



Spiegel Online

Reaktorunfall im KKW Fukushima I

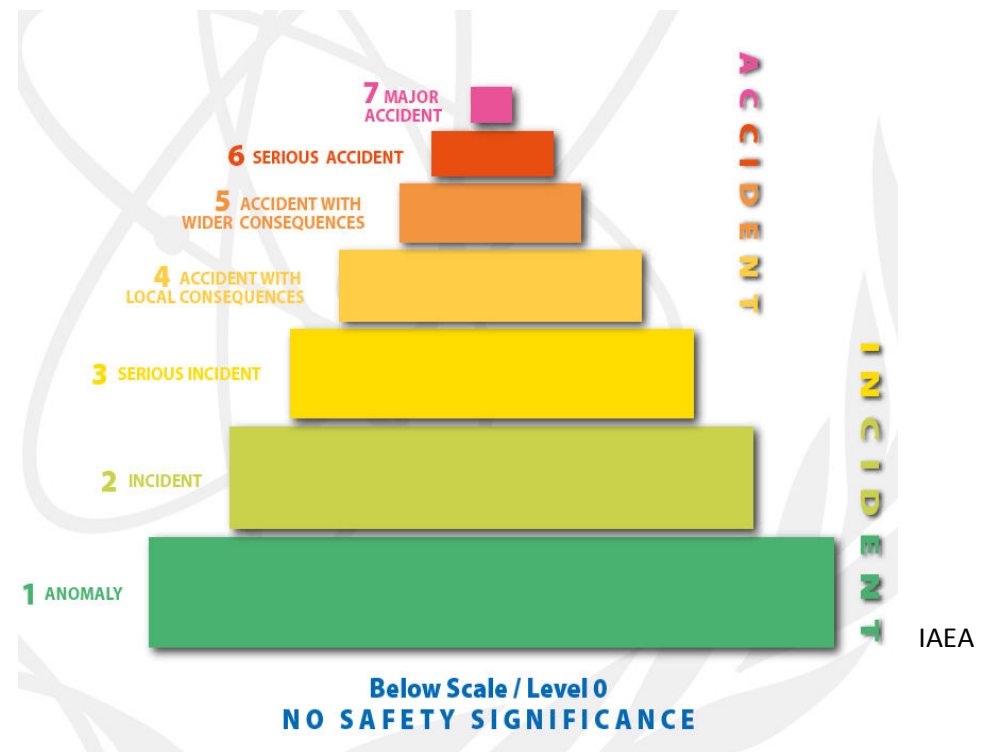
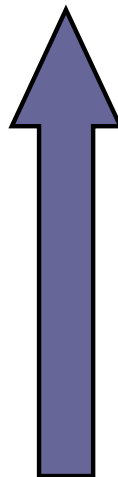
Einordnung des Reaktorunfalls im KKW Fukushima I

Nach dem schweren Erdbeben am 11.03.2011 um 14:46 Uhr (06:46 Uhr MEZ) wurden die Reaktoren an den Kernkraftwerksstandorten Fukushima I (Daiichi), Fukushima II (Daini), Onagawa und Tokai abgeschaltet.

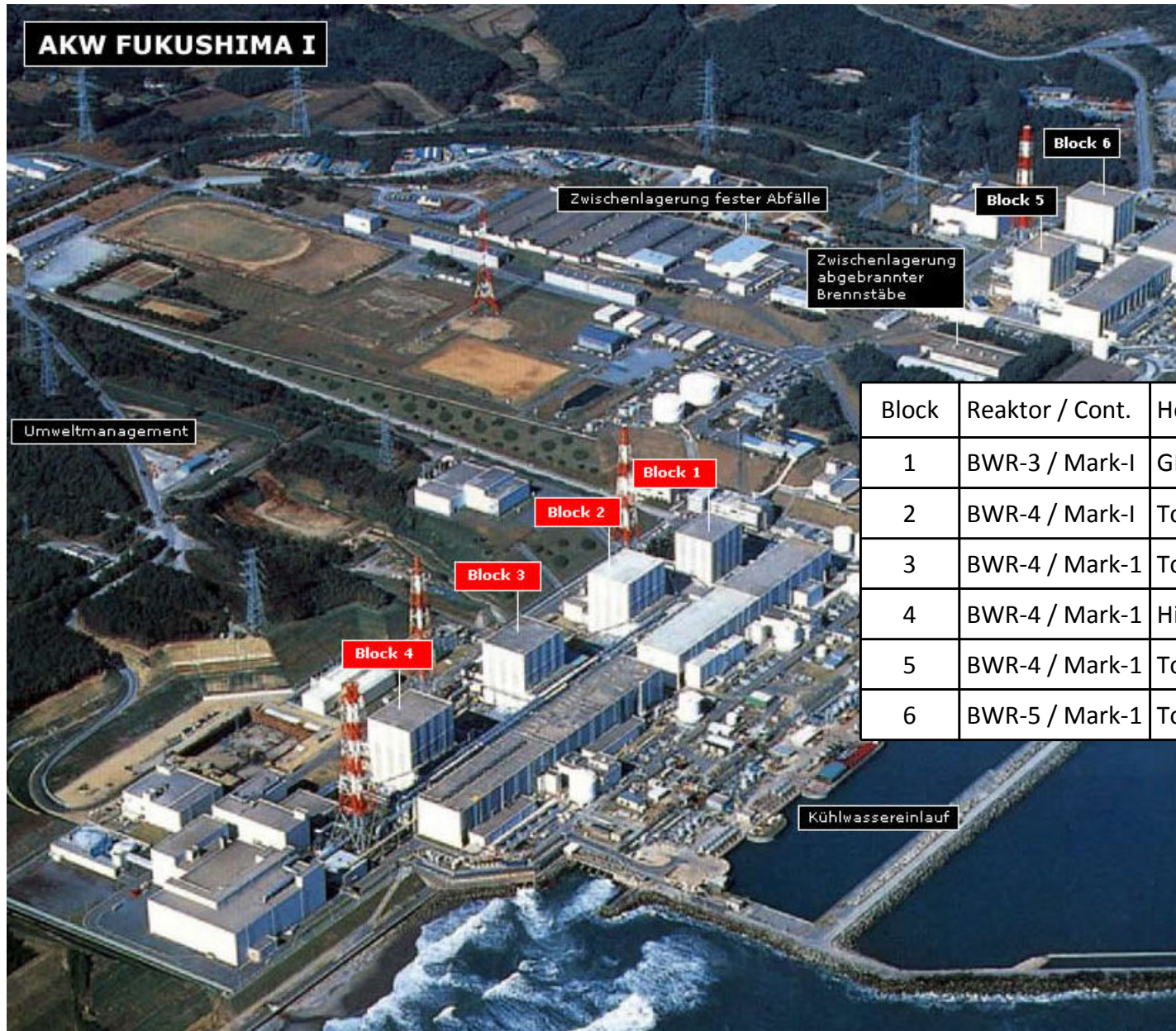
Die nachfolgende Flutwelle führte zu teils erheblichen Schäden am Standort Fukushima I, wobei die Blöcke 1-4 am stärksten betroffen sind.

