %
Energie aus radioaktiven Zerfällen (verzögert)	13 MeV	6,2 %
Energie der Neutrinos	10 MeV	4,8 %
Summe	210 MeV	

Zerfall der Spaltprodukte



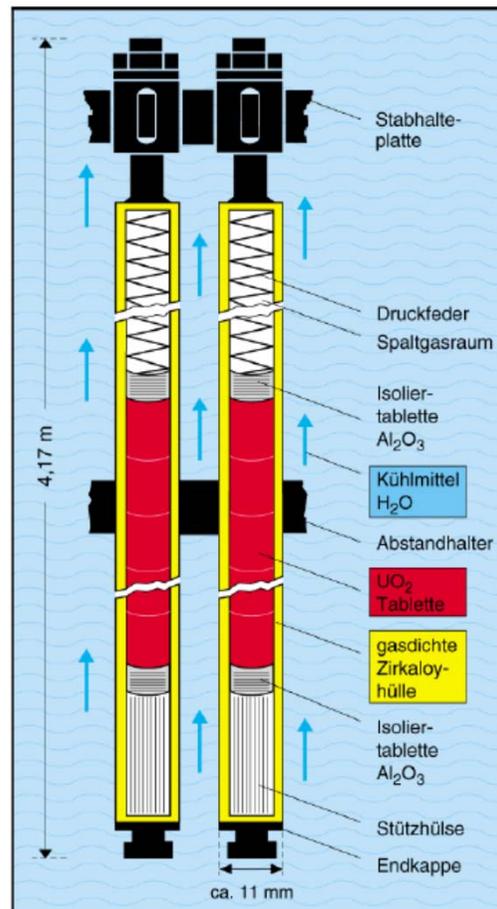
Halbwertszeit (Zerfall der Hälfte aller vorhandenen Teilchen)

Beta = Betastrahlung (Elektron)



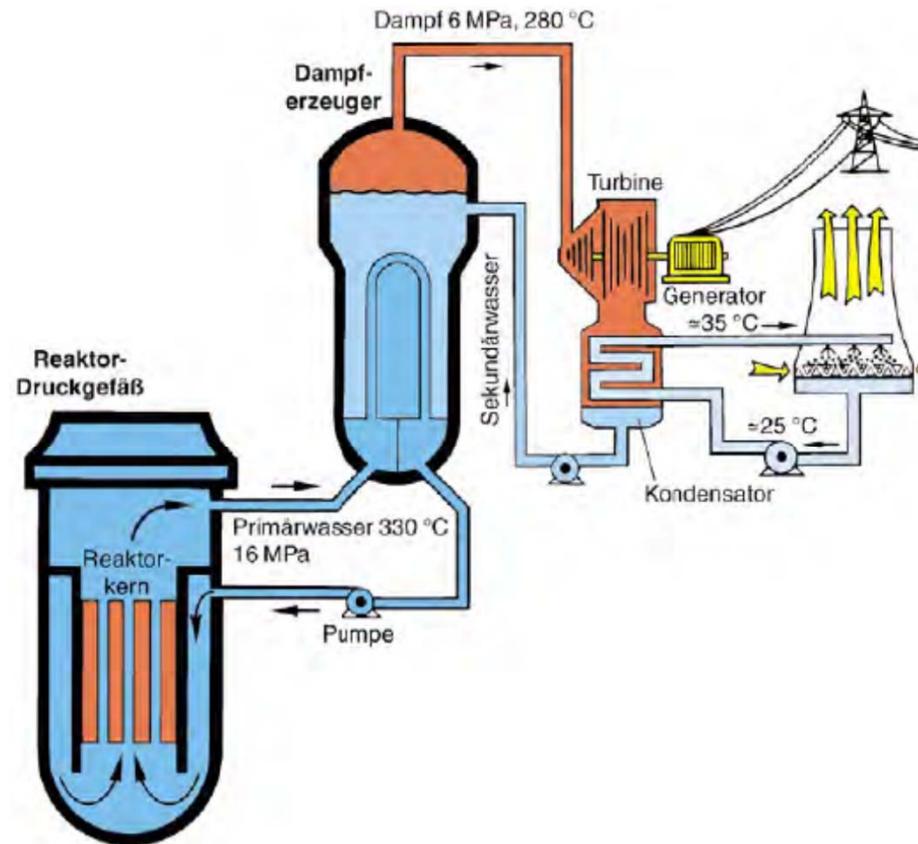
Quelle: Öko-Institut

Aufbau Brennstab



Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie, Bilder: Eigene Aufnahmen im FZD

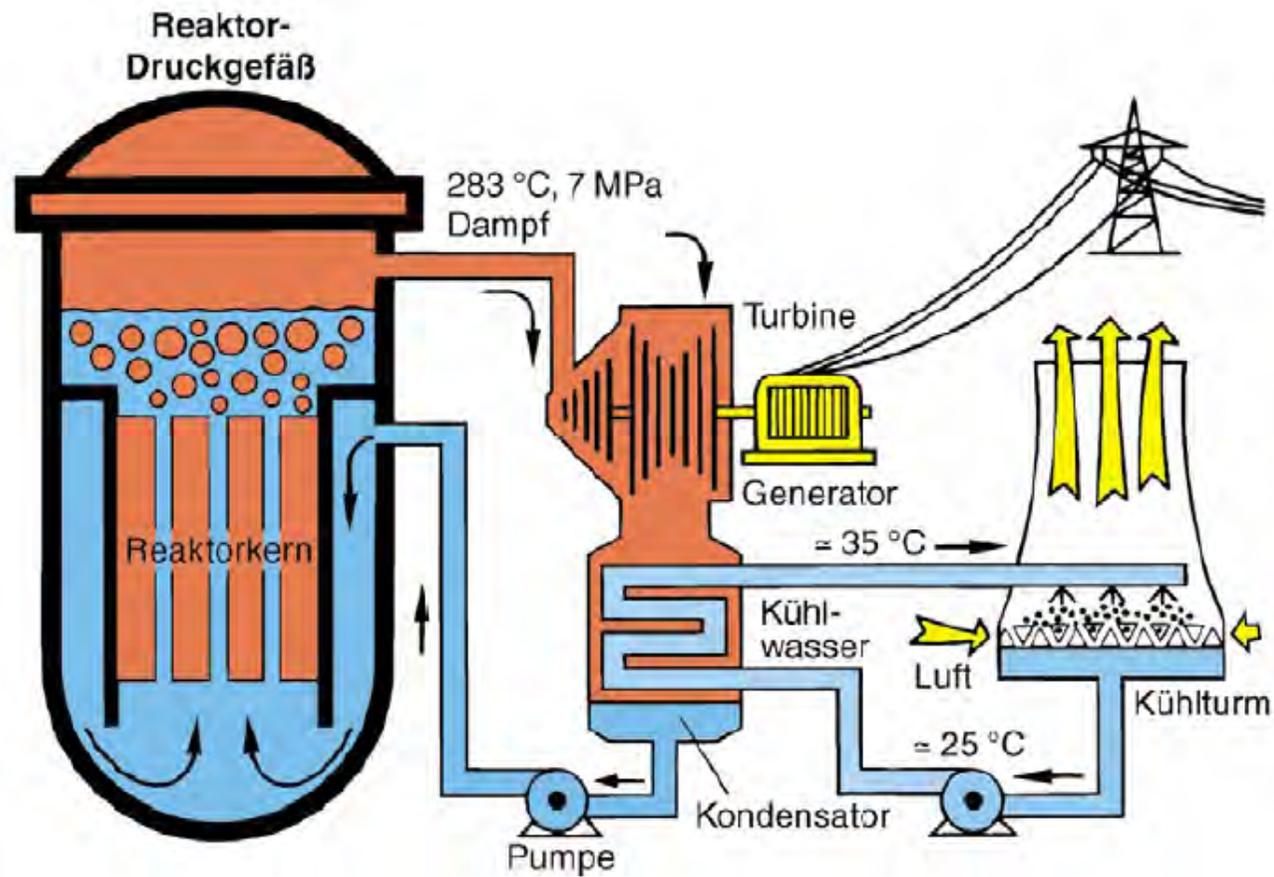
Druckwasserreaktoren (DWR)



Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor

Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Siedewasserreaktoren (SWR)



Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Reaktorsicherheit

Zentrale Aspekte der Reaktorsicherheit

- Durch lange Zykluszeit (typisch ein Jahr oder mehr):
 - Anfängliche Überschussreaktivität
 - Hohes Radioaktives Inventar
- Hohe Leistungsdichte:
 - Nukleare versus chemische Energieumwandlung
Faktor eine Million
- Nachzerfallswärme:
 - Auch nach Sofortabschaltung noch erhebliche
Wärmeproduktion durch radioaktiven Zerfall

- Die Regelung der Wärmeleistung eines Reaktors erfolgt durch Wegfangen von Neutronen mit Hilfe von
 - Regelstäben (schnelle Regelung durch Ein- und Ausfahren der Stäbe aus dem Kern, Lösen und Einfallen der Stäbe bei der Schnellabschaltung),
 - Borat im Kühlwasser („Borieren“), langsame Regelung durch Steuerung der Konzentration (nur beim DWR),
 - Steuerung der Kühlmittelumwälzung (Änderung des Dampfgehalts im Reaktorkern, nur beim SWR).
- Eine Beeinflussung der Kettenreaktion erfolgt durch die Entstehung von Spaltprodukten mit neutronenabsorbierender Wirkung („Xenonvergiftung“). Verringert man die Leistung und zerfällt nach einiger Zeit das Xenon, steigt die Reaktivität wieder an (dynamischer Prozess).
- Nicht regelbar ist die Wärme, die durch den radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte entsteht. Diese Wärme kann nur abgeführt werden, ihre Entstehung aber nicht unterbunden werden.

Anlagensicherheit: Das Kernschmelzrisiko

- Leistung im Betrieb:
z.B. 1400 MW elektrisch
ca. 4000 MW thermisch
- Kontrolle der Kettenreaktion
→ sicheres Abschalten muss jederzeit gewährleistet sein
- Auch Tage und Wochen nach Abschaltung
→ aktive Kühlung des Kerns erforderlich
- Einschluss der Aktivität
→ Barrieren müssen jederzeit intakt sein

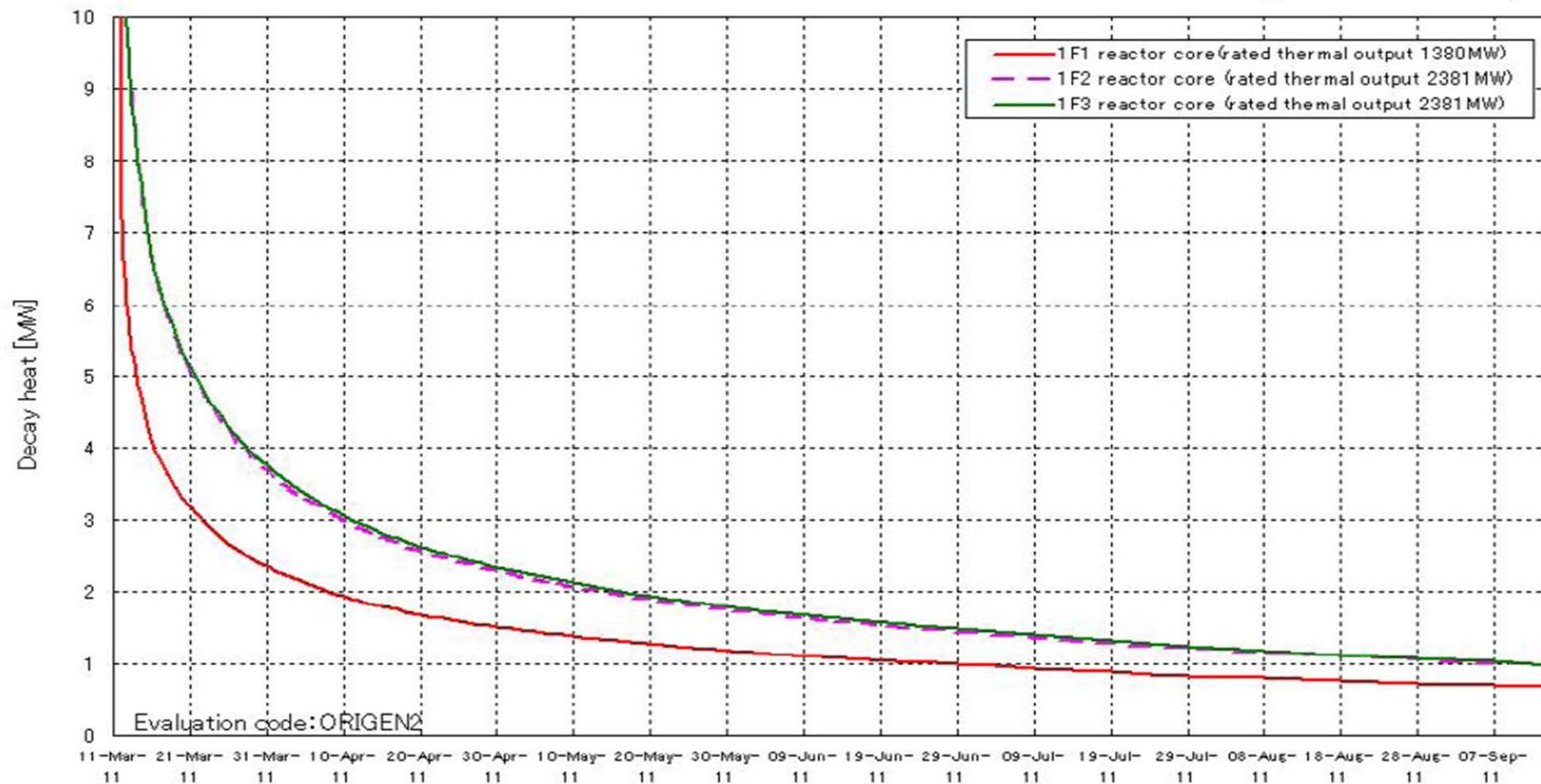
Nachkühlung und Kernschmelzproblematik

Nachzerfallsleistung in Fukushima: 6 Monate

Decay Heat of Fuel in Reactor (changes in a half year period after the earthquake)