The international nuclear and radiological event scale – INES (IAEA)

schwerer Störfall / Unfall
... ..
auslegungsüberschreitender
Störfall
... ..
Auslegungsstörfall
... ..
Störung



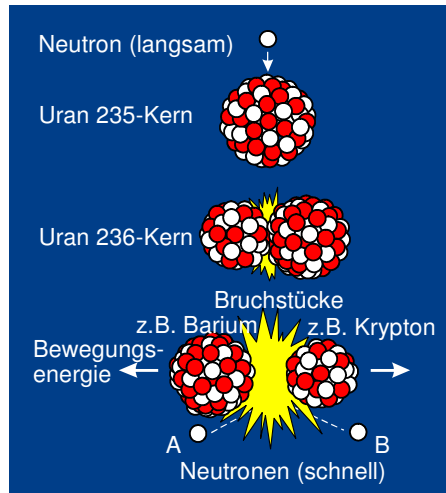
Kernkraftwerke am Standort Fukushima I



Block	Reaktor / Cont.	Hersteller	Inbetriebnahme	Leistung
1	BWR-3 / Mark-I	GE	1971	460 MW _{el}
2	BWR-4 / Mark-I	Toshiba,GE	1974	784 MW _{el}
3	BWR-4 / Mark-1	Toshiba	1976	784 MW _{el}
4	BWR-4 / Mark-1	Hitachi	1978	784 MW _{el}
5	BWR-4 / Mark-1	Toshiba	1978	784 MW _{el}
6	BWR-5 / Mark-1	Toshiba,GE	1979	1100 MW _{el}

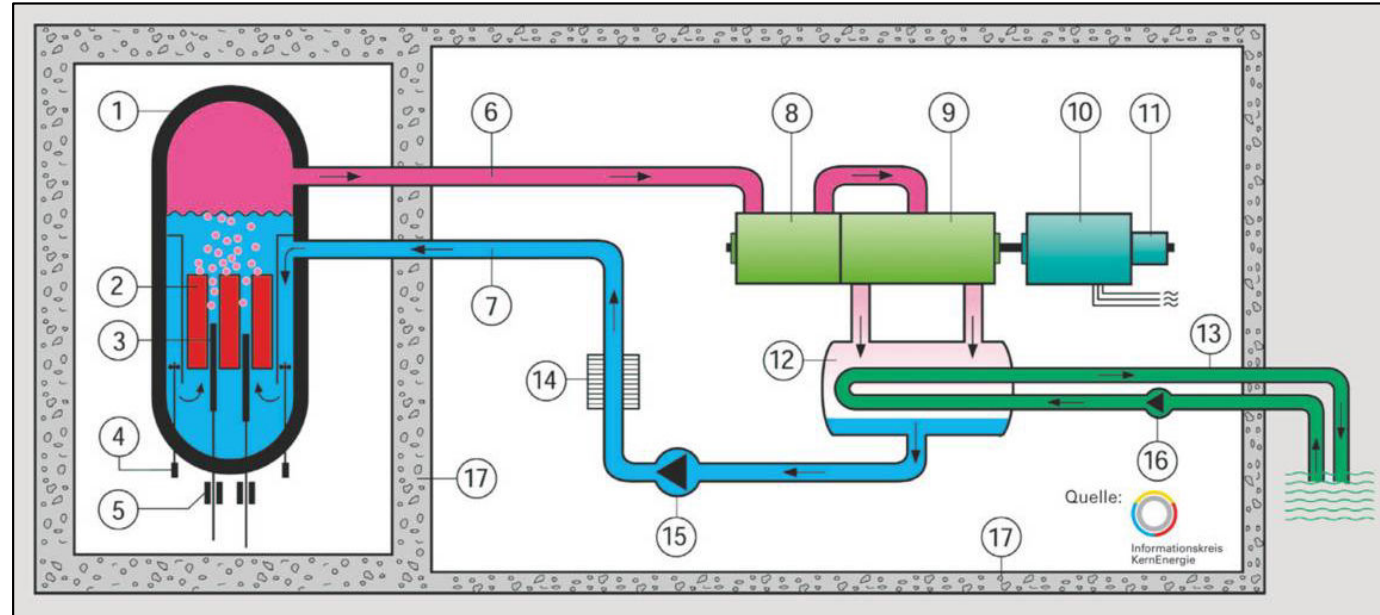
Spiegel Online / TEPCO

Hintergrundinformation: Siedewasserreaktor (SWR)



Bindungsenergie der Nukleonen wird freigesetzt:

- kin. Energie der Spaltprodukte
- 2-3 schnelle Neutronen
- γ -Strahlung und Neutrinos

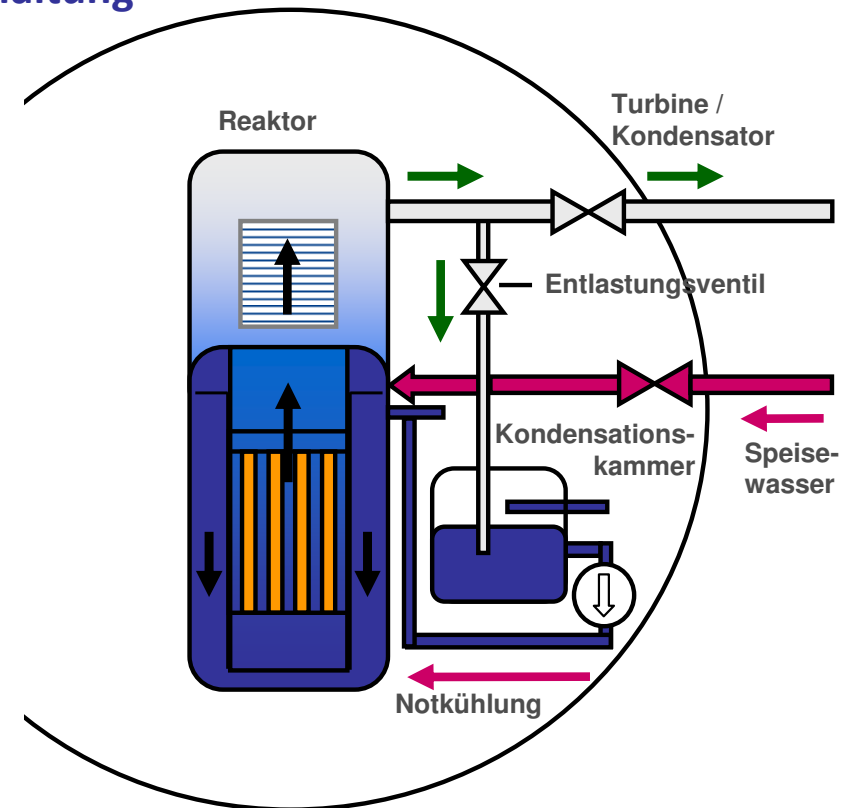
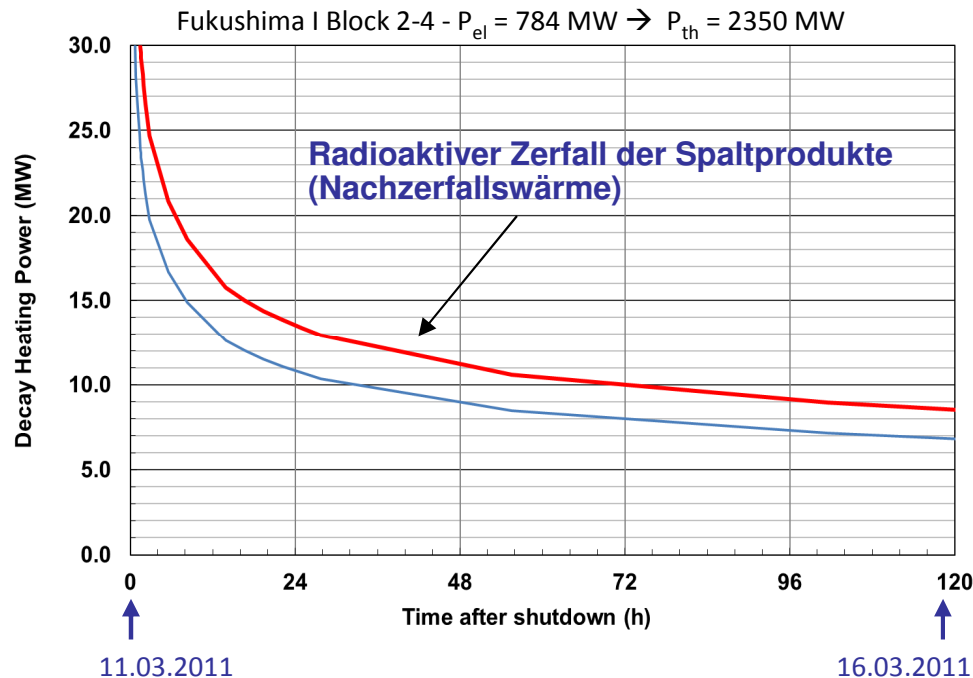


Beim SWR wird die im Reaktor durch Kernspaltung erzeugte Wärme über den Reaktorkühlkreislauf direkt an die Turbine abgeführt und im Generator in elektrische Energie umgewandelt.

1 Kreislauf: Reaktor $\Rightarrow$ Frischdampfleitung $\Rightarrow$ Turbine / Kondensator $\Rightarrow$ Speisewassersystem