May 26, 2011

Tokyo Electric Power Company



Quelle: TEPCO

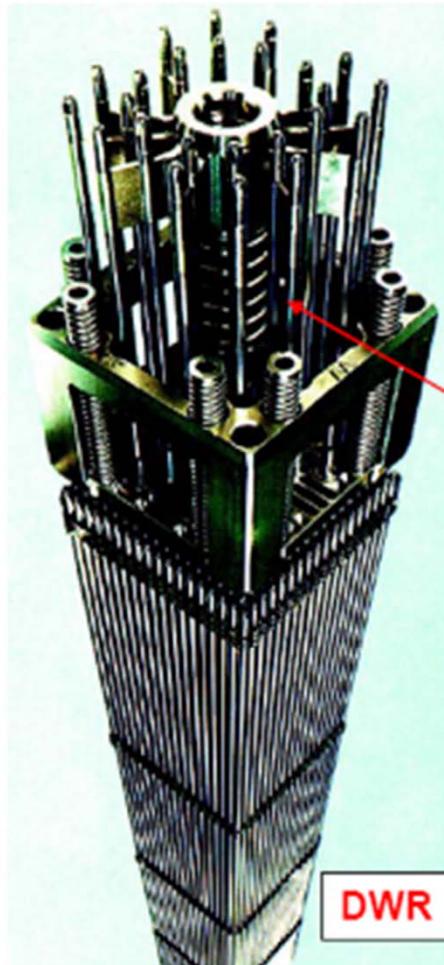
Was bedeutet das?

- spezifische *Wärmekapazität*: 4,19 kJ/(K kg)
- *Verdampfungswärme* bei konst. Druck bei 100°C: 2257 kJ/kg
- Energieeinheiten: 3.600 kJ = 1 kWh

- 1 Tonne Wasser aufheizen von 20°C auf 100°C:
335,2 MJ = **93,1 kWh**
- 1 Tonne Wasser bei 100°C verdampfen:
2257 MJ = **626,9 kWh**
- 1 Tonne Wasser aufheizen und verdampfen: **720 kWh**

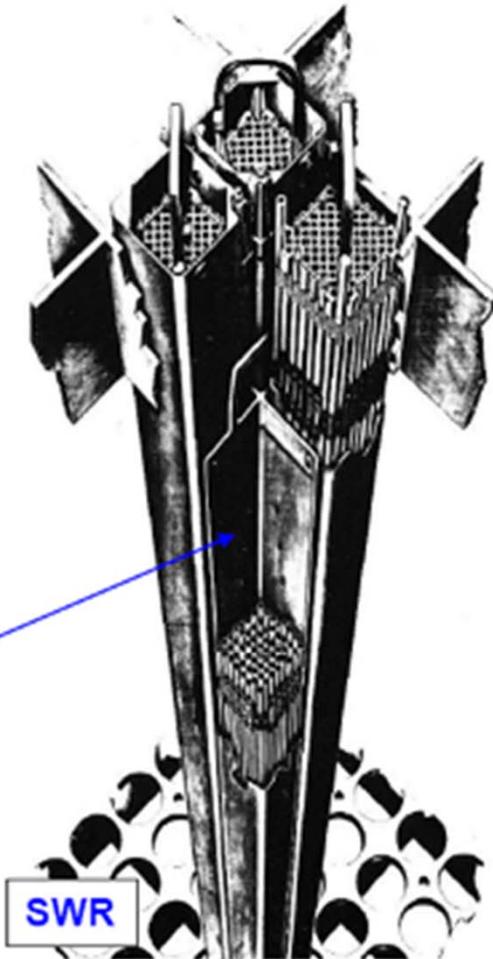
- Nachzerfallsleistung Fukushima Daiichi, **Block 1**:
1. Juli 2011 ca. **1 MW = 1000 kW**

→ nach 3 Mon. verdampfen **1,4 Tonnen Wasser pro Stunde**



DWR

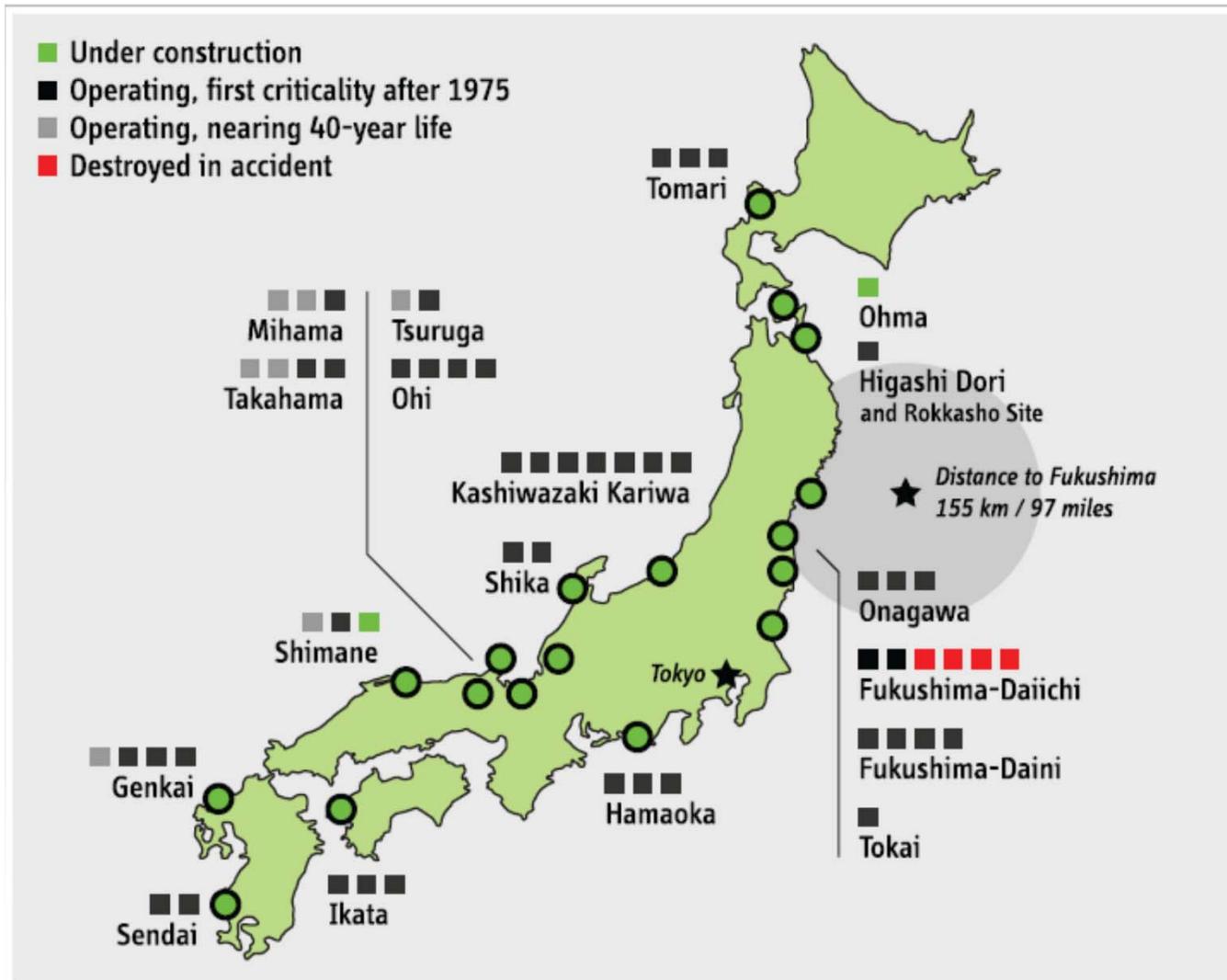
Temp. [K]	Ereignis
3120	Schmelzpunkt von UO_2
2960	Schmelzpunkt von ZrO_2
2620	Schmelzpunkt von B_4C
2400 - 2600	Zerstörung der Brennstäbe
2100	Beg. Verflüssigung UO_2 - Zry
2030	Schmelzpunkt von Zry
1850	Eskalation der Zry-Oxidation
1700	Schmelzpunkt von Edelstahl
1450	Eutektika Zry - Ag, Zerstörung DWR-Steuerstäbe
1420	Eutektika Stahl - B_4C , Zerstörung SWR-Steuerstäbe
1270	verstärkte Zry-Oxidation
1210	Eutektika Stahl - Zr, relevant für DWR-Steuerstäbe
1170	Bersten von Brennstäben, Be- ginn Spaltproduktfreisetzung
1100	Schmelzpunkt von Ag-In-Cd



SWR

Quelle: GRS

Die Anlage Fukushima



Quelle: Glaser, MIT

Fukushima Daiichi

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6
Inbetriebnahme	1971	1974	1976	1978	1978	1979
Typ	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Containment	Mark-1	Mark-1	Mark-1	Mark-1	Mark-1	Mark-2
Leistung (MWe)	460	784	784	784	784	1100