Hintergrundinformation: Nachwärmeabfuhr in einem Kernreaktor

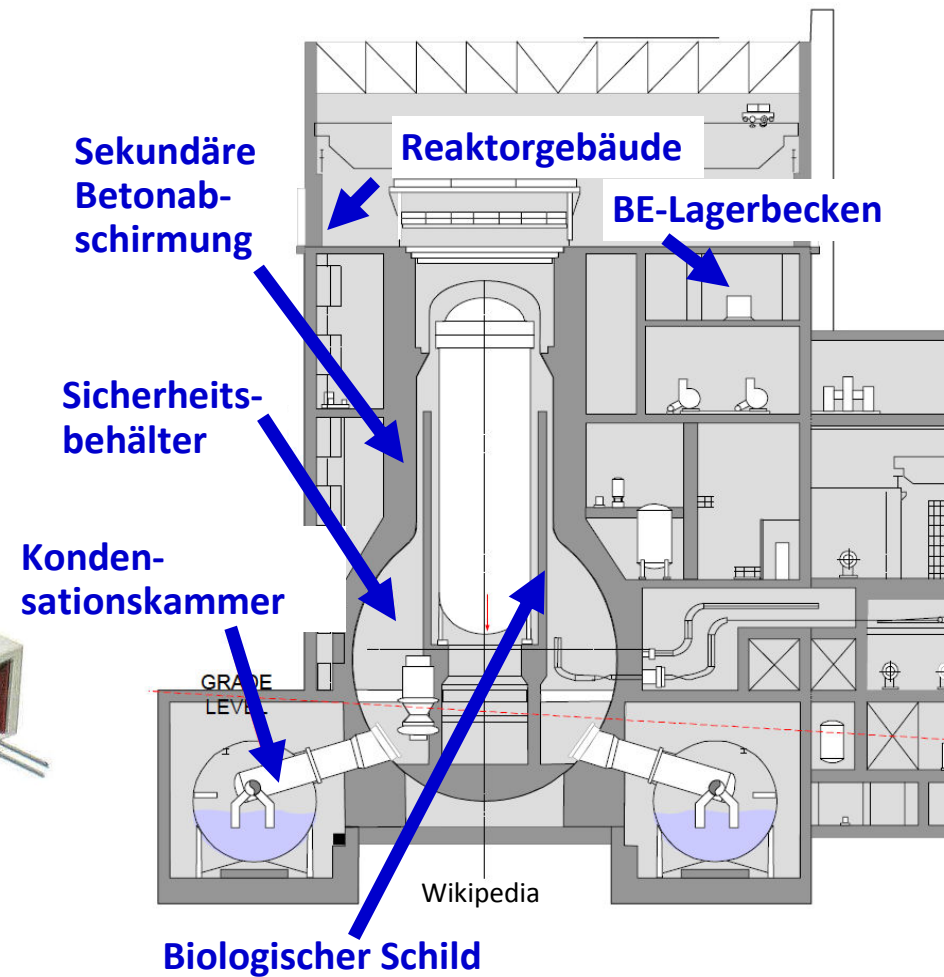
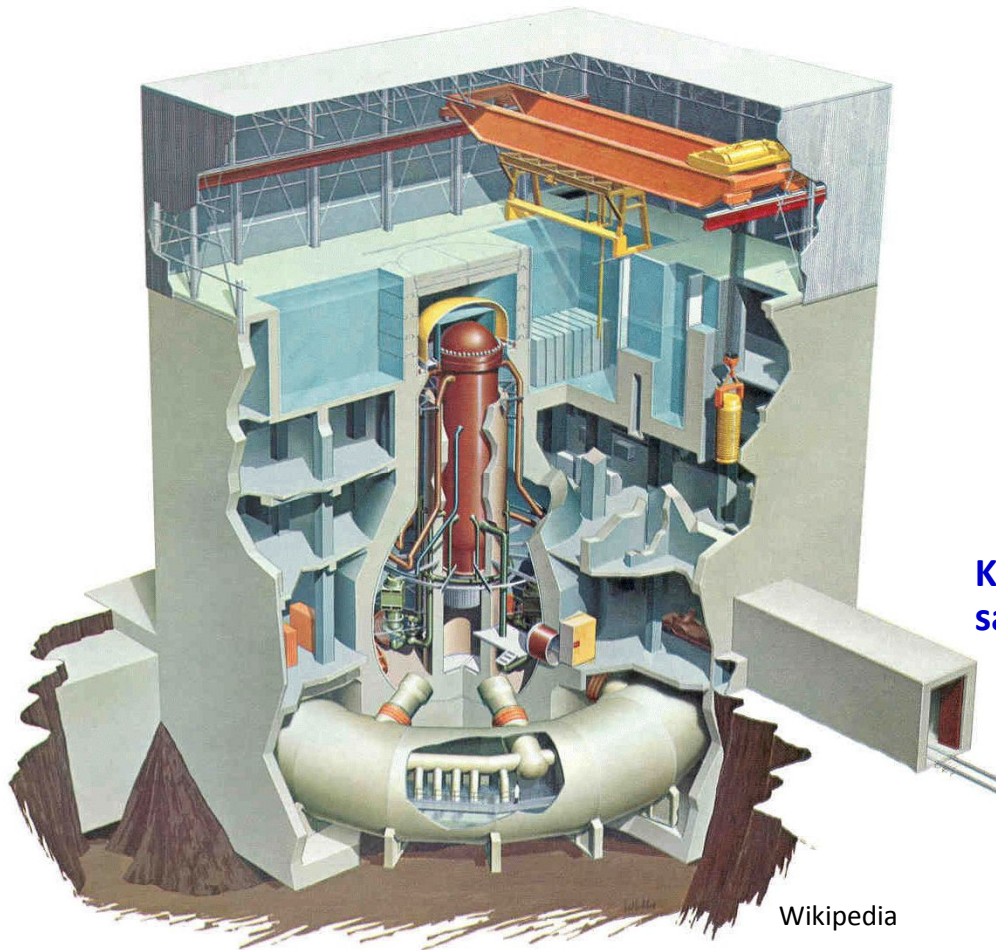
Die Leistung eines Reaktors sinkt nach der Abschaltung nicht sofort auf Null!



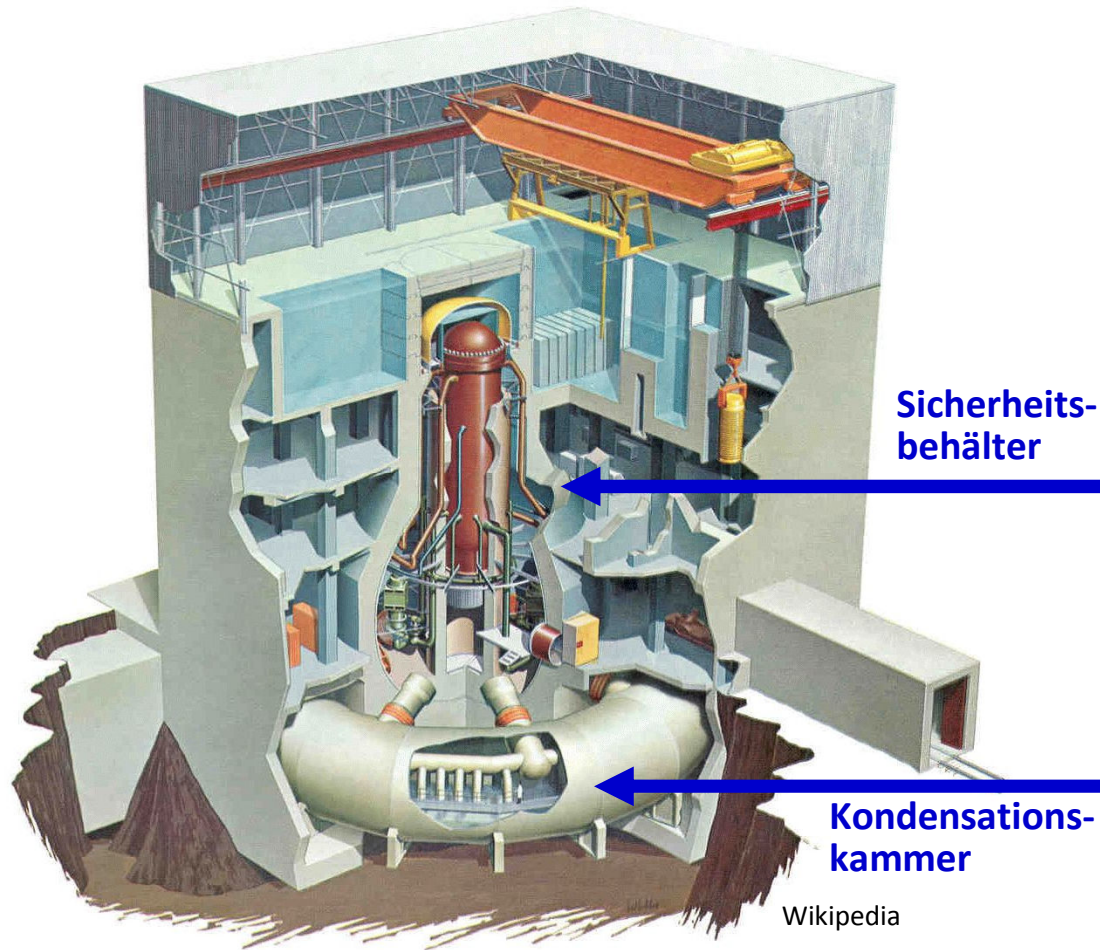
- ⇒ Normalbetrieb: Turbine und Kondensator
- ⇒ abgeschalteter Reaktor: Umleitstation und Kondensator oder Kondensationskammer (Druckbegrenzung / Druckentlastung)