Quelle: NISA

Fukushima Daiichi



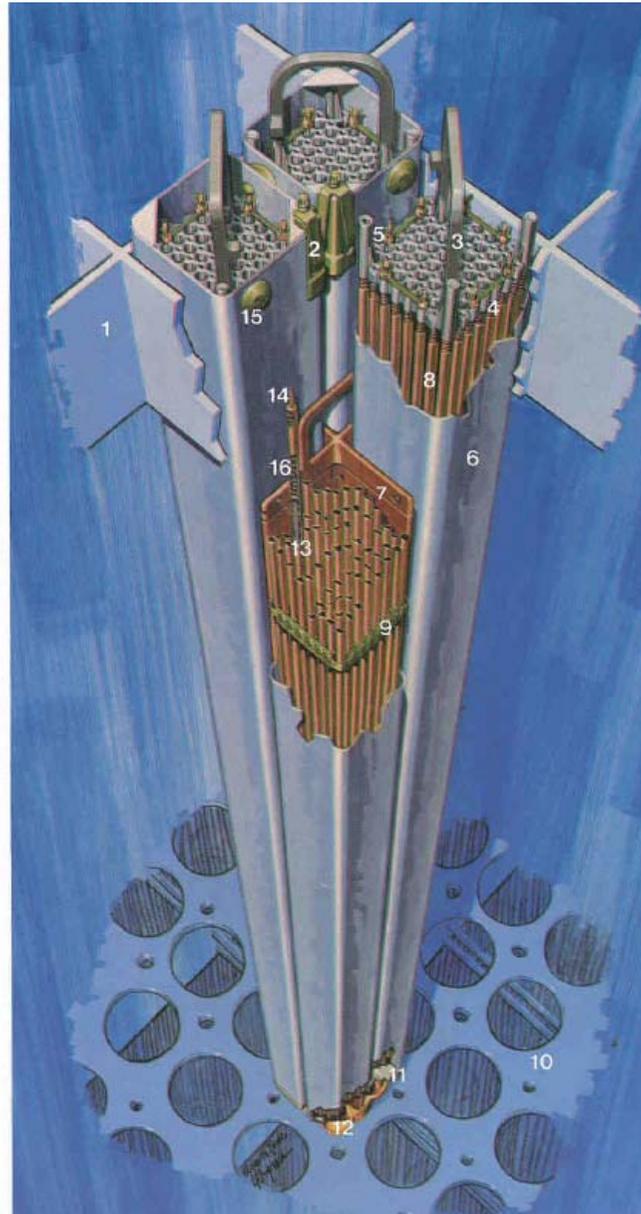
Quelle: Tepco

Aufbau und Funktionsweise

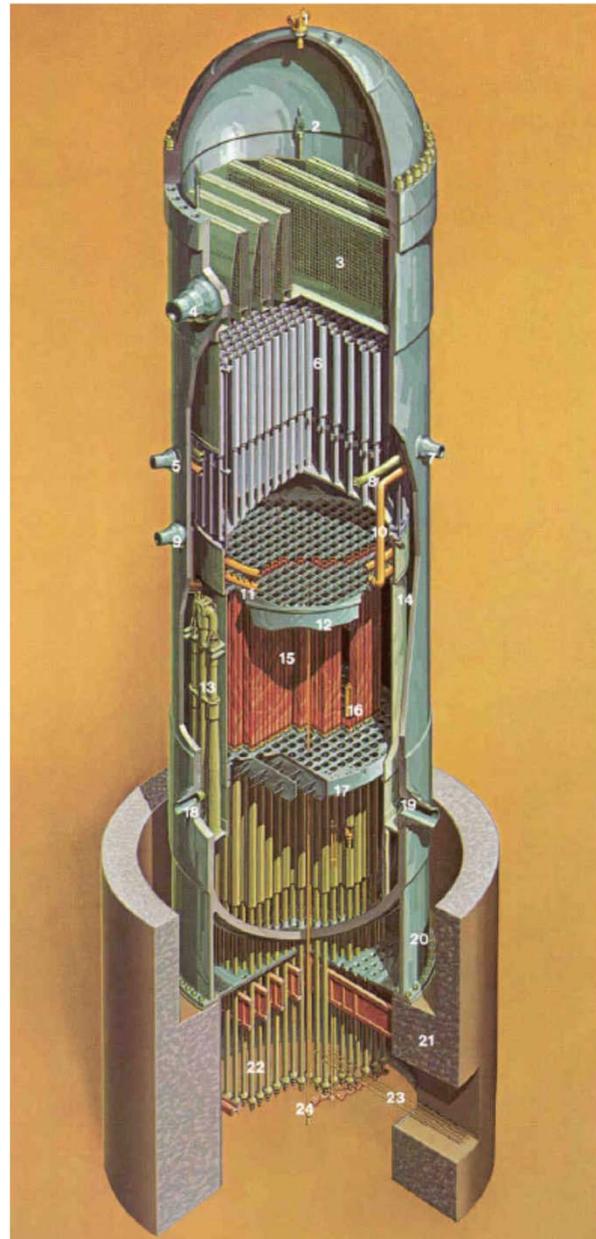
BWR/6 FUEL ASSEMBLIES & CONTROL ROD MODULE

- 1.TOP FUEL GUIDE
- 2.CHANNEL FASTENER
- 3.UPPER TIE PLATE
- 4.EXPANSION SPRING
- 5.LOCKING TAB
- 6.CHANNEL
- 7.CONTROL ROD
- 8.FUEL ROD
- 9.SPACER
- 10.CORE PLATE ASSEMBLY
- 11.LOWER TIE PLATE
- 12.FUEL SUPPORT PIECE
- 13.FUEL PELLETS
- 14.END PLUG
- 15.CHANNEL SPACER
- 16.PLENUM SPRING

GENERAL  ELECTRIC



Quelle: NRC

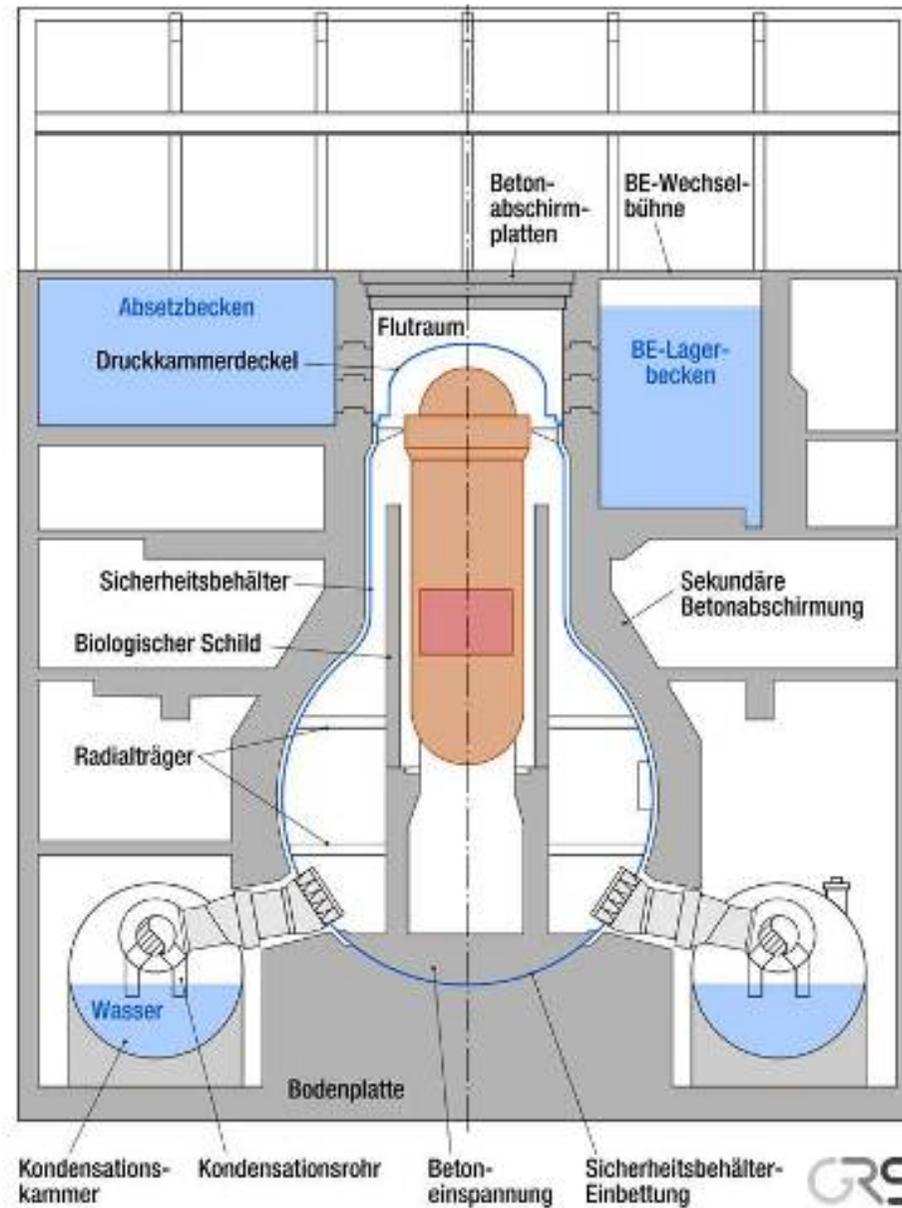


BWR/6 REACTOR ASSEMBLY

1. VENT AND HEAD SPRAY
2. STEAM DRYER LIFTING LUG
3. STEAM DRYER ASSEMBLY
4. STEAM OUTLET
5. CORE SPRAY INLET
6. STEAM SEPARATOR ASSEMBLY
7. FEEDWATER INLET
8. FEEDWATER SPARGER
9. LOW PRESSURE COOLANT INJECTION INLET
10. CORE SPRAY LINE
11. CORE SPRAY SPARGER
12. TOP GUIDE
13. JET PUMP ASSEMBLY
14. CORE SHROUD
15. FUEL ASSEMBLIES
16. CONTROL BLADE
17. CORE PLATE
18. JET PUMP / RECIRCULATION WATER INLET
19. RECIRCULATION WATER OUTLET
20. VESSEL SUPPORT SKIRT
21. SHIELD WALL
22. CONTROL ROD DRIVES
23. CONTROL ROD DRIVE HYDRAULIC LINES
24. IN-CORE FLUX MONITOR

GENERAL ELECTRIC

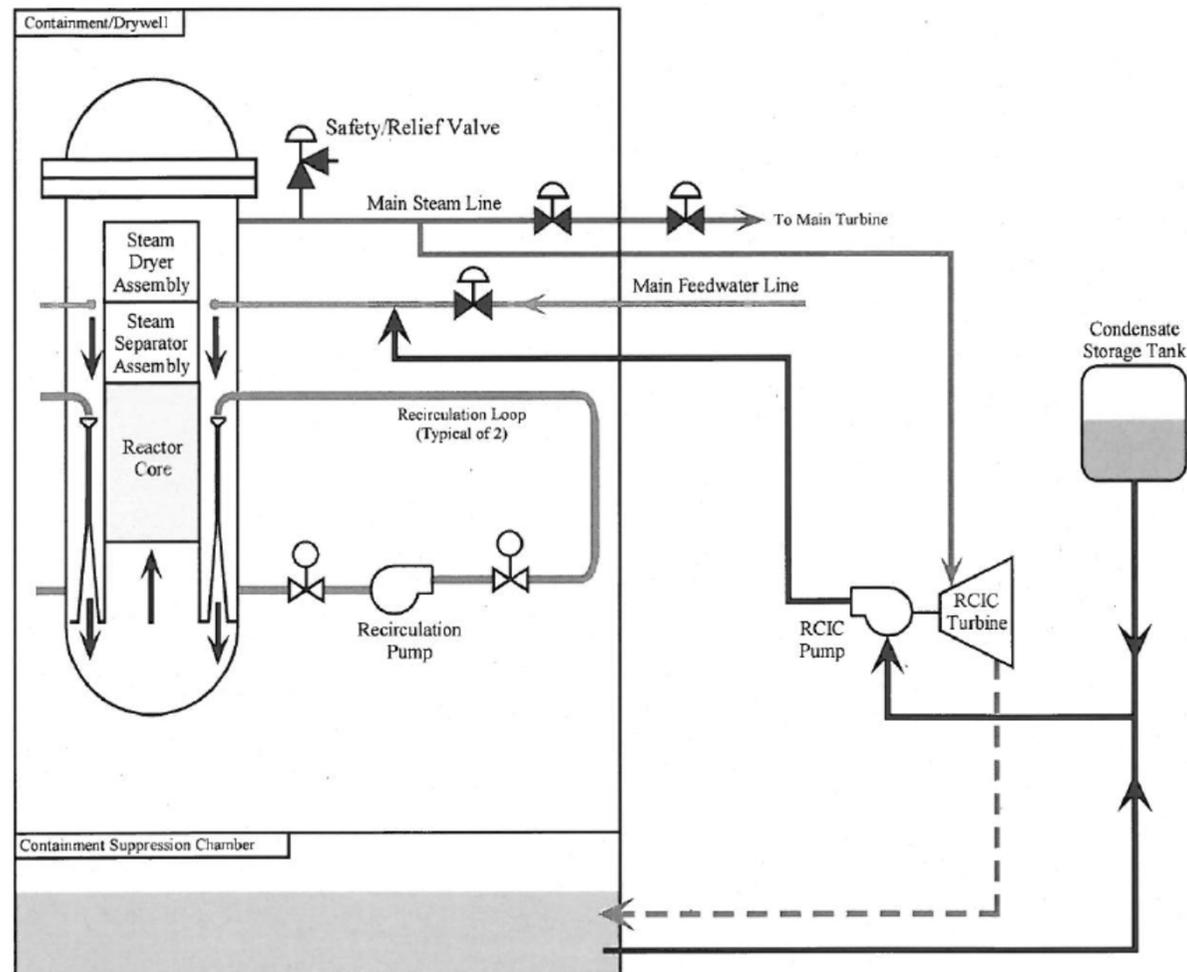
Quelle: NRC



Quelle: GRS

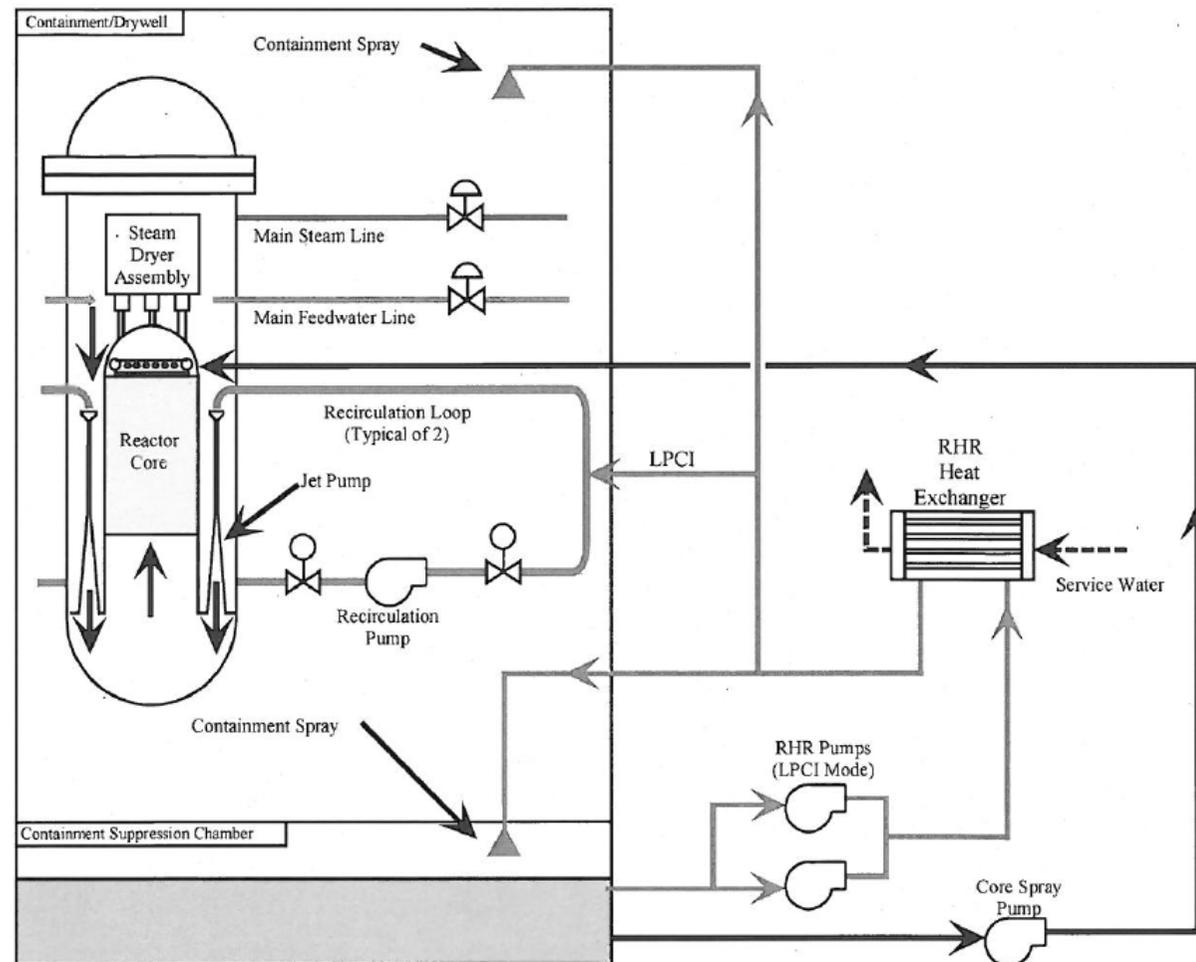


Reactor Core Isolation Cooling System (RCIC)/ High Pressure Coolant Injection System (HPCI)



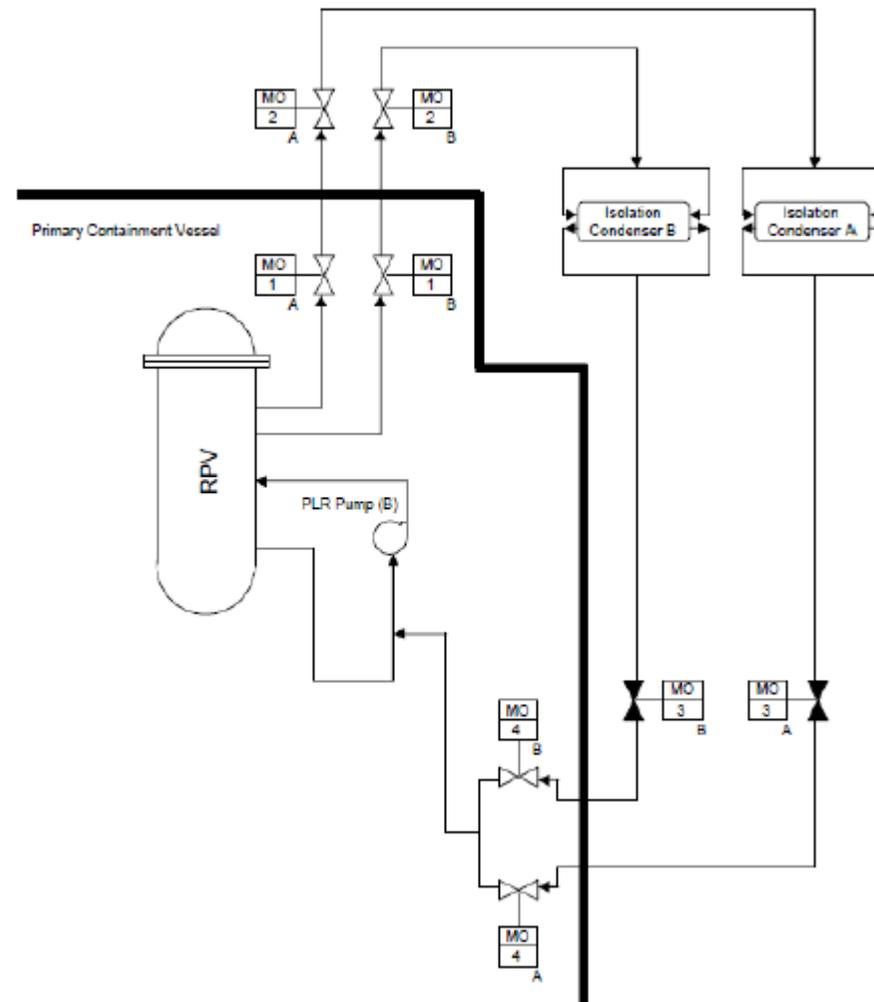
Quelle: NRC

Residual Heat Removal System (RHR)/ Low Pressure Coolant Injection (LPCI)



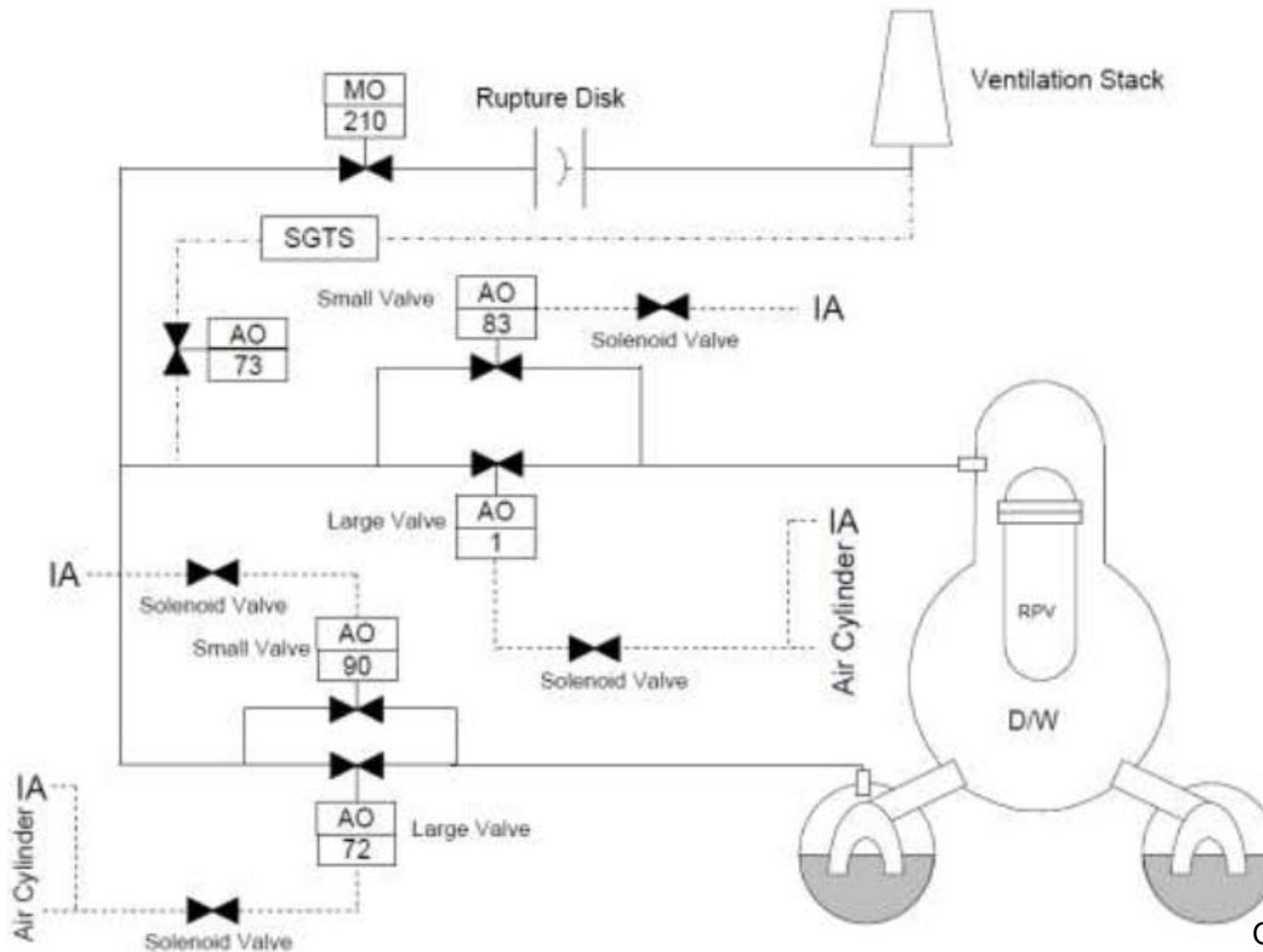
Quelle: NRC

Isolation Condenser (IC)



Quelle: MEXT

Druckentlastung Containment (PCV Venting)



Quelle: MEXT

Chronologie der Ereignisse in Fukushima

Unfallablauf - 11. März (Ortszeiten Japan)

- 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

Unfallablauf - 11. März (Ortszeiten Japan)

- 15:37 Uhr – Tsunami erreicht Standort (ca. 14 m Flutwelle, Auslegung bis 5,7 m Höhe)
 - Schäden am Nebenkühlwassersystem
 - Ausfall Notstromdiesel „Station Blackout“
 - Ausfall Instrumentierung (Drücke, Temperaturen, Füllstände etc.), Beleuchtung, Kommunikation
 - Ausfall Brennelementbecken-Kühlung
 - Wärmeabfuhr aus RDB über Isolation Condenser (IC, Block 1) oder dampfgetriebene Pumpen (RCIC, HPCI, Block 2 und 3) in Wasservorlage des Torus