Wichtig ist ein geschlossener Kreislauf mit **Dampfentnahme aus dem Reaktor** und **Wasserzufuhr durch Speisewasser- oder Not- und Nachkühlsysteme!**

Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude im KKW Fukushima-I

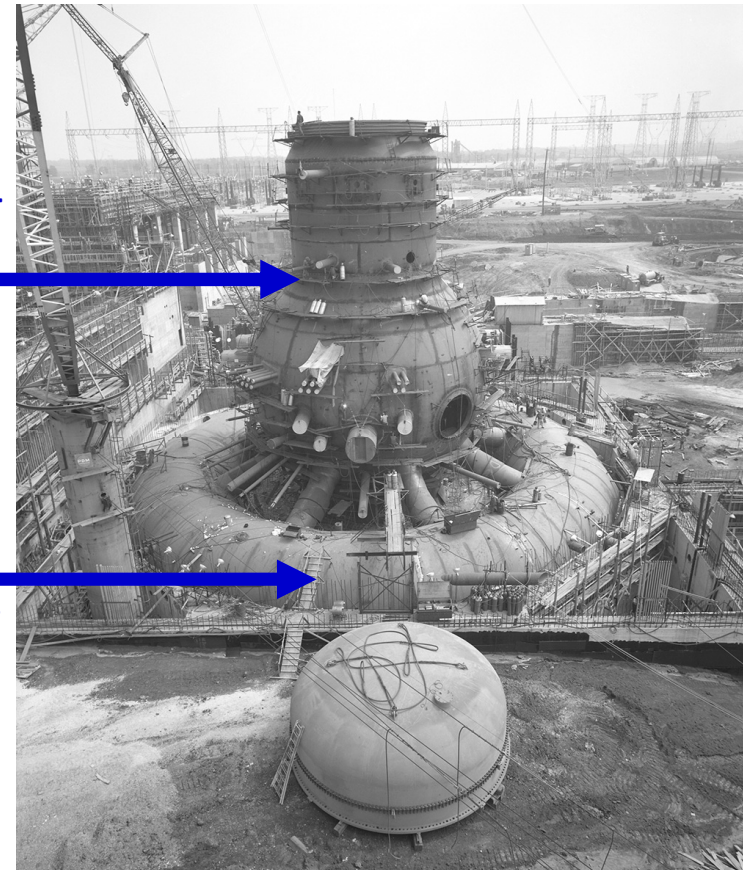


Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude im KKW Fukushima-I

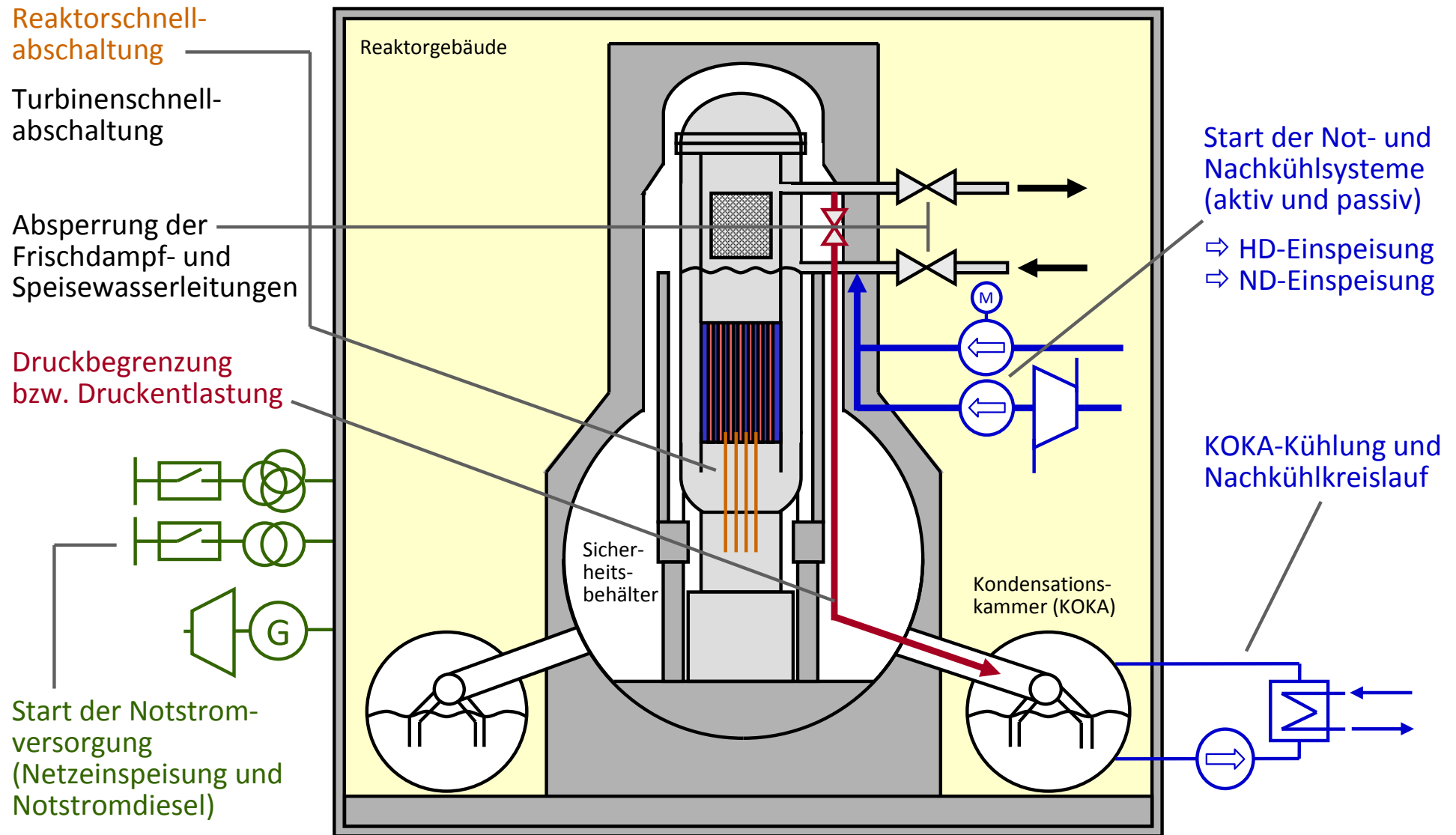


Browns Ferry Nuclear Power Plant, Alabama
SWR mit 1065 MW_{el.}, Hersteller General Electric (GE)

Wikipedia / Tennessee Valley Authority



Wichtige Maßnahmen zur Störfallbeherrschung in einem SWR



Unfallablauf nach dem Erdbeben und dem Tsunami (1)

Die teilweise unklaren und sich mitunter widersprechenden Meldungen lassen eine belastbare Analyse der Ereignisse zum derzeitigen Zeitpunkt nicht zu.

Der Ereignisablauf in den Blöcken 1 und 3 ist ähnlich, auch in Block 2 laufen vergleichbare Prozesse ab. Der Ausfall der Notkühlung führt zu einer partiellen Kernfreilegung und- aufheizung, was Kernschäden zur Folge hat.

Nachfolgend wird daher der prinzipielle Unfallablauf beschrieben.

Detaillierte Information finden sich u.a. auf den Internetseiten von BMU und GRS sowie beim Japan Atomic Industrial Forum:

<http://www.bmu.de>

<http://www.grs.de>

<http://www.jaif.or.jp/english/index.php>

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat Arbeitsgruppen eingerichtet, die sich mit den Auswirkungen der Naturkatastrophen in Japan auf die Kernkraftwerke in Fukushima beschäftigen (die Federführung liegt beim KIT):

http://www.helmholtz.de/aktuelles/schwerpunkte/helmholtz_experten_fuer_japan_im_einsatz

Unfallablauf nach dem Erdbeben und dem Tsunami (2)

Am 11. März 2011 wurden die Blöcke 1-3 des KKW Fukushima I als Folge des schweren Erdbebens automatisch abgeschaltet (die Blöcke 4-6 waren auf Grund von Wartungsarbeiten außer Betrieb, Revision):