Fukushima-Daiichi: 21.11.2004



Quelle: Google Earth

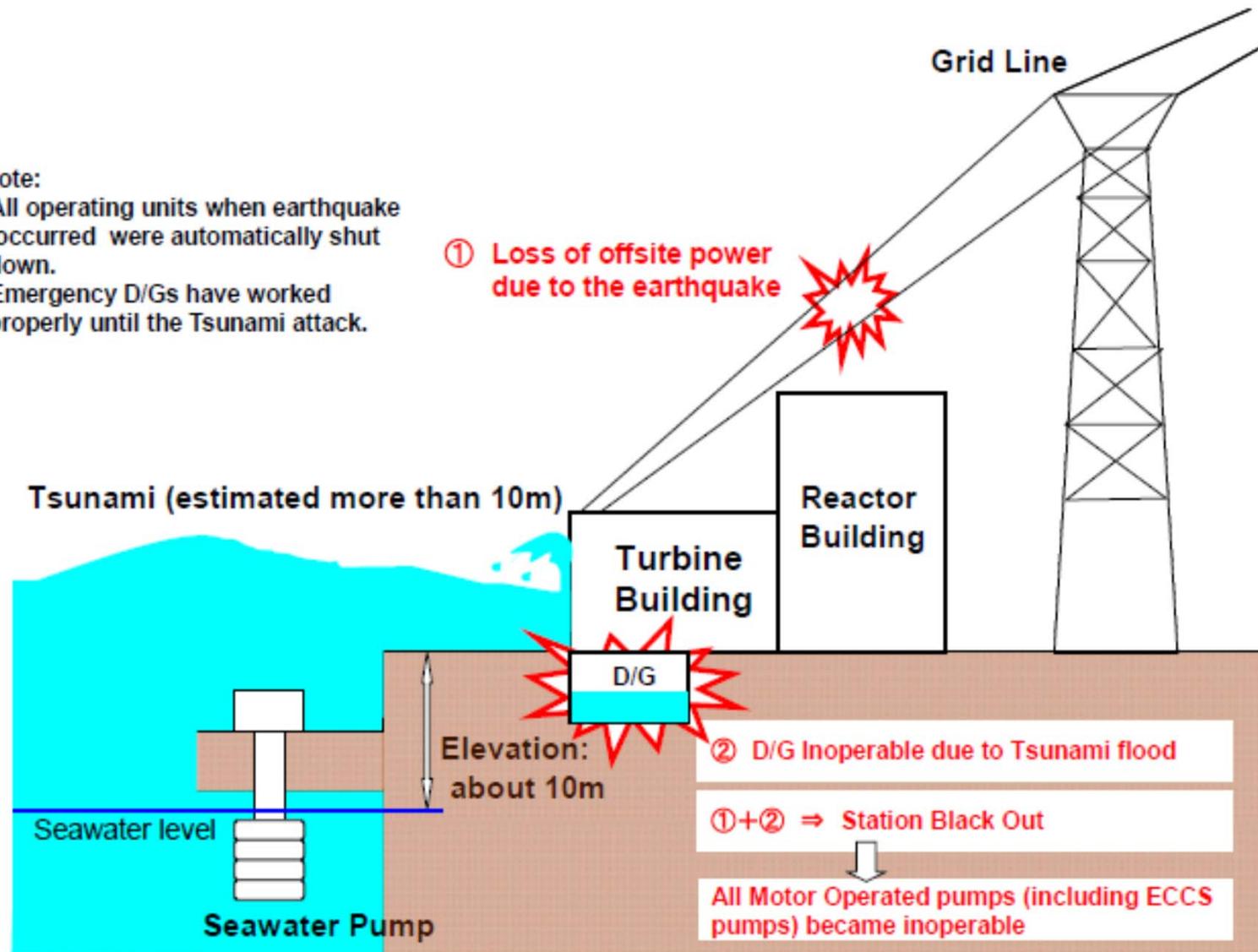


Fukushima-Daiichi: 19.03.2011

Quelle: Google Earth

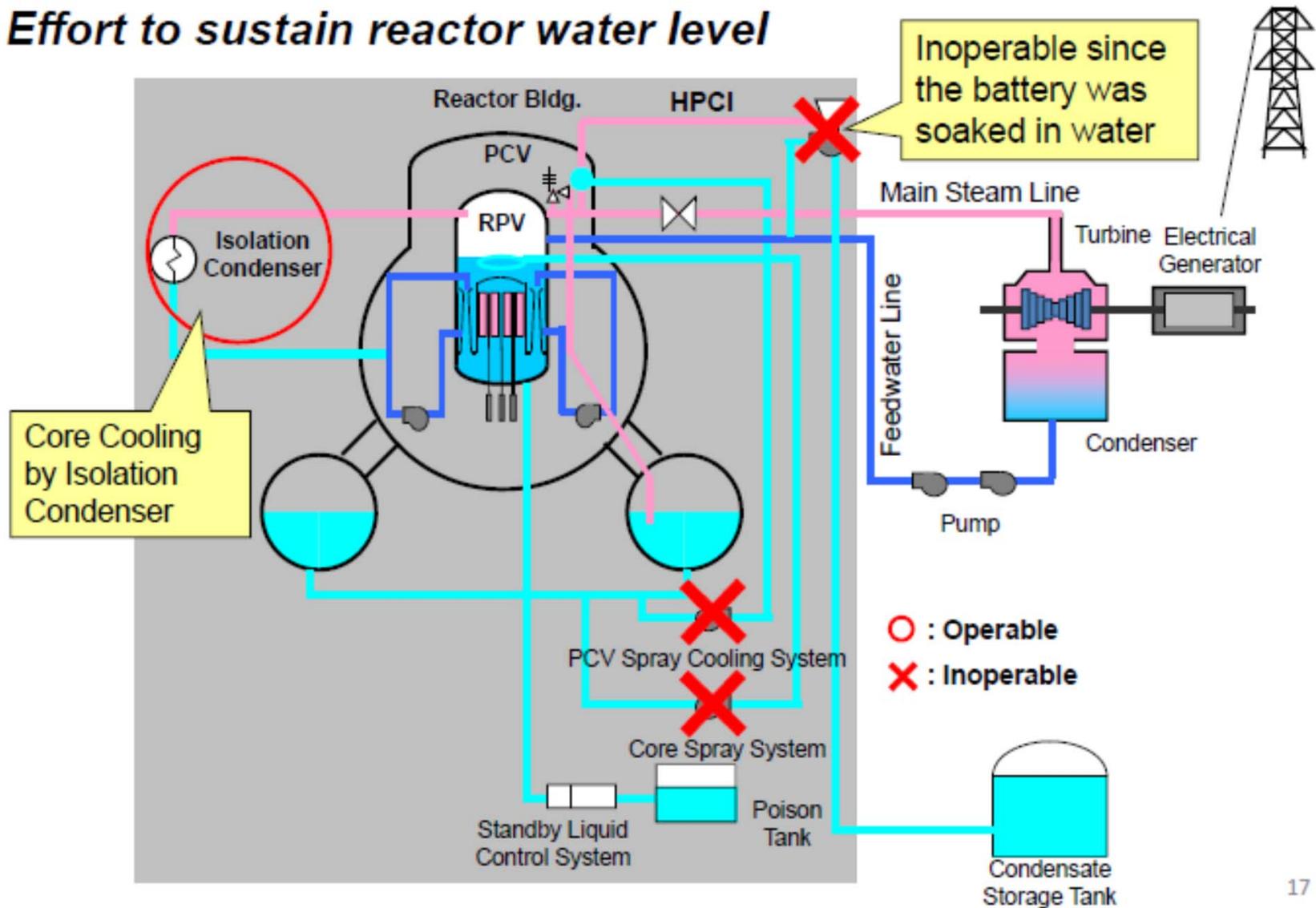
Note:

- All operating units when earthquake occurred were automatically shut down.
- Emergency D/Gs have worked properly until the Tsunami attack.



Block 1

Effort to sustain reactor water level

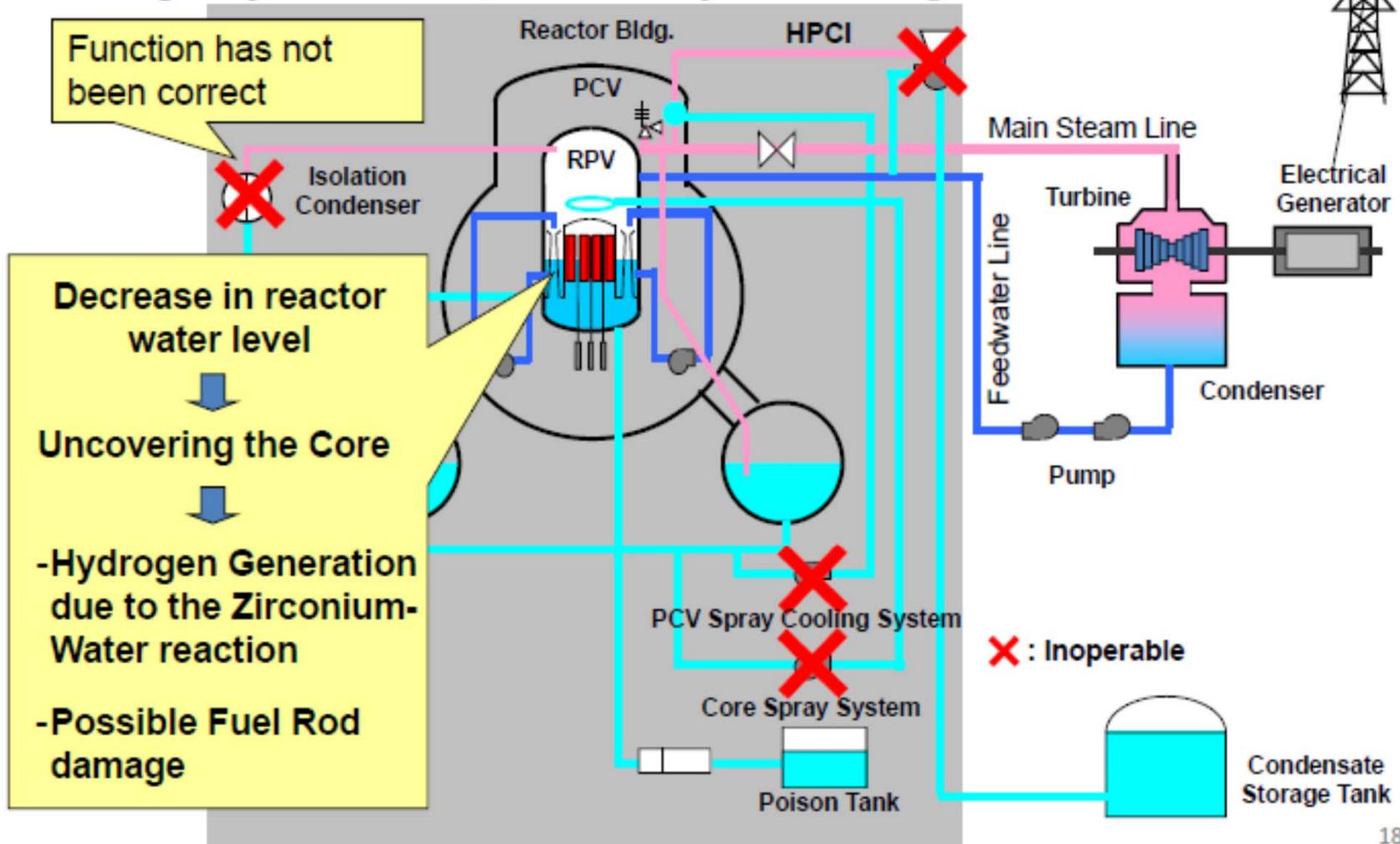


Unfallablauf - 11. März

- Block 1: Kühlung über Isolation Condenser (IC) (fraglich)
Block 2, 3: Kühlung über RCIC/HPCI
- Nach 15:37 Uhr: Zustand IC wg. Ausfall Instrumentierung unklar, **wahrscheinlich ab 15:37 Uhr keine Einspeisung in den RDB Block 1**
- Zwischen 18:00 und 21:25 Uhr manuelle Schalthandlungen zum Start des IC Block 1, Erfolg jedoch fraglich
- 17:12 Uhr Beginn Maßnahmen zur alternativen Wassereinspeisung in Block 1 (Feuerlöschfahrzeuge)
- 19:03 Uhr Regierung erklärt Nuklearen Notstand
- **ca. 20:30 Uhr Einsetzen der Kernschmelze in Block 1**
- 21:23 Uhr Evakuierung 3 km Radius um Block 1 angeordnet

Block 1

Decrease in reactor water level due to loss of cooling capability of emergency condenser, followed by uncovering the core