- ⇒ es erfolgten sofort Reaktor- und Turbinenschnellabschaltung
- ⇒ mit Abschluss des Sicherheitsbehälters wurden die Frischdampf- und Speisewasserleitungen abgesperrt und die Abfuhr der Nachzerfallswärme erfolgte durch Abblasen von Dampf in die Kondensationskammer, Druckbegrenzung bzw. Druckentlastung
- ⇒ der Start der Notstromdiesel war anfangs erfolgreich, durch den nachfolgenden Tsunami wurden sie aber beschädigt und fielen aus, auch Teile des Kühlwassereinlaufbauwerks wurden beschädigt
- ⇒ mobile Generatoren konnten nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung zugeschaltet werden

Unfallablauf nach dem Erdbeben und dem Tsunami (3)

Wegen der fehlenden Notstromversorgung standen nach Ausfall der Diesel nur Systeme zur Verfügung, welche batterieversorgt sind:

- ⇒ die Notkühleinspeisung mit einem Notkühlsystem ist in der Anfangsphase funktionsfähig (dampfgetriebene Turbine)
- ⇒ da alle anderen Notkühlsysteme und die Nachkühlkette nicht wirksam sind, beginnt der Reaktorfüllstand zu sinken und die Temperatur in der Kondensationskammer steigt
- ⇒ der sinkende Füllstand im Reaktordruckbehälter führt zur partiellen Freilegung der Brennelemente, was einen Anstieg der Hüllrohrtemperaturen und vermutlich ein teilweises Schmelzen von Brennstäben zur Folge hat
- ⇒ die Hüllrohroxidation führt zur Freisetzung von Wasserstoff und durch Brennstabschäden gelangen (leichtflüchtige) Radionuklide zuerst in den Reaktordruckbehälter und in das Containment und später in die Umgebung
- ⇒ im weiteren Verlauf steigt der Druck im Containment (ca. 4 bar Auslegungsdruck)

Unfallablauf nach dem Erdbeben und dem Tsunami (4)

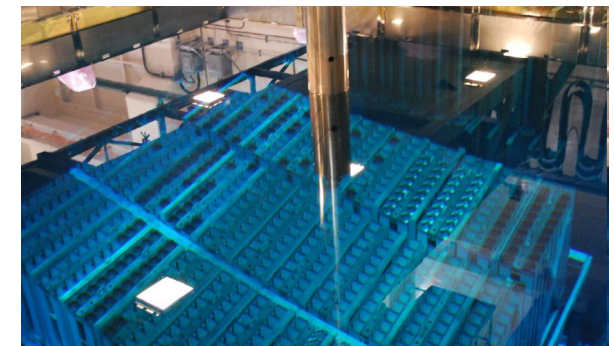
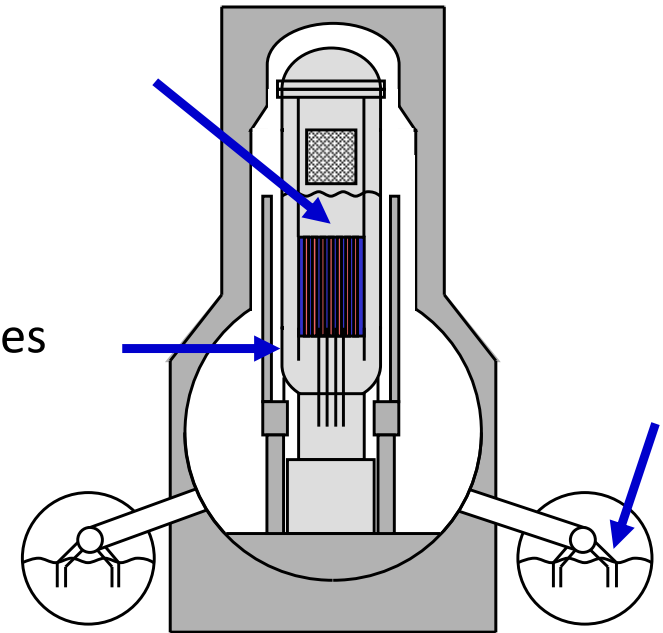
Um den Druck sowohl im Reaktordruckbehälter als auch im Containment im weiteren Verlauf zu reduzieren, werden verschiedene Maßnahmen eingeleitet:

- ⇒ Öffnen von Sicherheits- und Entlastungsventilen, Containment-Sprühung
- ⇒ Druckentlastung des Containments, nachfolgend kommt es zu den beobachteten Explosionen in Block 1 und Block 3 (Wasserstoffexplosion außerhalb des Containments, wobei das Containment vermutlich intakt bleibt)
- ⇒ für Block 2 wird eine Öffnung im Reaktorgebäude geschaffen, um eine Wasserstoffexplosion wie bei den beiden anderen Blöcken zu vermeiden
- ⇒ später kommt es bei Block 2 zu einer Explosion innerhalb des Containments, vermutlich ebenfalls eine Wasserstoffexplosion (Kondensationskammer?)

Unfallablauf nach dem Erdbeben und dem Tsunami (5)

Es werden verschiedene Notfallmaßnahmen eingeleitet, um den Reaktorfüllstand anzuheben und die Brennstäbe zu kühlen:

- ⇒ Einspeisung von boriertem aber auch nicht boriertem (Meer-) Wasser mit Hilfe von mobilen Pumpen in Reaktordruckbehälter und Containment
- ⇒ Ziel ist sowohl eine Kühlung der Brennelemente bzw. des vermutlich teilzerstörten Reaktorkerns als auch der Druckbehälteraußenwand (Ergebnis offen)
- ⇒ im Block 4 gibt es Probleme mit der Kühlung im Brennelementlagerbecken, eine Explosion (vermutlich Wasserstoff) zerstört Teile des Reaktorgebäudes
- ⇒ Freisetzung von Radionukliden, zum Teil aus dem Reaktordruckbehälter / Containment als auch aus dem Brennelementlagerbecken
- ⇒ man versucht mit dem Einsatz von Hubschraubern und Löschfahrzeugen eine Kühlung zu ermöglichen



Spiegel Online / AFP/ JIJI PRESS

Schäden im KKW Fukushima-I



Neben der notwendigen Kühlung der Brennelementlagerbecken sowie von Reaktorkern und -druckbehälter ist die Herstellung einer stabilen Notstromversorgung, insbesondere für das Not- und Nachkühlsystem, eine wichtige Aufgabe.

Die Blöcke 2 und 4 scheinen besonders gefährdet (Kernfreilegung im Block 2 und Füllstandsabfall im Brennelementlagerbecken von Block 4).



Spiegel Online / AP/ TEPCO

Schäden im KKW Fukushima-I



Spiegel Online / DPA/
DigitalGlobe



Spiegel Online / AP/ Japan Defense Ministry



Spiegel Online / AFP/ TEPCO via JIJI PRESS

Status KKW Fukushima-I – Stand 25.3.2011, 08.00 MEZ

Kernkraftwerk	Fukushima Nr. 1 (Daiichi)					
Block	I	II	III	IV	V	VI
INES-Bewertung	5	5	5	3	k.A.	k.A.
Zustand Kern und Brennstäbe (Brennelementezahl)	beschädigt (400)	beschädigt (548)	beschädigt (548)	keine Brennstäbe im Kern	unbeschädigt (548)	unbeschädigt (764)
Zustand Reaktordruckbehälter	unbekannt	unbekannt	Schaden vermutet	unbeschädigt	unbeschädigt	Unbeschädigt
Zustand Sicherheitsbehälter	unbeschädigt	Schaden vermutet	unbeschädigt	unbeschädigt	unbeschädigt	unbeschädigt
Reaktorkühlsystem 1, Wechselstrom, Einspeisung Großmengen Frischwassers	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht notwendig	funktionsfähig	funktionsfähig
Reaktorkühlsystem 2, Wechselstrom, Wärmetauscher	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht notwendig	funktionsfähig („cold shutdown“)	funktionsfähig („cold shutdown“)
Reaktorgebäudezustand	schwer beschädigt, Wasserstoffexplosion	leicht beschädigt	schwer beschädigt, Wasserstoffexplosion	schwer beschädigt, Wasserstoffexplosion	Lüftungsloch im Dachbereich geschaffen zur Vermeidung einer Wasserstoffexplosion	
Wasserstand im Reaktordruckbehälter	Brennstäbe teilweise oder ganz freiliegend	Brennstäbe teilweise oder ganz freiliegend	Brennstäbe teilweise oder ganz freiliegend	Sicher	sicher	sicher
Druck / Temperatur im Reaktordruckbehälter	leicht sinkend nach Anstieg / gesunken	unbekannt	unbekannt	Sicher	sicher	sicher
Druck im Sicherheitsbehälter (Containment)	leicht sinkend nach Anstieg	stabil	sinkt nach Zunahme am 20.03.2011	sicher	sicher	sicher
Wassereinspeisung in Reaktorkern	wird fortgesetzt (Meerwasser)	wird fortgesetzt (Meerwasser)	wird fortgesetzt (Meerwasser)	nicht notwendig	nicht notwendig	nicht notwendig
Wassereinspeisung in Sicherheitsbehälter	(wird bestätigt)	noch zu entscheiden (Meerwasser)	(wird bestätigt)	nicht notwendig	nicht notwendig	nicht notwendig
Druckentlastung Containment	zeitweise gestoppt	zeitweise gestoppt	zeitweise gestoppt	nicht notwendig	nicht notwendig	nicht notwendig
Zustand der Brennelemente im Abklingbecken	unbekannt (292)	unbekannt (587)	evtl. beschädigt (514)	evtl. beschädigt (1331)	unbeschädigt (946)	unbeschädigt (876)
Kühlung des Abklingbeckens	Wassereinspeisung wird erwogen	Wassereinspeisung erfolgte am 20.03.	Niveau niedrig, Meerwasserbesprühung fortgesetzt, Teileffekt bestätigt	Niveau niedrig, Meerwasserbesprühung fortgesetzt, Wasserstoffexplosion	Abklingbecken-kühlungsfähigkeit wieder hergestellt	Abklingbecken-kühlungsfähigkeit wieder hergestellt
Betretungs- und Funktionsfähigkeit Hauptkontrollraum	gering wegen Stromausfalls (Beleuchtung wieder hergestellt)		gering wegen Stromausfalls (Beleuchtung wieder hergestellt)		unbeschädigt (geschätzt)	
Umweltauswirkungen	Messpunkt Haupttor: 259,0 µ Sv/h am 25.03.2011 um 11:00 Uhr (Ortszeit); Radionuklide oberhalb gesetzlicher Grenzwerte wurden in der Präfektur Fukushima produzierten Milch und im Spinat sowie anderen Gemüsesorten aus Ibaraki, Fukushima und anderen Präfekturen entdeckt. Radioaktives Jod in Mengen oberhalb gesetzlicher Grenzwerte wurde im Trinkwasser von Fukushima entdeckt. Radioaktives Jod oberhalb der Grenzwerte für Babys wurde im Trinkwasser der Präfekturen Tokio, Ibaraki, Chiba und Saitama gemessen. Das gemessene Radioaktivitätsniveau ist niedrig genug, um die Gesundheit der Menschen nicht zu schädigen, die diese Produkte für begrenzte Zeit konsumieren. Meerwasserproben vom Küstenwasser vor der Anlage Fukushima Daiichi am 23.03.2011 ergaben Nachweise radioaktiven Jods, Cäsiums, Ruthenium und Tellur oberhalb der regulären Grenzwerte. Auch in Küstengewässern im 16km Umkreis von Fukushima Daiichi wurden radioaktives Jod und Ruthenium oberhalb der regulären Grenzwerte entdeckt.					
Evakuierungszone	20 km um Kernkraftwerk; *Menschen, die zwischen 20 und 30 km von KKW Fukushima 1 Daiichi entfernt leben, müssen im Haus bleiben.					
Quelle: Governmental Emergency Headquarters: News release (-/3/25 11:00); Pressekonferenz; Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA): News release (-/3/15 12:30), Pressekonferenz; TEPCO: Pressemitteilung (-/3/25 11:00), Pressekonferenz.				Sicherheitstechnische Bewertung durch JAIF:		
				hoch	mittel	niedrig