Unfallablauf - 12. März

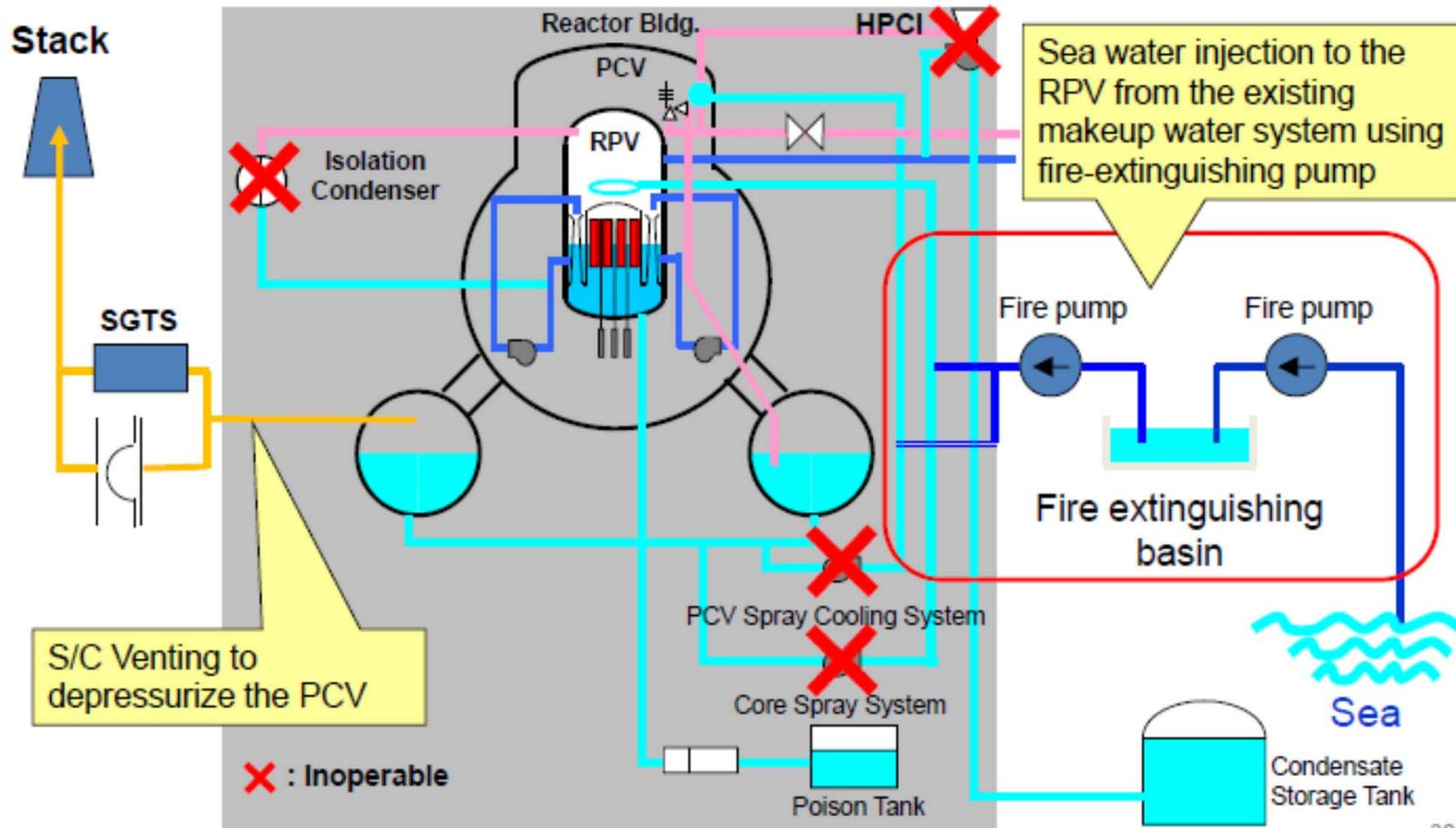
- Starker Druckanstieg Sicherheitsbehälter (SHB) Block 1, hohe Radioaktivitätswerte im Reaktorgebäude erschweren Zugang
- Vorbereitung SHB-Druckentlastung Block 1 und 2
- 05:44 Uhr Evakuierungsradius auf 10 km ausgeweitet
- **05:46 Uhr alternative Wassereinspeisung in Block 1 über Feuerlöschfahrzeug (14 Stunden und 9 Minuten nach vermutetem Ausfall IC)**
- Ab ca. 06:00 Uhr Anzeige erhöhter Strahlungswerte auf der Anlage
- 06:55 Uhr Anordnung des Ministeriums zur Druckentlastung der Blöcke 1 und 2

Unfallablauf - 12. März

- Öffnung der SHB-Druckentlastungsventile aufgrund Ausfall Energieversorgung und hoher Strahlung im Reaktorgebäude erst verspätet möglich
- 14:30 Uhr: SHB Druckentlastung Block 1 bestätigt
- Bis 14:53 Uhr: Einspeisung von 80.000 l Wasser in Block 1
- Vorbereitung alternativer Einspeisemöglichkeit in Block 1 bis ca. 15:30 Uhr abgeschlossen
- 15:29 Uhr: Erhöhte Radioaktivität außerhalb Gelände
- 15:36 Uhr
 - H₂-Detonation zerstört Reaktorgebäude Block 1
 - Vorbereitete Maßnahmen zur Wassereinspeisung werden beschädigt

Block 1

- Sea water injection using fire water pump
- S/C Venting to depressurize the PCV





Unfallablauf - 12. März

- Einspeisung in Block 2 mit RCIC, zunächst aus Condensate Storage Tank, später im Kreislauf aus Torus
- Einspeisung in Block 3 zunächst mit RCIC (bis 11:36 Uhr), später mit HPCI (ab 12:35 Uhr)
- 18:25 Uhr – Ausweitung der Evakuierungszone auf 20 km
- ab 19:04 Uhr Einspeisung Seewasser in RDB Block 1 (ca. 30 h nach Erdbeben), später auch aufboriert
- ca. 20:00 Uhr
 - Weitere SHB-Druckentlastung Block 1 in Vorbereitung
 - Vorbereitung SHB-Druckentlastung Block 2&3

Unfallablauf - 13. März

- Feuerlöschfahrzeuge von Block 5/6 können zu Block 1-4 gebracht werden
- **02:42 Uhr HPCI Block 3 automatisch abgeschaltet, keine Einspeisung mehr**
- Druckentlastung RDB Block 3: Öffnen des „Safety Relief Valve“ (SRV) wg. fehlender Batterien nicht möglich, alle Batterien in Block 1 und 2 eingesetzt, Autobatterien aus Fahrzeugen werden eingesetzt
- 08:41 Uhr Vorbereitungen zur SHB-Druckentlastung Block 3 abgeschlossen
- 09:08 Uhr
 - Öffnen SRV des RDB
 - Druckentlastung RDB Block 3

Unfallablauf - 13. März

- ca. 09:00 Uhr Einsetzen der Kernschmelze in Block 3
- 09:25 Uhr Einspeisung Frischwasser (boriert) in Block 3 mit Feuerlöschpumpe (ca. 6,5 Stunden nach Ausfall HPCI)
- 11:00 Uhr SHB-Druckentlastung Block 2 (Erfolg unklar)
- 12:20 Uhr Frischwasser zur Einspeisung in Block 3 aufgebraucht
- 13:12 Uhr Beginn Einspeisung Seewasser in Block 3
- ab ca. 14:00 Uhr Planungen zur Kühlung der Spent Fuel Pools

Unfallablauf - 14. März

- 01:10 Uhr Seewasservorrat Block 3 erschöpft, Änderung der Leitungswege
- 03:20 Uhr Wiederaufnahme der Seewassereinspeisung in Block 3
- 05:20 Uhr Beginn SHB-Druckentlastung Block 3
- 11:01 Uhr
 - H₂-Detonation zerstört Reaktorgebäude Block 3 massiv
 - Vorbereitete Maßnahmen zur alternativen Einspeisung in Block 2 beeinträchtigt
 - Eispeisung Block 3 unterbrochen

Unfallablauf - 14. März

- ab 11:30 Uhr Füllstand in RDB Block 2 fällt
- **13:25 Uhr Ausfall Einspeisung Block 2 (RCIC) bestätigt**
- 16:30 Uhr
 - Alternative Einspeisung in Block 2 vorbereitet
 - Wiederaufnahme Einspeisung Seewasser in Block 3
- 18:00 Uhr Beginn der Druckentlastung RDB Block 2
- **ab 19:54 Uhr Einspeisung Seewasser in Block 2 (ca. 6,5 Stunden nach Ausfall RCIC)**
- **ca. 20:00 Uhr Einsetzen der Kernschmelze in Block 2**
- ca. 21:00 Uhr
 - 2. Versuch SHB-Druckentlastung Block 2
 - Sehr hoher Aktivitätsanstieg in der Umgebung
- BE-Lagerbeckentemperatur in Block 4 erreicht 84°C

Unfallablauf - 15. März

- 00:02 Erneute SHB-Druckentlastung Block 2 (Erfolg unklar)
- ca. 06:00 Uhr
 - Explosion im BE-Becken (Stockwerk 5) Block 4 (später Brand in Stockwerk 4 gesichtet)
 - Massive Freisetzung von Aktivität
- ca. 06:10 Uhr
 - „ungewöhnliche Geräusche“ aus der Kondensationskammer Block 2 (H₂-Detonation?)
 - in der Folge Druckabfall in Torus
 - Beschädigung Sicherheitsbehälter/Torus befürchtet

Weitere Maßnahmen bis Heute

- Wasserzufuhr zu BE-Becken und RDBs durch Hubschrauber, Wasserwerfer, Feuerlöschfahrzeuge und Autobetonpumpe
- Wiederherstellung einer gesicherten externen Stromversorgung
- Erhöhung und Stabilisierung der Wassereinspeisungen (Frischwasser) in die RDB der Blöcke 1-3
- Inertisierung der Containments zur Vermeidung von Wasserstoffexplosionen
- Inspektionen der Gebäude mit Personal und Robotern
- Dekontaminationsmaßnahmen und Einhausungen
- Abpumpen und Speichern bzw. Ableiten von kontaminiertem Wasser ins Meer
- Einstufung in INES Level 7 (bislang nur Tschernobyl)

Eindrücke aus der Anlage



Quelle: cryptome

Havariertes AKW Fukushima I (am 24. März 2011)



Quelle: cryptome

Reaktorblock 3 (rechts) und 4 (links)



Quelle: cryptome



Quelle: cryptome





Quelle: TEPCO



Quelle: TEPCO



Quelle: TEPCO



Quelle: TEPCO



Quelle: TEPCO





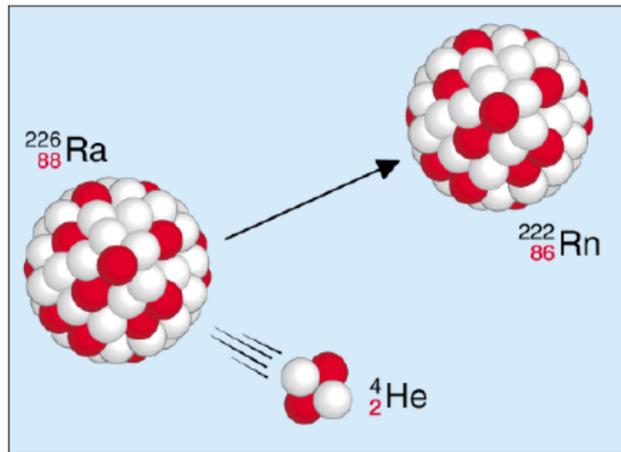
Quelle: TEPCO



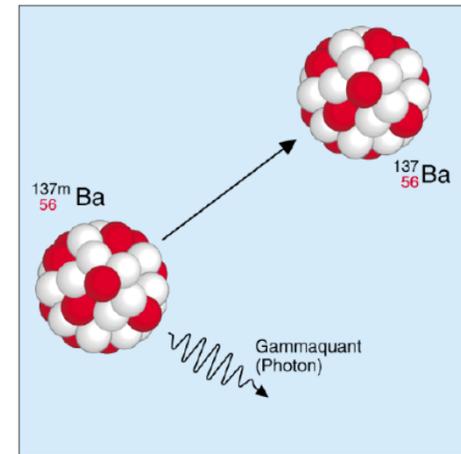
Quelle: TEPCO

Grundlagen Strahlenschutz

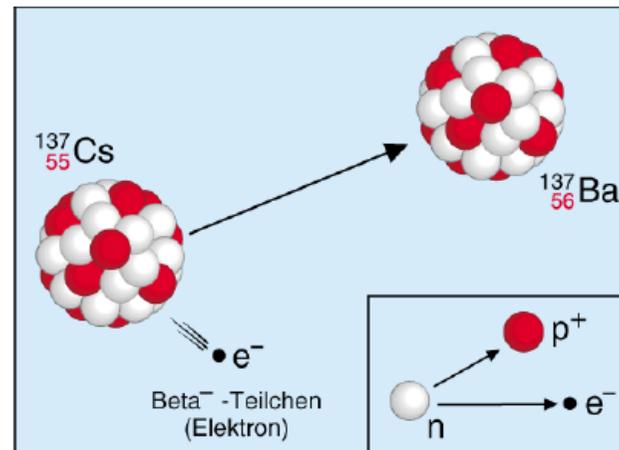
Radioaktivität



α-Strahlung



γ-Strahlung



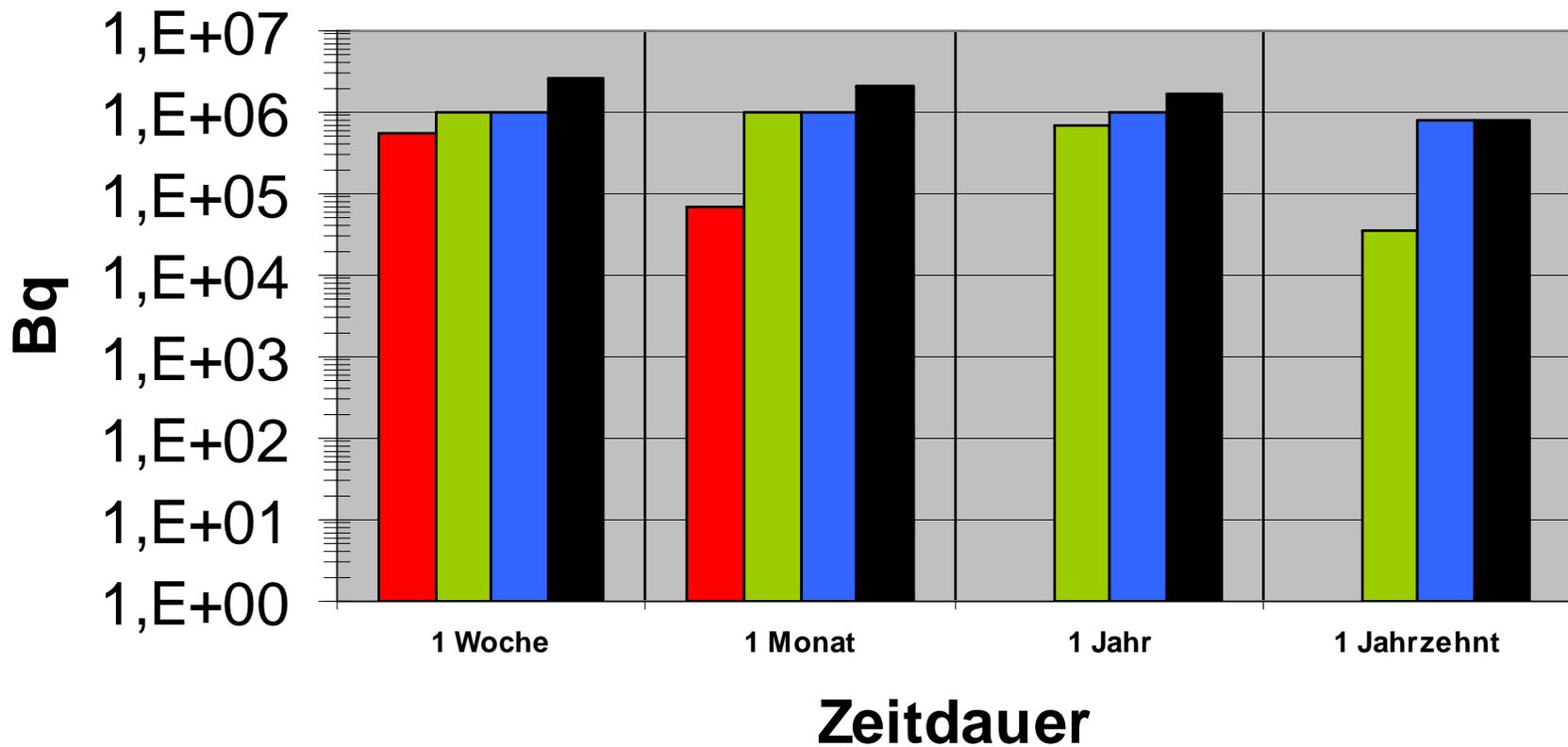
β⁻-Strahlung

Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Zerfallseigenschaften

Zerfall der dosisrelevanten Radionuklide

■ I-131 ■ Cs-134 ■ Cs-137 ■ Gesamt



Einheiten der Aktivität und der Dosis

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq 1 Bq $\approx 2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy 1 Gy = 100 rd
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 rem
Ionendosis	Coulomb durch Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg ≈ 3876 R

Quelle: Koelzer, Lexikon zur Kernenergie

Risiken einer Strahlenexposition

Risiko (Annahme: lineare Dosis-/Wirkungsbeziehung)		
Dosis von 1 Sv:		
Tödliche Krebserkrankung und Nichttödliche Krebserkrankung	5,5%	1 : 18
Schwerwiegende vererbare 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

Eingreifrichtwerte nach <Bund 1999b>

- Wesentliche Eingreifrichtwerte in Deutschland:
 - Aufenthalt in Gebäuden: 10 mSv
(durch äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide)
 - Evakuierung: 100 mSv
(durch äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide)
 - Langfristige Umsiedlung: 100 mSv
(äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide)

Radiologische Aspekte des Fukushima-Unfalls

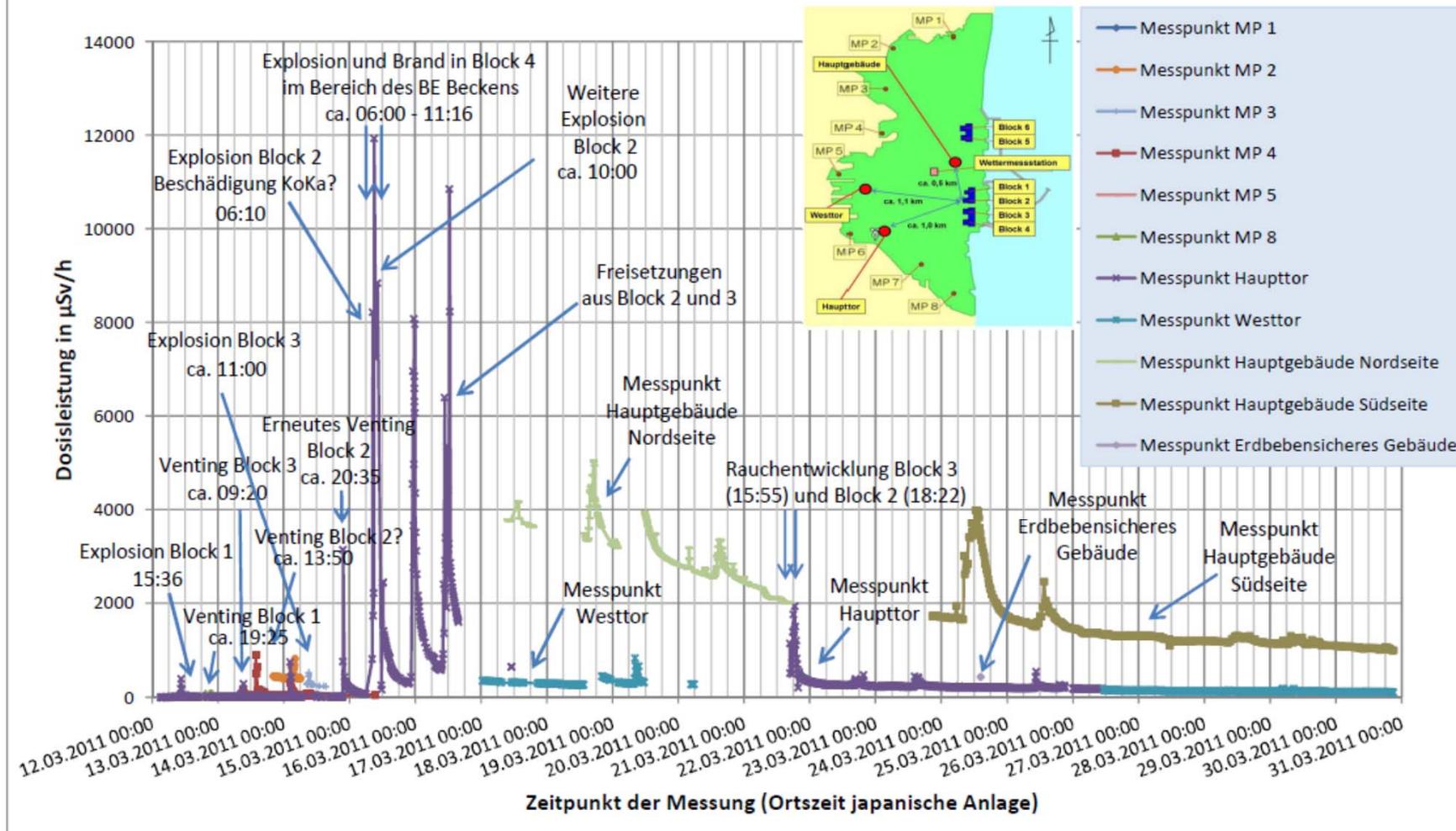
Zeitskala: welche Nuklide sind wann für die Dosis wichtig?

- Kurzzeitig (Stunden nach dem Ereignis): Edelgase
- Kurzfristig (einige Monate): Iod-131
- Mittelfristig (zwei bis drei Jahrzehnte): Cs-134
- Langfristig (> drei Jahrzehnte): Cs-137

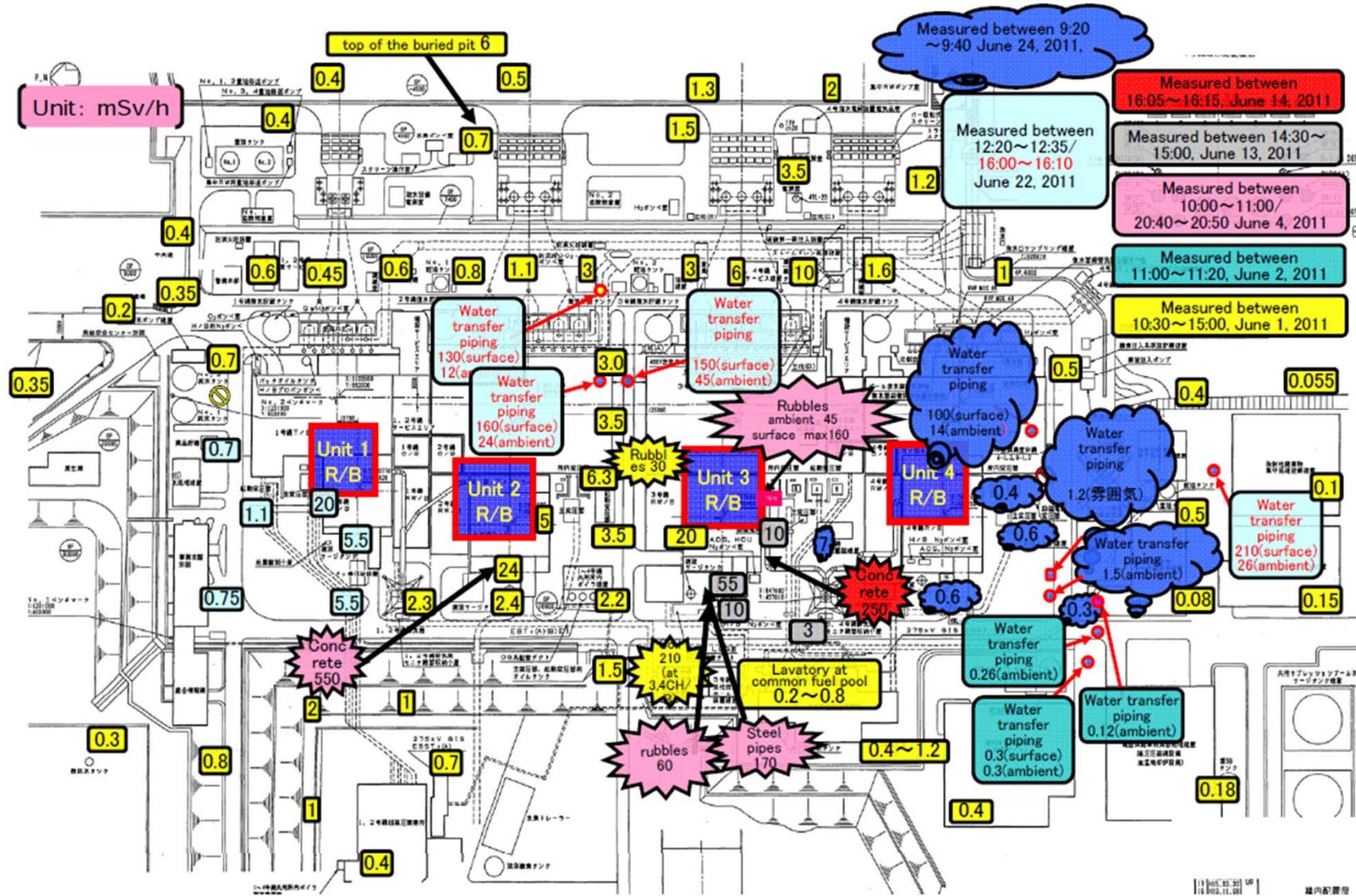
Beispiel Cäsium-134/-137

- bindet sich an Aerosole und Staubpartikel
- auswaschbar mit Regen (→ Oberflächenwasserspeicher)
- zieht auf Oberflächen auf (→ Salat, Gemüse),
- aufwirbelbare Feinstaubpartikel (→ Resuspension, Lungendosis)
- reichert sich in Biomaterialien an (→ Pilze, Wildfleisch)
- lange Aufenthaltsdauer von ingestiertem Cs im Körper

**Gemessene Dosisleistungen an ausgewählten Messpunkten
 Fukushima Daiichi - Daten des Betreibers TEPCO**

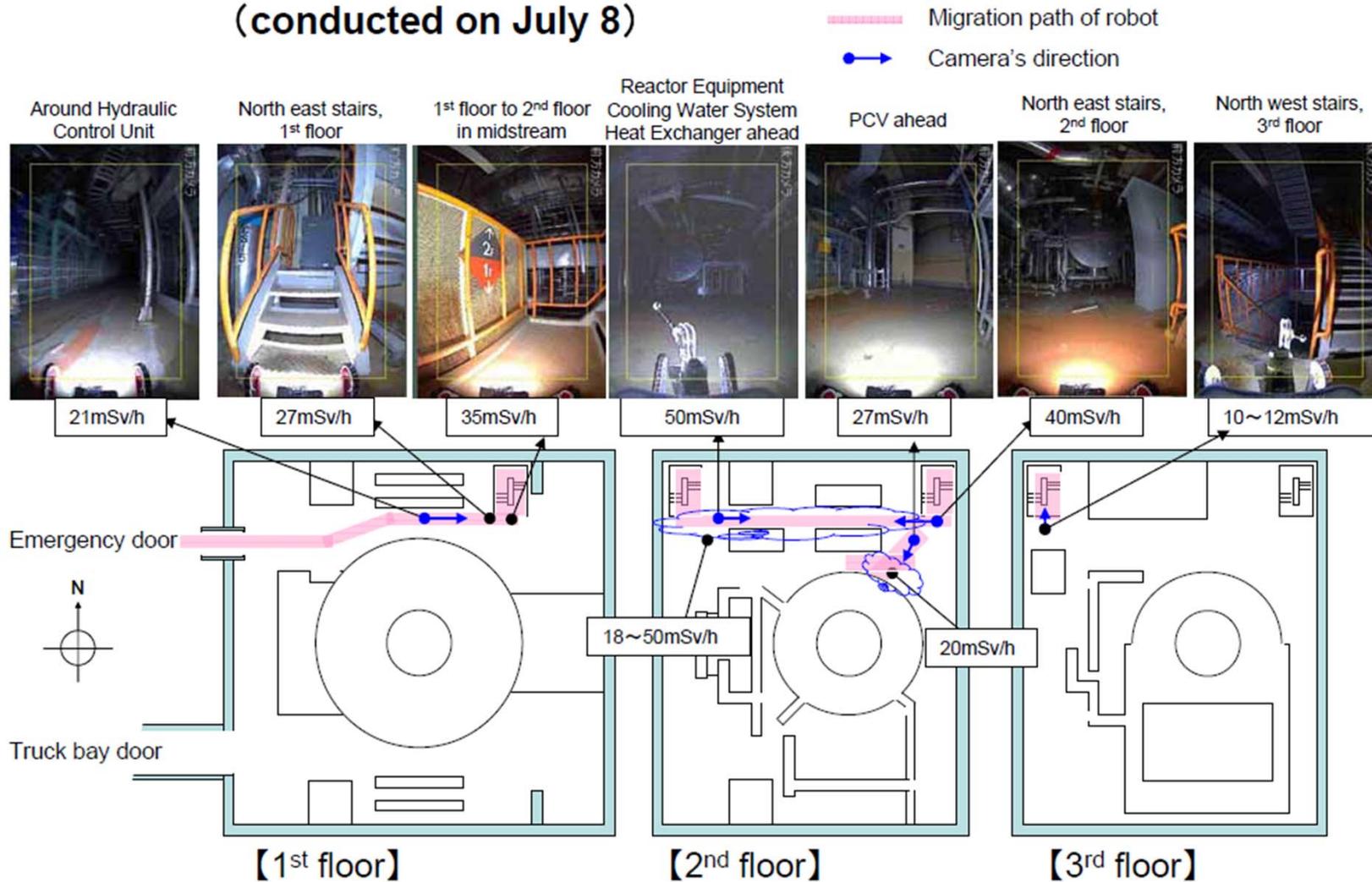


Radioactivity survey map, Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (5:00 PM, June 24, 2011)



Measurement Results of Dose Rate at Unit 2 Reactor Building of Fukushima Daiichi (conducted on July 8)

July 11, 2011
 Tokyo Electric Power Company

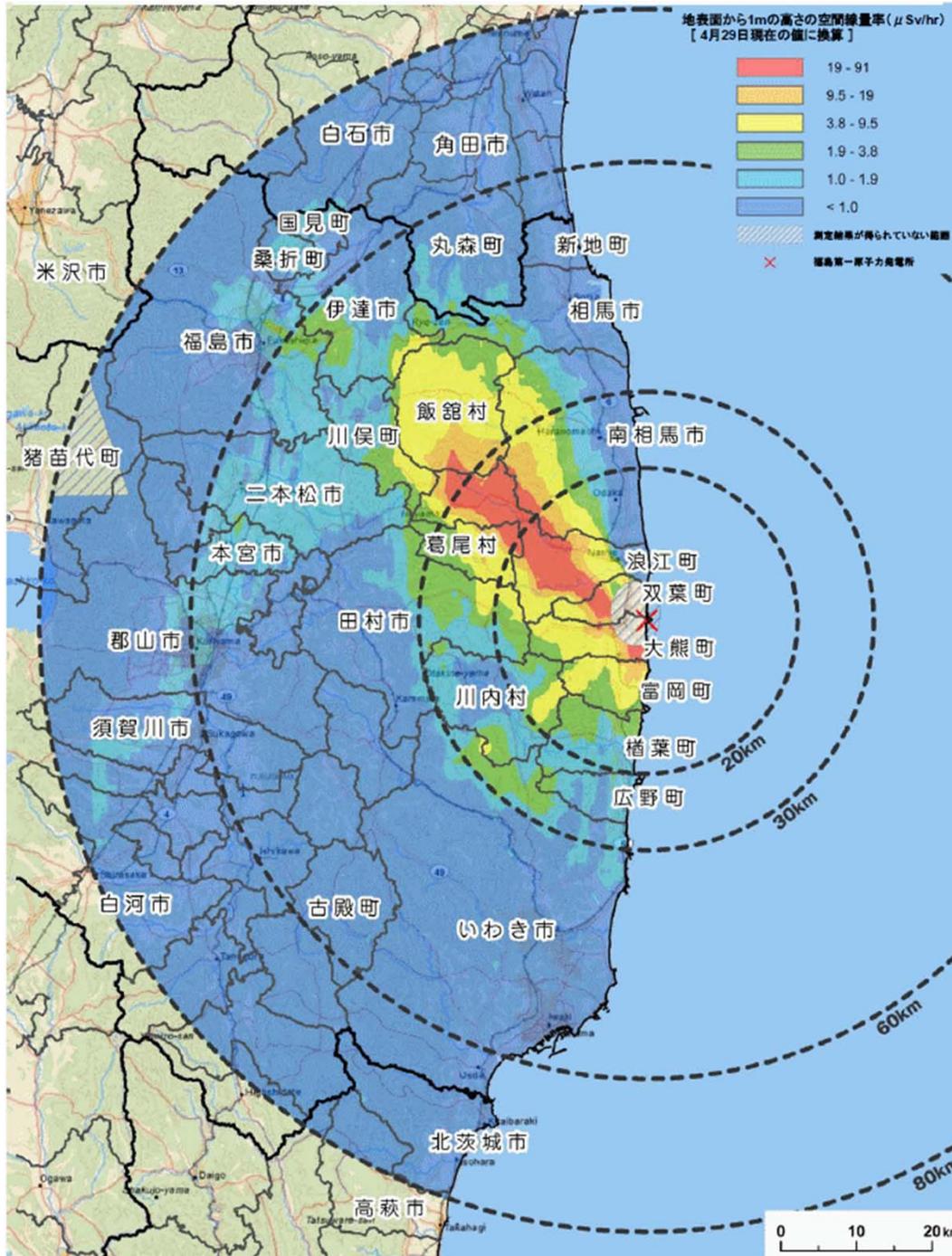


Layout of buildings are image figures (scale size and layout are not reflected correctly) Quelle: TEPCO

Geplante Einhausung



Quelle: TEPCO



μSv/h	8 Stunden Aufenthalt μSv		Ganzjahresaufenthalt mSv	
	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

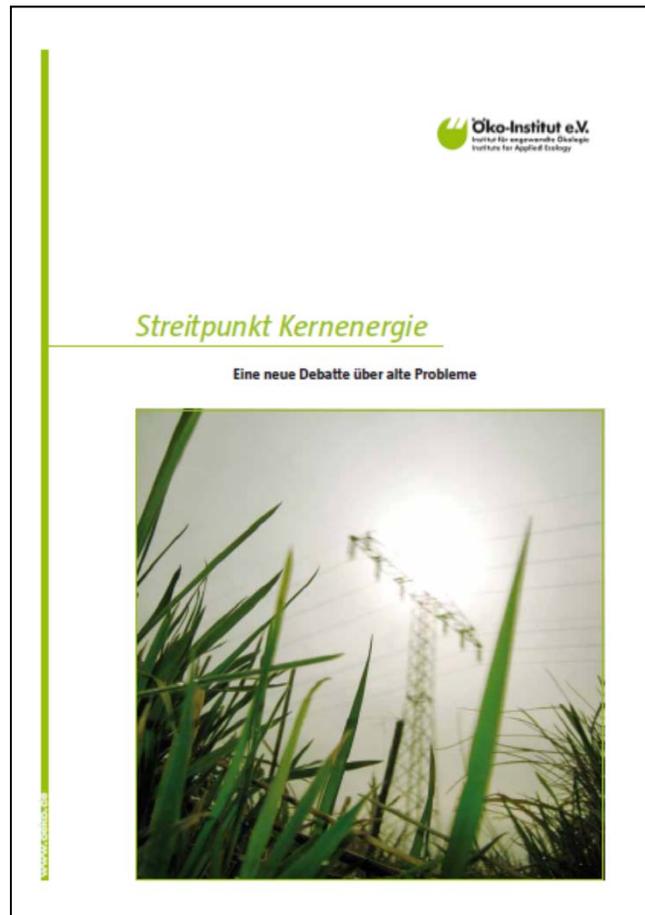
Quelle: MEXT/Eigene Berechnungen

Gemessene Materialien und Umrechnung in Dosiswerte

Gemessene Materialien	Ort, Distanz, Richtung	Betrachteter Nutzungspfad	Menge	µSv(eff) Erw.
Fisch, 2.600 - 3.200 Bq/kg	Iwaki, 3 km offshore, 40 km S	Fisch-Mensch	0,5 kg Fisch	25,6
Gras, > 300 Bq/kg	Iwate, 260 km N	Viehfutter-Kuh-Fleisch-Mensch	0,5 kg Fleisch	> 4,7
Gras, 1.530 Bq/kg	Marumori, 60 km NNW	Viehfutter-Kuh-Fleisch-Mensch	0,5 kg Fleisch	23,9
Heu, 75.000 Bq/kg	Minami Soma, 25 km N	Viehfutter-Kuh-Fleisch-Mensch	0,5 kg Fleisch	1170,0
Kuhfleisch, 1.530 - 3.200 Bq/kg	Minami Soma, 25 km N	Fleisch-Mensch	0,5 kg Fleisch	25,6
Teeblätter, > 300 Bq/kg	Daiko, 80 km N	Tee-Mensch	0,1 kg Tee	> 0,5
Teeblätter, > 300 Bq/kg	Sagai, 185 km SW	Tee-Mensch	0,1 kg Tee	> 0,5
Teeblätter, 1.810 Bq/kg	Tochigi, 160 km SW	Tee-Mensch	0,1 kg Tee	2,9
Teeblätter, 679 Bq/kg	Shizuoka, 360 km SW	Tee-Mensch	0,1 kg Tee	1,1
Teeblätter, 780 Bq/kg	Odawara, 290 km SW	Tee-Mensch	0,1 kg Tee	1,2
Seaweed, 20.000 Bq/kg	Iwaki, 80 km S	Seaweed-Mensch	0,25 kg frisch	112,2
dto., ohne Iod-131		Seaweed-Mensch	0,25 kg getr.	2,2
Seeweed, 129.000 Bq/kg	Iwaki, 40 km S	Seaweed-Mensch	0,25 kg frisch	705,4
dto., ohne Iod-131		Seaweed-Mensch	0,25 kg getr.	6,9

Quelle: MEXT/Eigene Berechnungen

Weitere Informationen: www.oeko.de



Mission Zukunft gestalten – werden Sie Mitglied!

Das Öko-Institut

- eines der europaweit führenden, unabhängigen Umweltforschungs- und Beratungsinstitute
- Gegründet 1977
- Gemeinnütziger Verein mit rund 3000 Mitgliedern
- Standorte in Freiburg, Darmstadt und Berlin
- Auftraggeber: Europäische Union, Ministerien auf Bundes- und Landesebene, Unternehmen, NGO
- 130 MitarbeiterInnen, davon mehr als 85 WissenschaftlerInnen

Kontakt: info@oeko.de