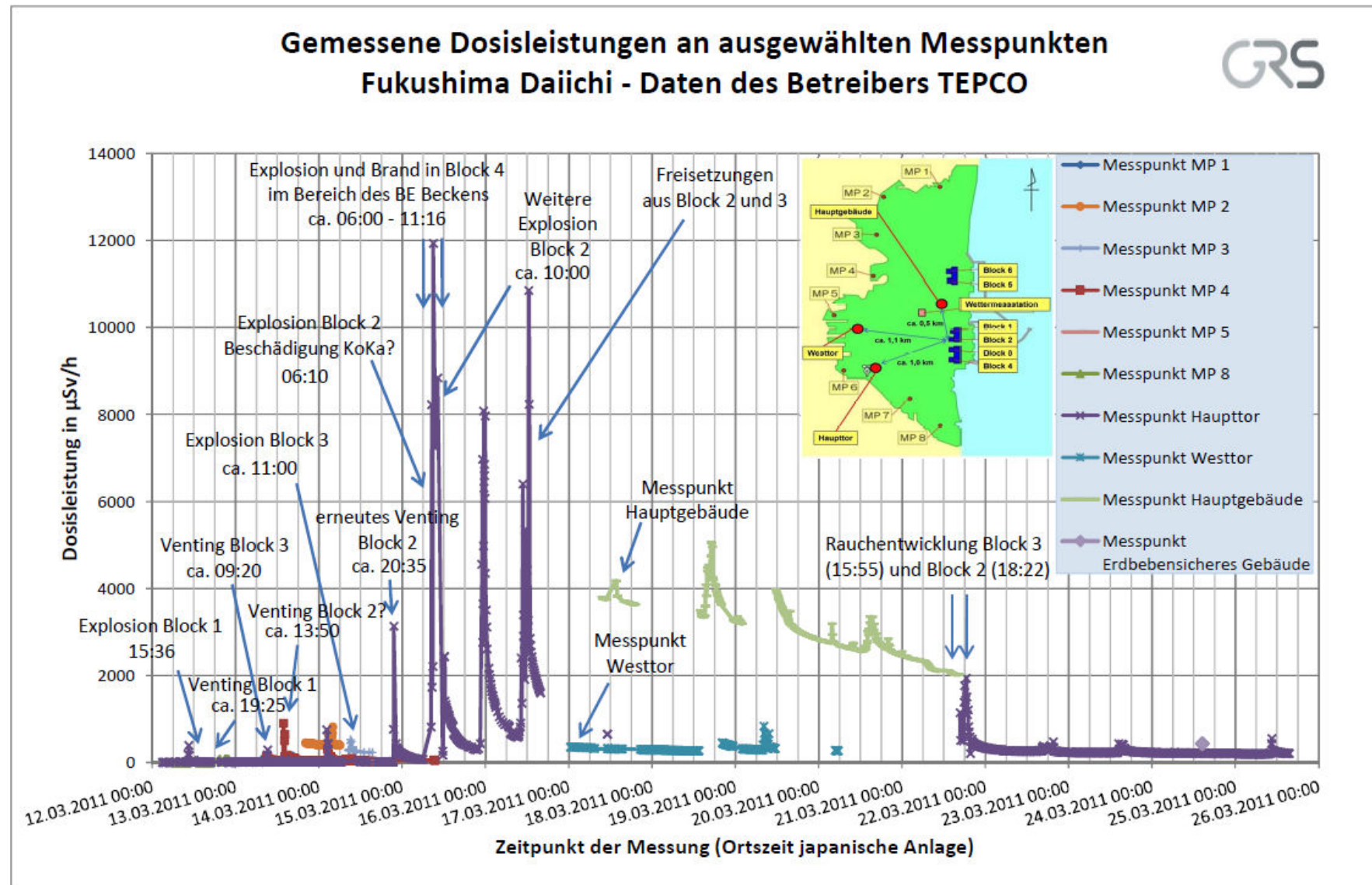
Tabelle des JAIF, Japan Atomic Industrial Forum, Inc.

*

Übersetzt durch Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln.

<http://www.grs.de>

Status KKW Fukushima-I – Stand 25.3.2011, 17.00 MEZ



<http://www.grs.de>

HZDR

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft