

## ■ Fukushima - Tschernobyl

**Fukushima**  
**Tschernobyl**

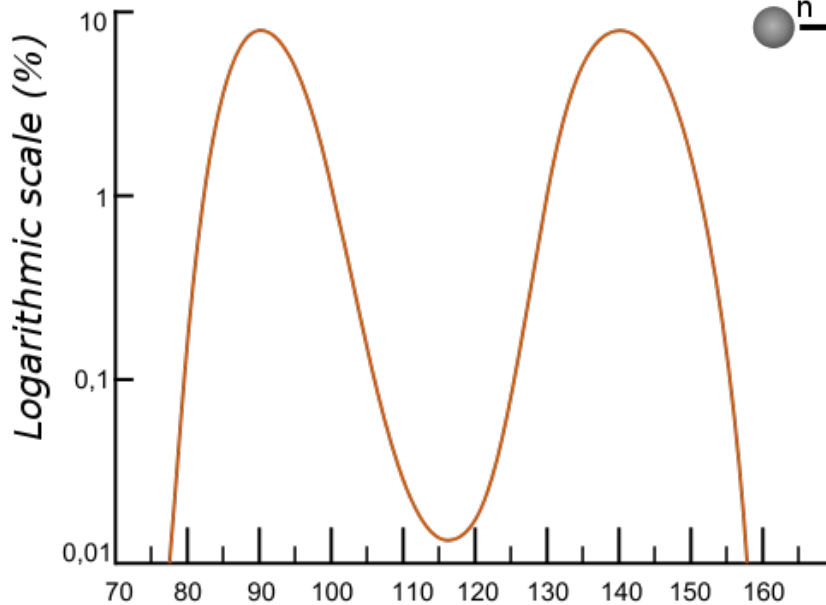


## ■ Outline

- Kernkraftwerke
  - physikalische Prozesse
  - technische Aspekte
  - Störmeldungen
- Fukushima
- Tschernobyl

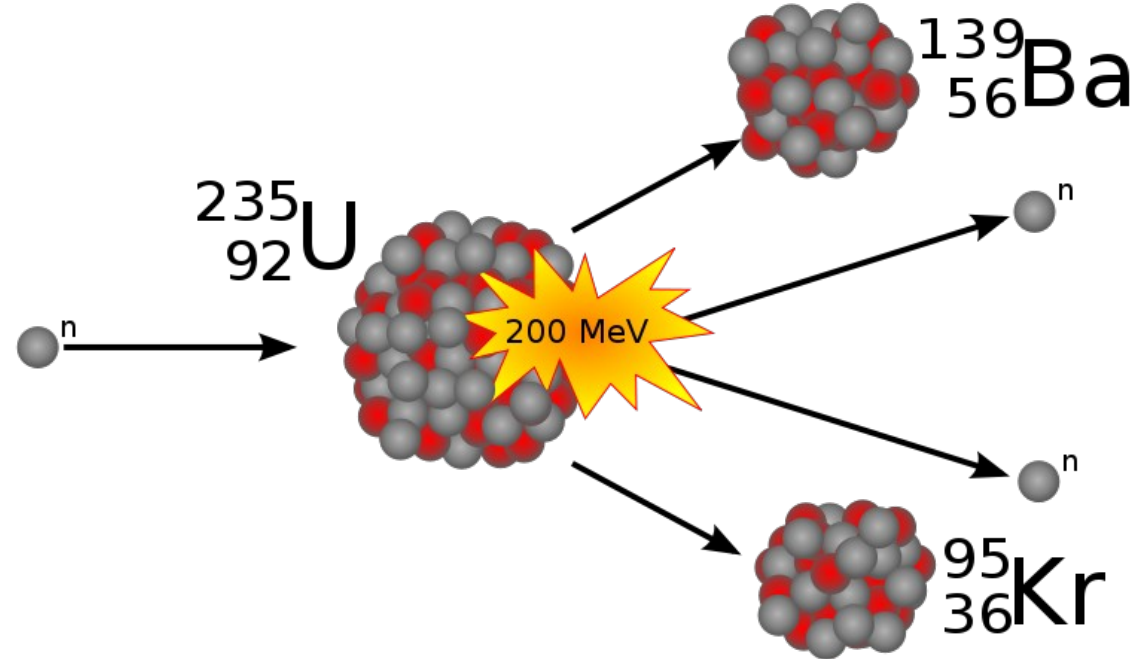
# Kernspaltung

1934: Enrico Fermi  
 1938: Otto Hahn,  
 Fritz Straßmann  
 1939: Lise Meitner,  
 Otto Frisch



Distribution of Uranium-235 fission products (A)

AKW: Uran-235 und Plutonium-239

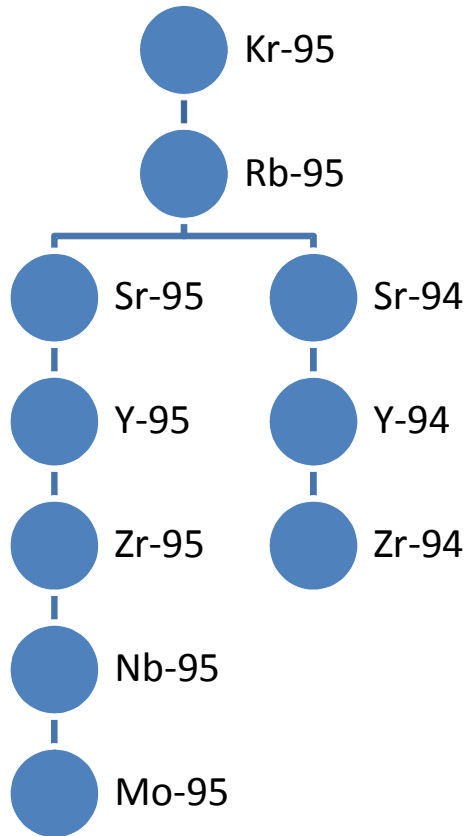


236,053 u

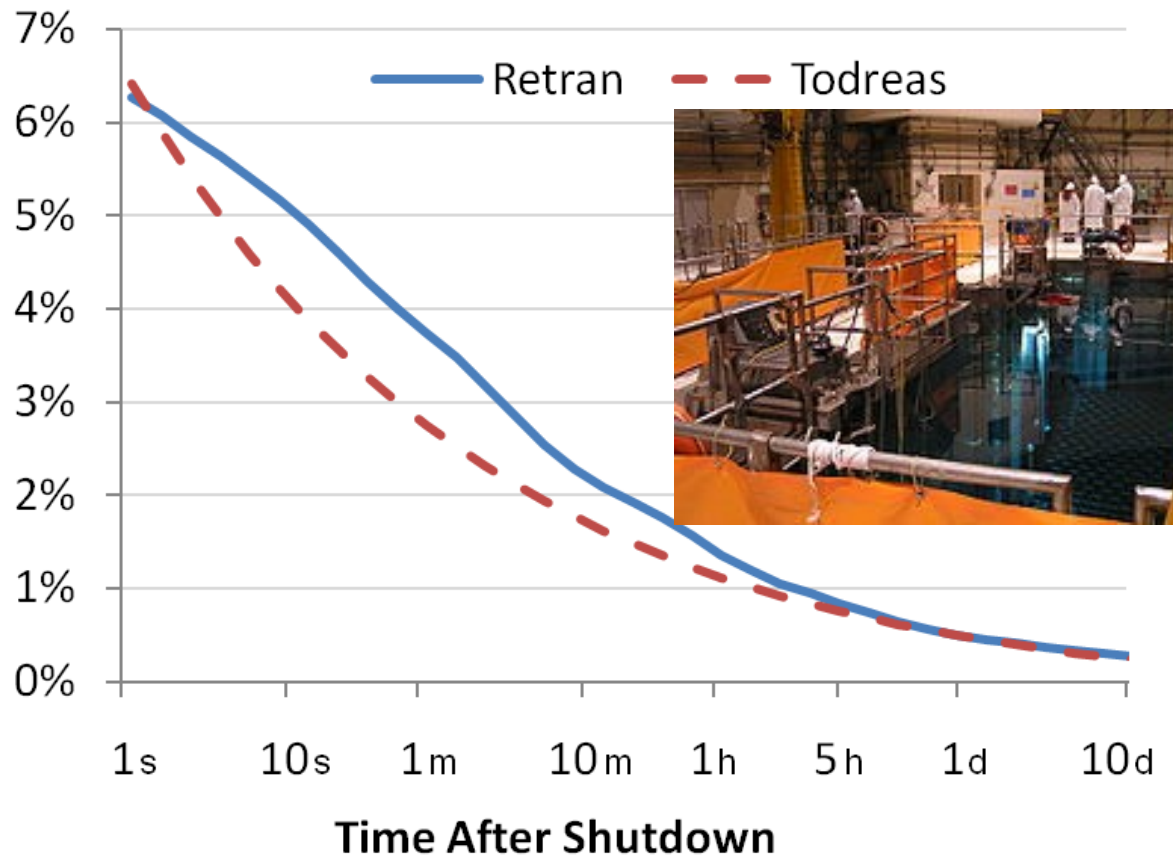
235,860 u

→ Massedefekt: 0,193 u

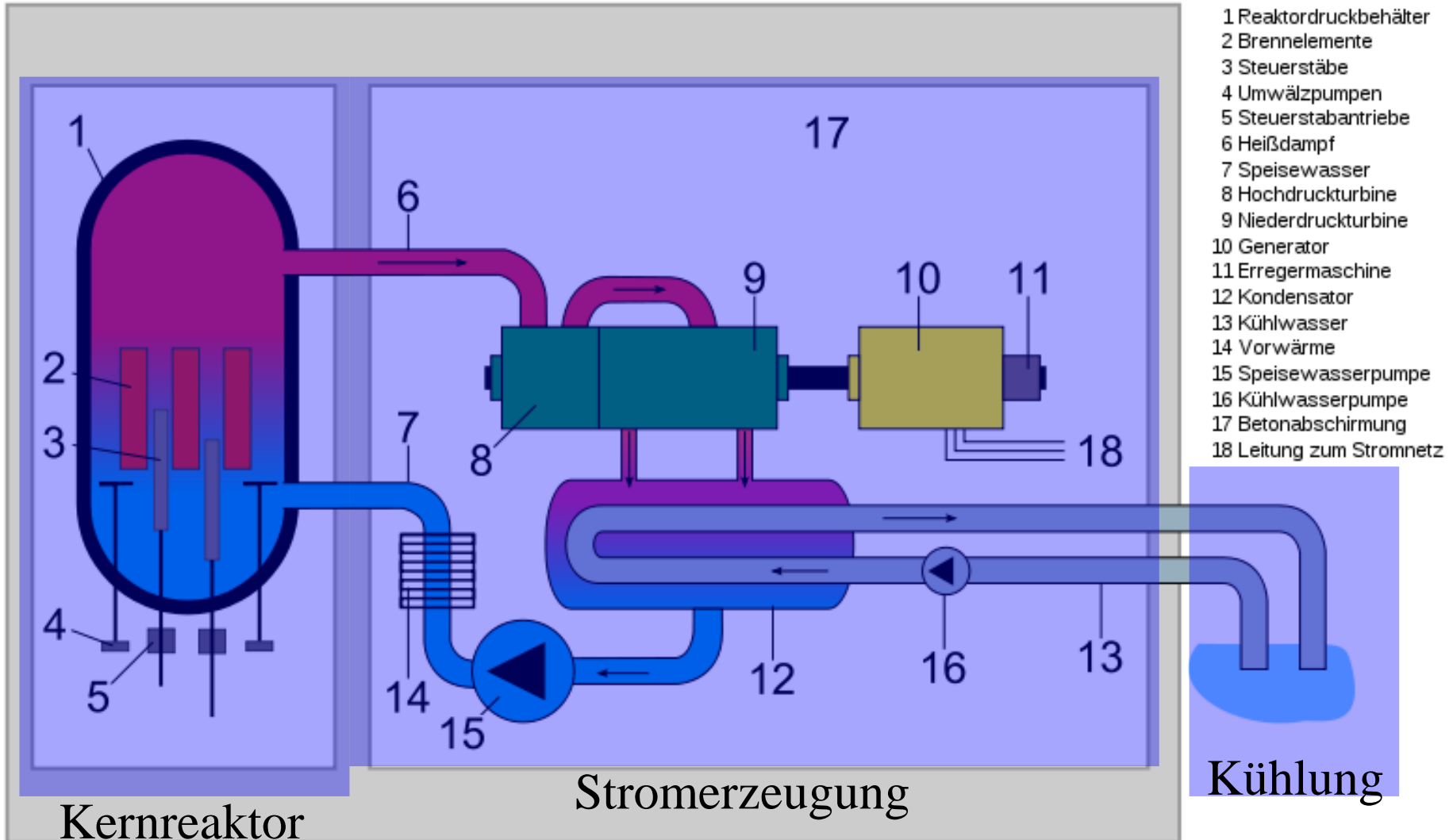
# Zerfallsreihe - Nachzerfallswärme



weitere entstehende Produkte:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{106}\text{Pd}$ ,  $^{108}\text{Pd}$ ,  $^{110}\text{Pd}$ , ...



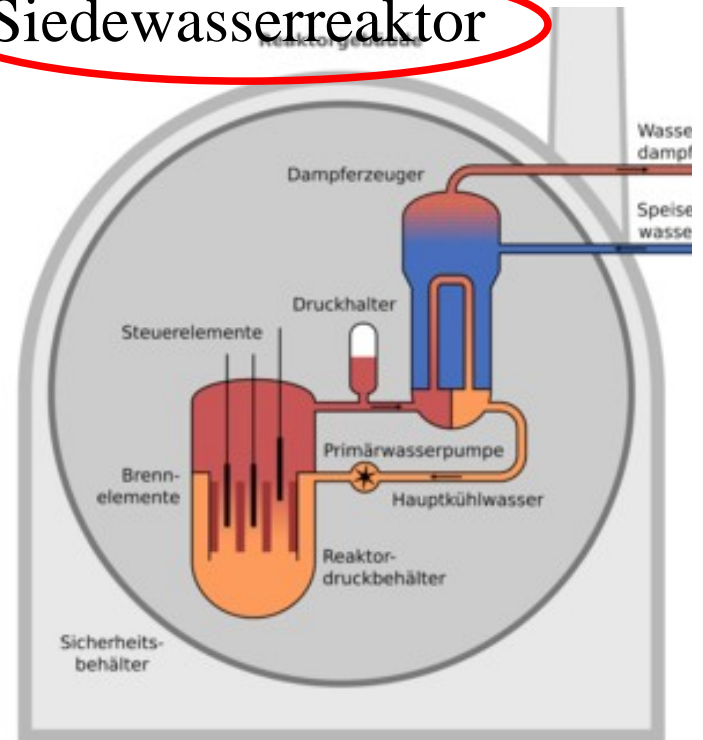
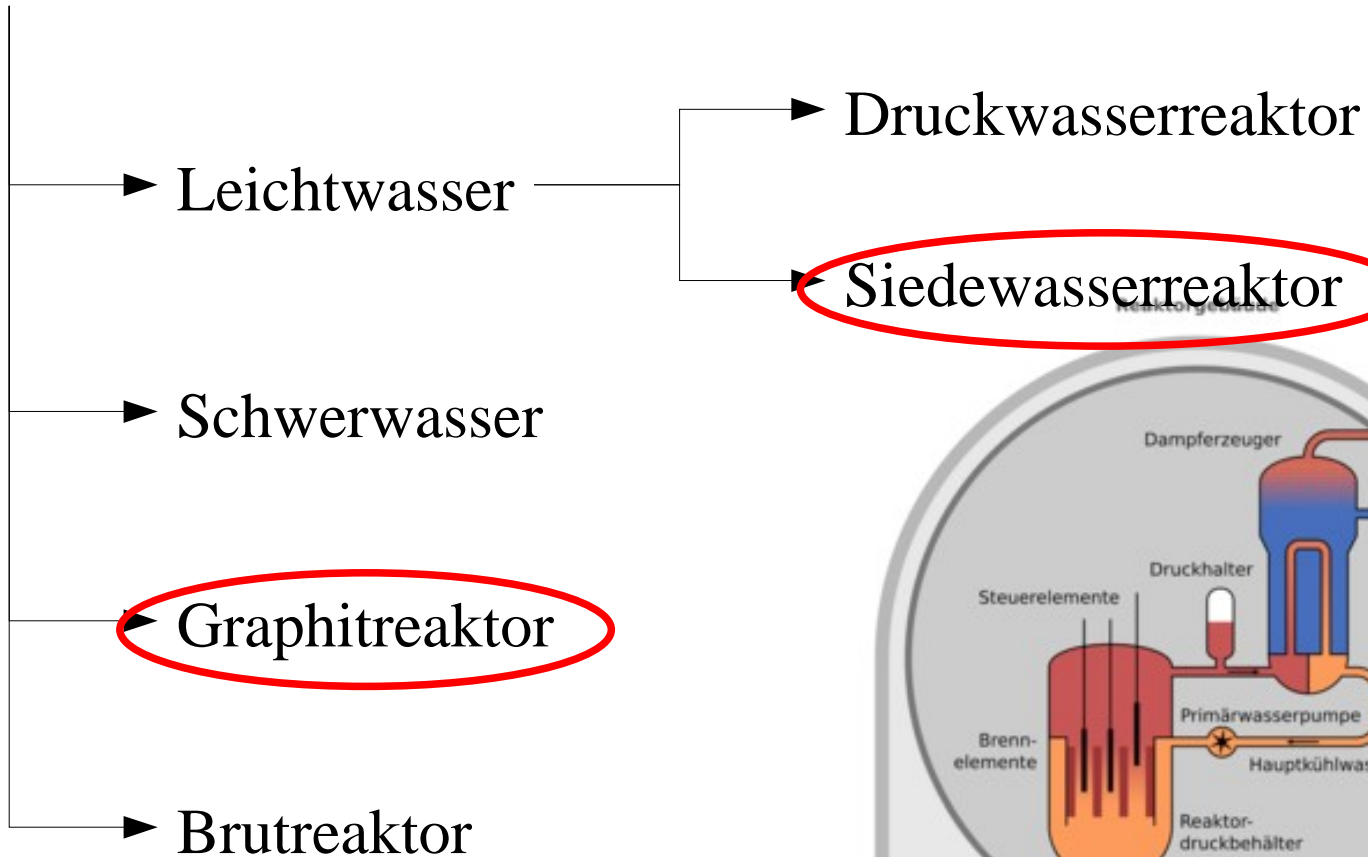
# Aufbau eines Kernkraftwerks



- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Brennelemente
- 3 Steuerstäbe
- 4 Umwälzpumpen
- 5 Steuerstabantriebe
- 6 Heißdampf
- 7 Speisewasser
- 8 Hochdruckturbine
- 9 Niederdruckturbine
- 10 Generator
- 11 Erregermaschine
- 12 Kondensator
- 13 Kühlwasser
- 14 Vorwärme
- 15 Speisewasserpumpe
- 16 Kühlwasserpumpe
- 17 Betonabschirmung
- 18 Leitung zum Stromnetz

# Aufbau eines Kernkraftwerks

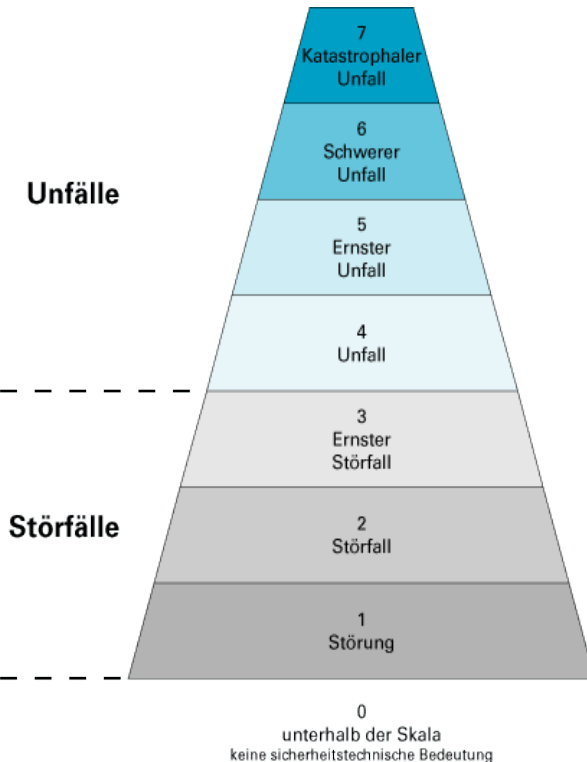
## Reaktortypen



# Animation

# Unfälle

40-49	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>USA (INES: 4)</li> </ul>			
50-59	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kanada (INES: 5)</li> <li>UDSSR (INES: 6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>GB: (INES: 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>USA (INES: 5-6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 3-4)</li> </ul>
60-69	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>UDSSR (INES: 4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>UDSSR (INES: 3-4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4)</li> <li>Schweiz (INES: 4-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USA (INES: 4-5)</li> </ul>
70-79	<ul style="list-style-type: none"> <li>GB (INES: 4)</li> <li>UDSSR (INES: 4-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UDSSR (INES: 4-5)</li> <li>UDSSR (INES: 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UDSSR (INES: 3-4)</li> <li>Tschechoslowakei (INES: 4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>USA (INES: 5)</b></li> </ul>
80-89	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frankreich (INES: 4)</li> <li>UDSSR (INES: 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argentinien (INES: 4)</li> <li>UDSSR (INES: 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>UDSSR (INES: 7)</b></li> <li>USA (INES: 2-4)</li> </ul>	
90-99	<ul style="list-style-type: none"> <li>Russland (INES: 2-4)</li> <li>Japan (INES: 4)</li> </ul>			
2000-09	<ul style="list-style-type: none"> <li>Belgien (INES: 4)</li> </ul>			
2010-...	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Japan (INES: 5 → 6 → 7)</b></li> </ul>			



Nach: [http://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Unf%C3%A4llen\\_in\\_kerntechnischen\\_Anlagen#1940\\_.E2.80.93\\_1949](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Unf%C3%A4llen_in_kerntechnischen_Anlagen#1940_.E2.80.93_1949) (Stand 12.05.2011).



## ■ Outline

- Kernkraftwerke
  - physikalische Prozesse
  - technische Aspekte
  - Störmeldungen

- Fukushima
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 11.03.2011
  - Auswirkungen

- Tschernobyl
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 26.04.1986
  - Folgen

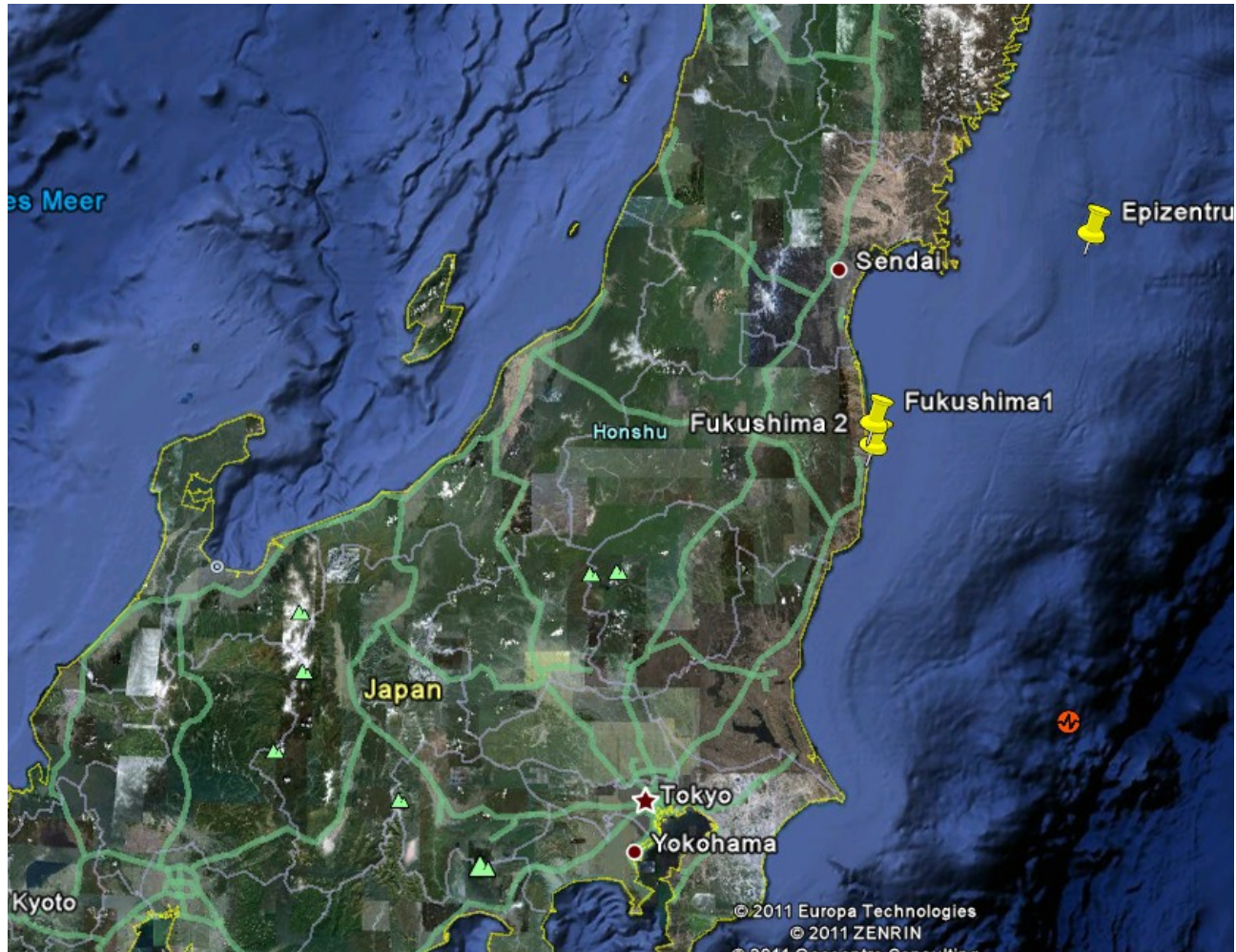
## ■ Outline

- Kernkraftwerke
  - physikalische Prozesse
  - technische Aspekte
  - Störmeldungen

- Fukushima
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 11.03.2011
  - Auswirkungen

- Tschernobyl
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 26.04.1986
  - Folgen

# Fukushima – geographische Lage



# AKW - Fukushima

## Fukushima

### Fukushima-Daiichi

(Fukushima 1)

Projektbeginn: 1966

Kommerzieller Betrieb: 1971

Reaktoren: 6 Siedewasserreaktoren

(in Planung: +2)

Leistung 4700MW (+2760MW)

### Fukushima-Daini

(Fukushima 2)

Projektbeginn: 1976

Kommerzieller Betrieb: 1982

Reaktoren: 4 Siedewasserreaktoren

Leistung 4400MW



## Fukushima 2



# Fukushima 2

11.03.11  
14:48

11.03.11  
15:40

12.03.11  
5:22/6:07

12.03.11  
12:15

14.03.11  
1:24 / 7:13

15.03.11

**Erdbeben**  
 (Magnitude 9,0)

**Tsunami**  
 (Wellenhöhe 6-7m)

Reaktorschnell-  
 abschaltung



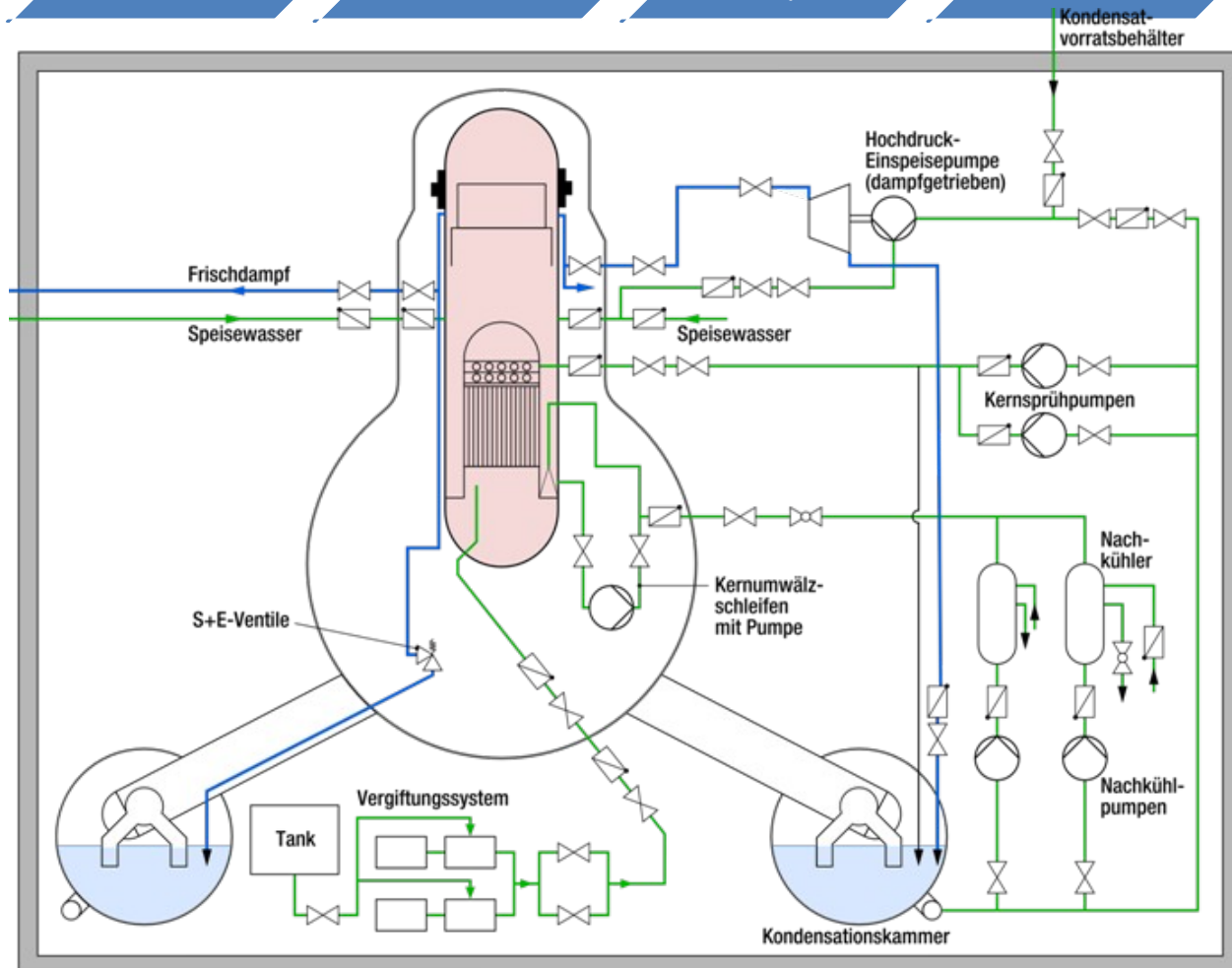
Frischdampf- &  
 Speisewasser-  
 ventile sind  
 geschlossen



Kühlung durch  
 Kondensations-  
 kammern



Ausfall der Kühlmittelpumpen



# Fukushima 2

11.03.11  
14:48

11.03.11  
15:40

12.03.11  
5:22/6:07

12.03.11  
12:15

14.03.11  
1:24 / 7:13

15.03.11

**Erdbeben**  
(Magnitude 9,0)

**Tsunami**  
(Wellenhöhe 6-7m)

Temperatur in  
der  
Kondensations-  
kammer >100°C  
Block 1,2 & 4

Block 3: <100°C

vollständige  
Notkühlung  
wiederhergestellt

Kraftwerk  
vollständig  
heruntergefahren

Reaktorschnell-  
abschaltung

↓  
Frischdampf- &  
Speisewasser-  
ventile sind  
geschlossen

↓  
**Störfall**

**durchgängige Stromversorgung**

↓  
Vorbereitung:  
gezieltes  
Ablassen von  
Luft-/Wasser-  
dampf

↓  
**INES-Stufe 3: „Ernster Störfall“**

↓  
Kühlung durch  
Kondensations-  
kammern

↓  
Ausfall der Kühlmittelpumpen

# AKW - Fukushima

## Fukushima



```
graph TD; Fukushima --> Fukushima-Daiichi["Fukushima-Daiichi (Fukushima 1)"]; Fukushima --> Fukushima-Daini["Fukushima-Daini (Fukushima 2)"];
```

### Fukushima-Daiichi

(Fukushima 1)

Projektbeginn: 1966

Kommerzieller Betrieb: 1971

Reaktoren: 6 Siedewasserreaktoren

(in Planung: +2)

Leistung 4700MW (+2760MW)

### Fukushima-Daini

(Fukushima 2)

Projektbeginn: 1976

Kommerzieller Betrieb: 1982

Reaktoren: 4 Siedewasserreaktoren

Leistung 4400MW



# AKW - Fukushima

## Fukushima



### Fukushima-Daiichi

(Fukushima 1)

Projektbeginn: 1966

Kommerzieller Betrieb: 1971

Reaktoren: 6 Siedewasserreaktoren

(in Planung: +2)

Leistung 4700MW (+2760MW)

### Fukushima-Daini

(Fukushima 2)

Projektbeginn: 1976

Kommerzieller Betrieb: 1982

Reaktoren: 4 Siedewasserreaktoren

Leistung 4400MW

# Fukushima 1

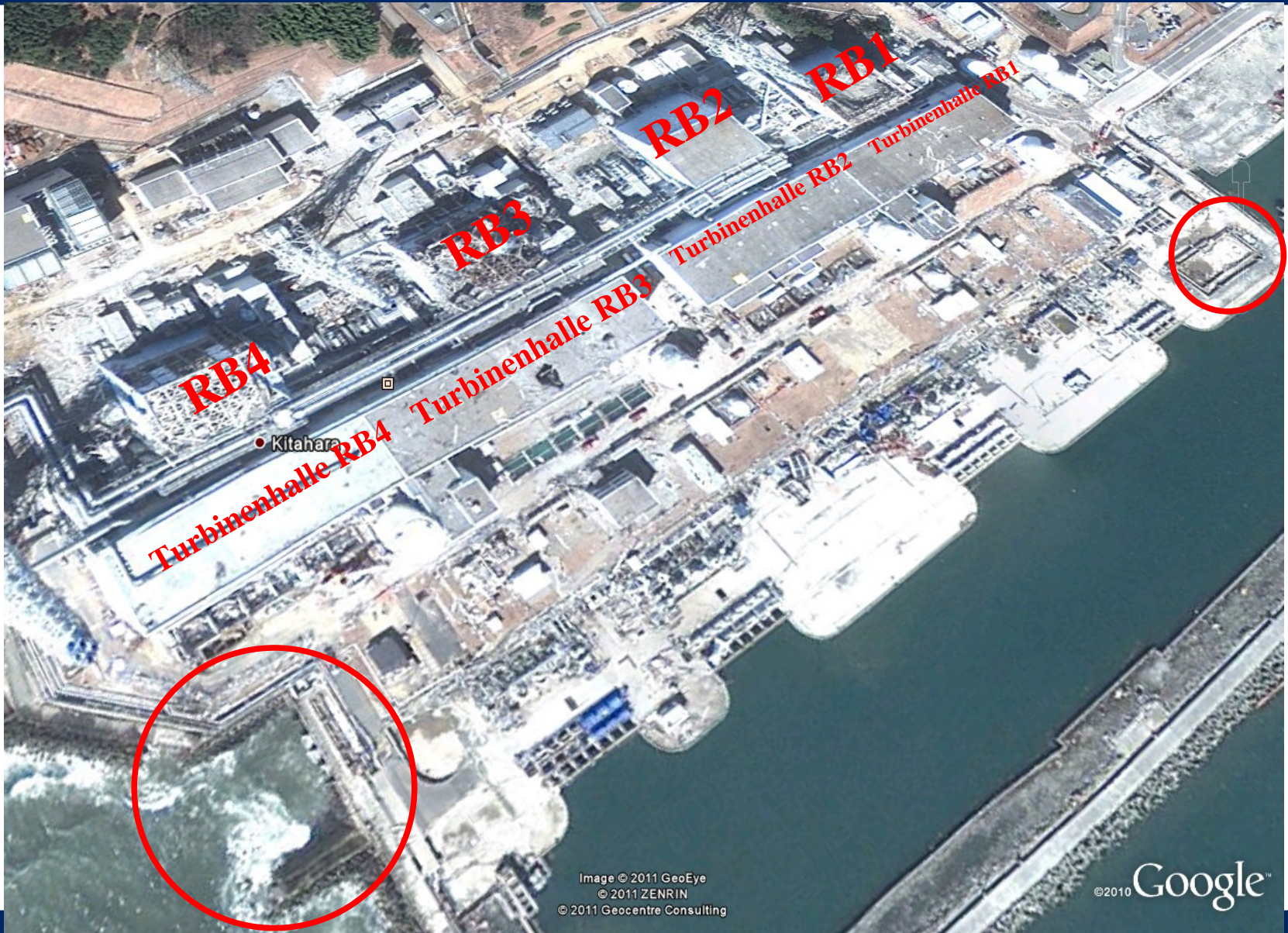


# Fukushima 1



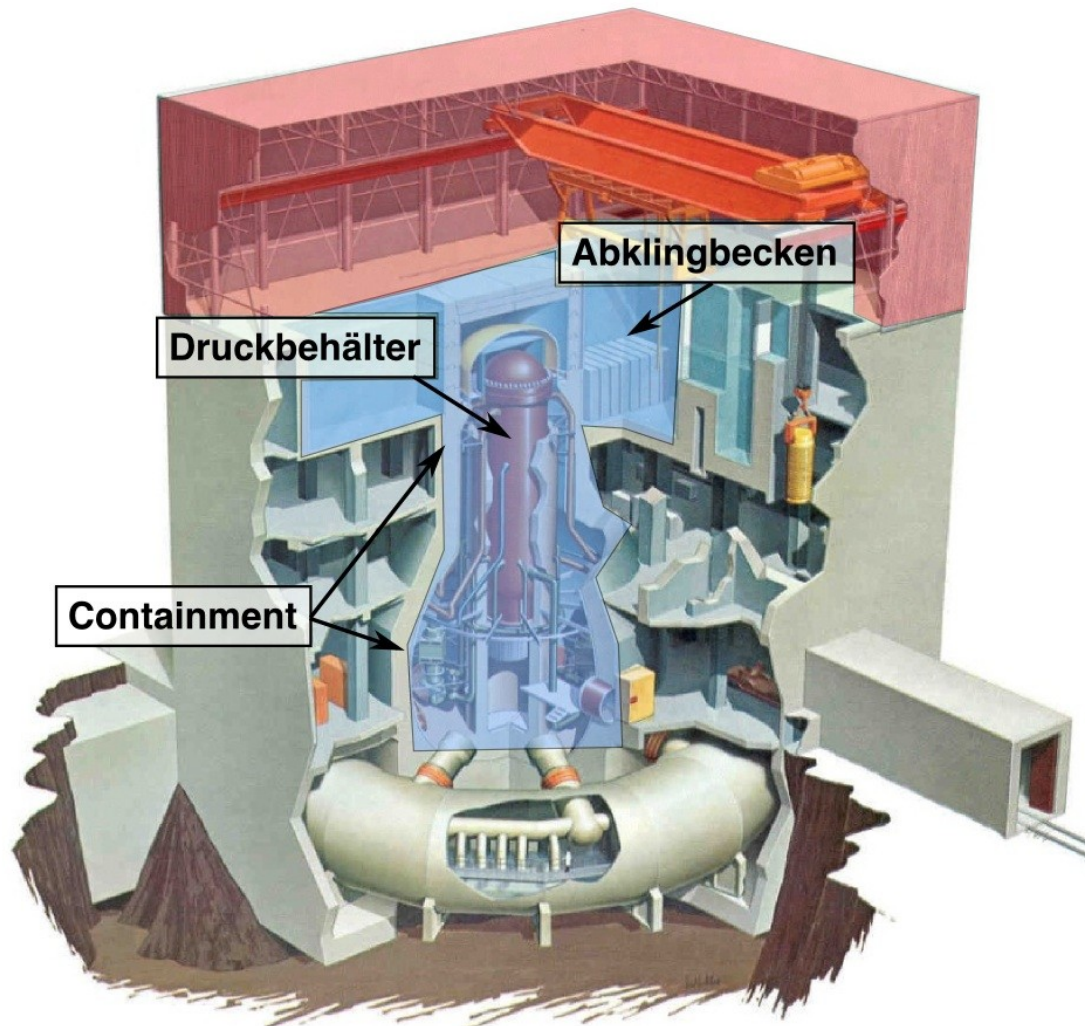


# Fukushima 1





# Aufbau Reaktoren Fukushima 1



■ 11.03.2011

11.03.

- **14:46** Beben
- **14:48** Reaktorschnellabschaltung (1-3)
  - Kühlung über Kondensationskammern
  - Ext. Stromversorgung fällt aus
  - Notstromgeneratoren starten
- **15:37** Tsunami (13-15m) überschwemmen Turbinengebäude und Notstromaggregate
- **15:41 Notstromaggregate fallen aus**
  - Notstrombatterie → Dampfgetriebene Pumpen
- **16:36** B1 kein Notkühlsystem,  
B2 Wasserstand?
- Ca. **21:30** mobile Stromgeneratoren

■ 12.03.2011

12.03.

- 00:00 Adapterkabel fehlen
- 3:00-4:00 Venting wird vorbeireitet (B1,2&3)
- 9:07 Druck wird aus RK1 in Sicherheitsbehälter abgelassen
- 9:30 Druckentlastung des Sicherheitsbehälters
- 14:00 Druckentlastung des SB funktioniert
- **15:36 Wasserstoffexplosion**
- 17:00 Notstrombatterie Block 3 erschöpft
- 20:20 Meerwasser in den Sicherheitsbehälter RB1 (Feuerlöschleitung)

■ 13.03.2011

13.03.

- 2:44/6:10 Notkühlsystem Block 3 ausgefallen
- 4:15 Abfall Wasserstand Reaktor 3
- 8:41 Brennstäbe Reaktor 3 ca. 3 Meter trocken
- 11:00 Druckentlastung Reaktor 3
- 9:08/11:55/13:12 Wassereinspritzung (Feuerlöschleitung)
- 14:00 Mobile Generatoren sind angeschlossen
- 15:38 man geht von Kernschmelze in Block 3 aus



14.03

- 4:08 Abklingbecken Block 4 erwärmt sich
- 5:20 Druckentlastung des Sicherheitsbehälters Block 3
- 11:01/11:45 **Wasserstoffexplosion Block 3** → Kühlung von Block 2 beschädigt
- 13:18 Kühlwasser sinkt in Block 2 → Brennelemente liegen trocken
- 20:30 Druckentlastung von Reaktor 2
- 20:33 Meerwasser in Reaktor 2

15.03

- 6:00 Explosion im Reaktorgebäude 4 (Abklingbecken)
- 6:15 Explosion in RB 2 → Kondensationskammer defekt, Sicherheitsbehälter defekt
- 6:10 Abzug aller Mitarbeiter (zu hohe Strahlendosis)
- 8:34 Brand in Reaktorgebäude 4 (Abklingbecken)
- 11:00 Feuer ist aus
- Ca. 23 Uhr Strahlung steigt an, Hüllenteile von Reaktorgebäude 4 fehlen

16.03

- 00:26 Hubschraubereinsatz wird geplant
- Brennstäbe in Reaktor 2 defekt

17.03

- Abklingbecken 4 ohne Kühlwasser
- 11:02 Hubschrauber über Reaktor 3
- 11:02 Wasserwerfer spritzen Wasser in Reaktor 4

18.03

- Ext. Stromkabel an RB2
- Tokioter Feuerwehr spritzt Wasser auf Reaktor 3

19.03

- Feuerwehr kühlt Reaktor 3

20.03

- Abklingbecken RB2 mit Meerwasser
- Notstrompumpen RB2 laufen wieder
- RB5 „Cold shutdown“
- RB6 „Cold shutdown“
- RB2, RB5 und RB6 am Stromnetz

21.03

- Feuerwehr kühlt RB3 und RB4

## ■ Aktueller Stand

Zustand	RB1	RB2	RB3	RB4
Kern	Part./vollst. KS	Part. KS	Part. KS	Keine BE
Reaktordruckbehälter	intakt	intakt	intakt	intakt
Sicherheitsbehälter	vermt. intakt Meerwasser	defekt Wasserverlust	vermt. intakt	vermt. intakt
Gebäude	schwere Schäden	leichte Schäden	schwere Schäden	schwere Schäden
Brennelemente im Lagerbecken	Wasserbedeckt	Meerwasserbedeckt	zeitw. frei, Meerwasserbedeckt	part. KS
Strom	ext	ext	ext	ext

<http://fukushima.grs.de>

## Verlauf

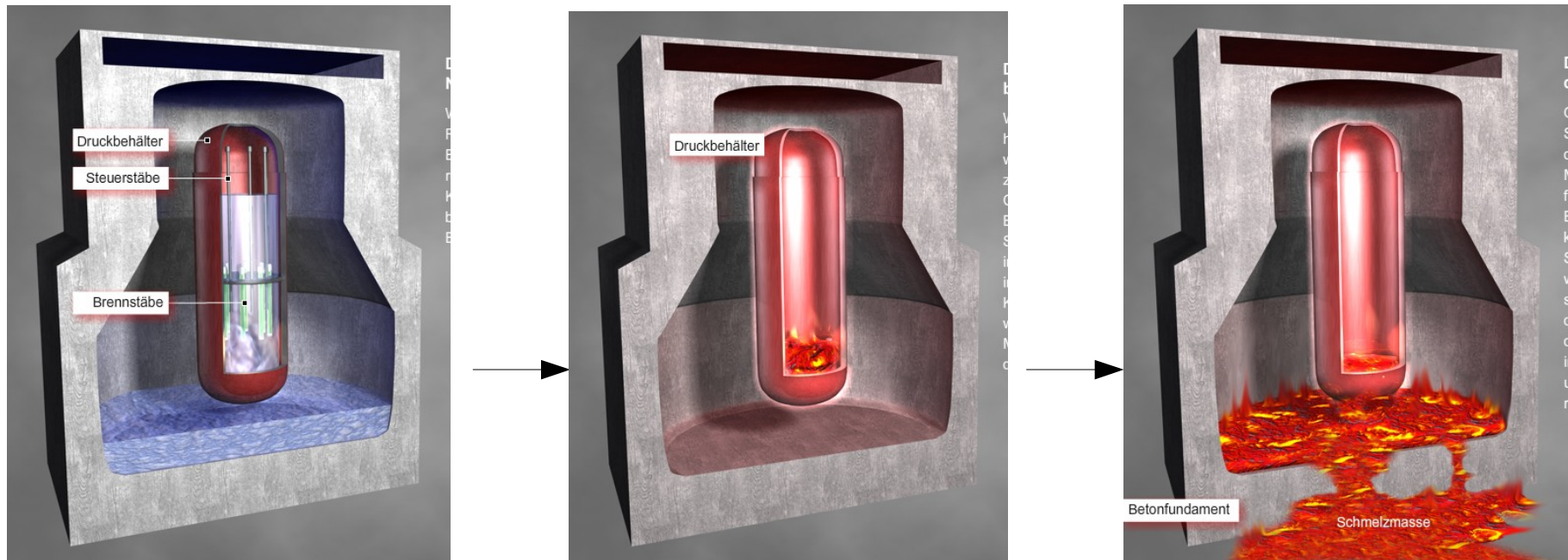
<http://fukushima.grs.de/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik\\_der\\_Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik_der_Nuklearkatastrophe_von_Fukushima)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand\\_w%C3%A4hrend\\_der\\_Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand_w%C3%A4hrend_der_Nuklearkatastrophe_von_Fukushima)

<http://www.physikblog.eu/2011/03/21/eine-zusammenfassung-der-probleme-bei-fukushima-i/>

17.05.2011: RB1 beim Erdbeben beschädigt → Kernschmelze 5h später



## Verlauf

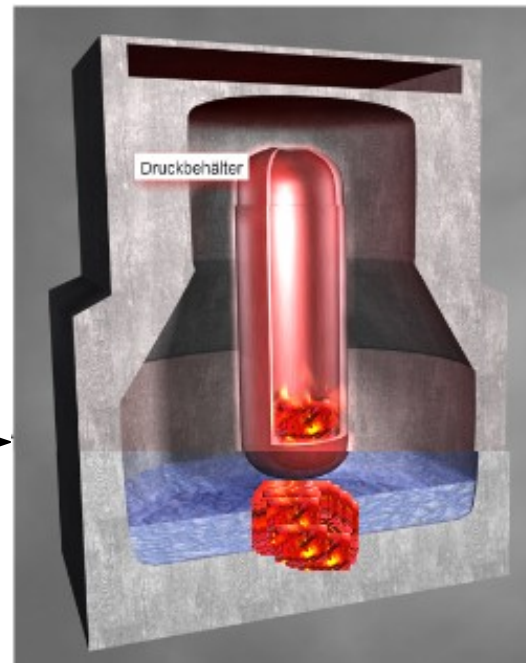
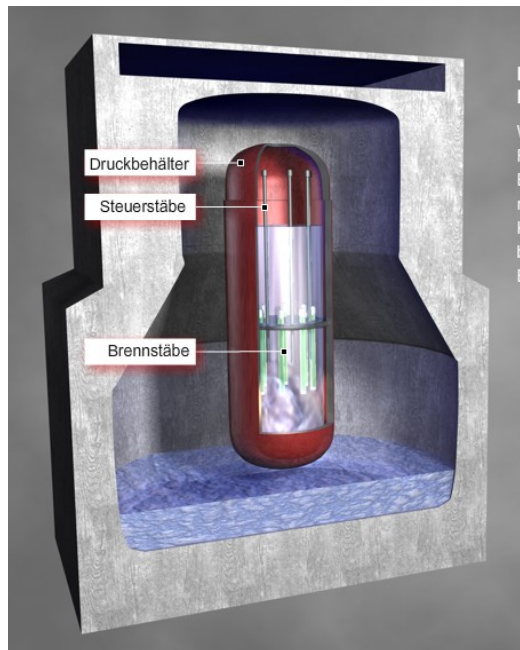
<http://fukushima.grs.de/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik\\_der\\_Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik_der_Nuklearkatastrophe_von_Fukushima)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand\\_w%C3%A4hrend\\_der\\_Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand_w%C3%A4hrend_der_Nuklearkatastrophe_von_Fukushima)

<http://www.physikblog.eu/2011/03/21/eine-zusammenfassung-der-probleme-bei-fukushima-i/>

17.05.2011: RB1 beim Erdbeben beschädigt → Kernschmelze 5h später



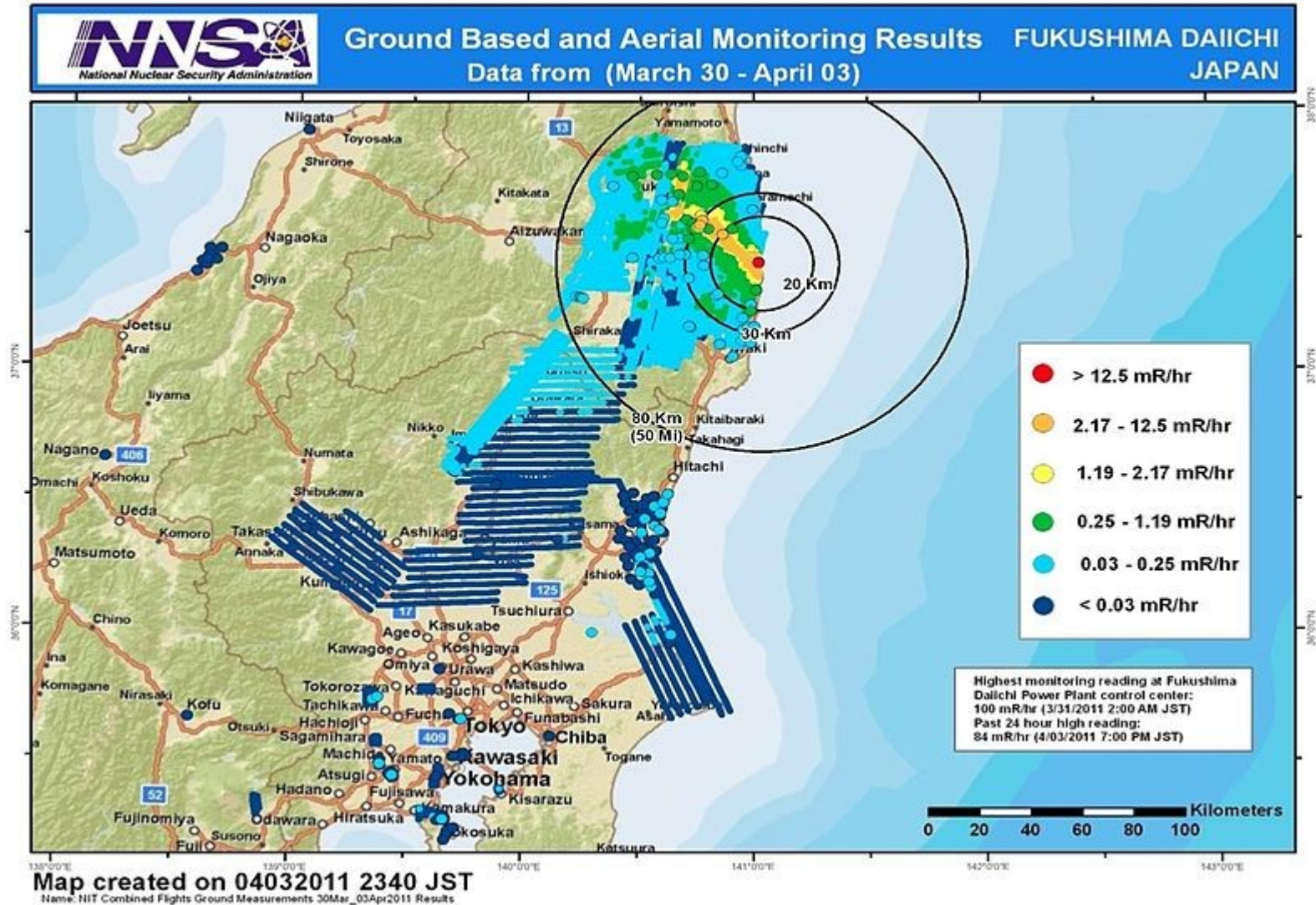


# Maßnahmen



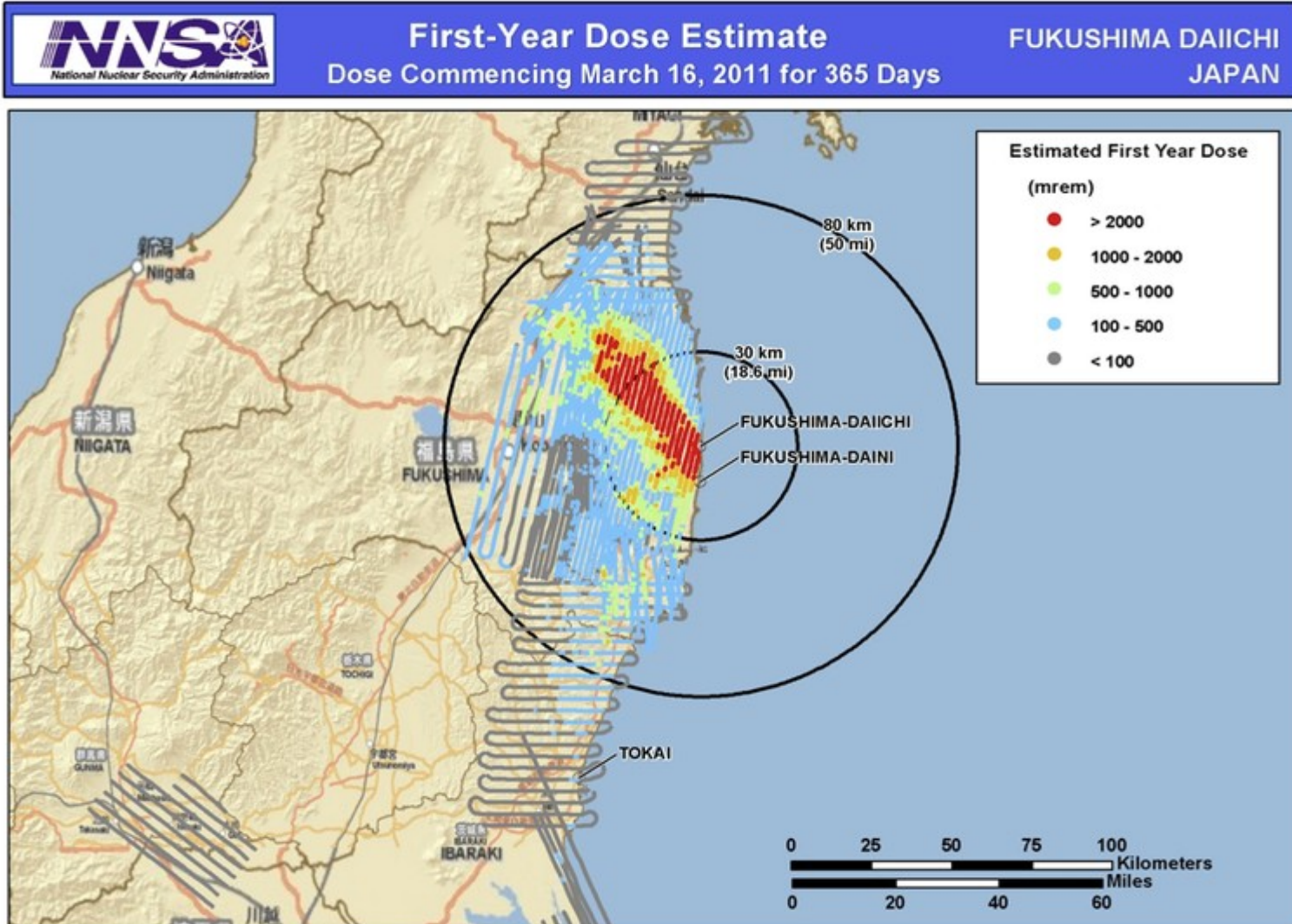


# Auswirkungen





# Auswirkungen



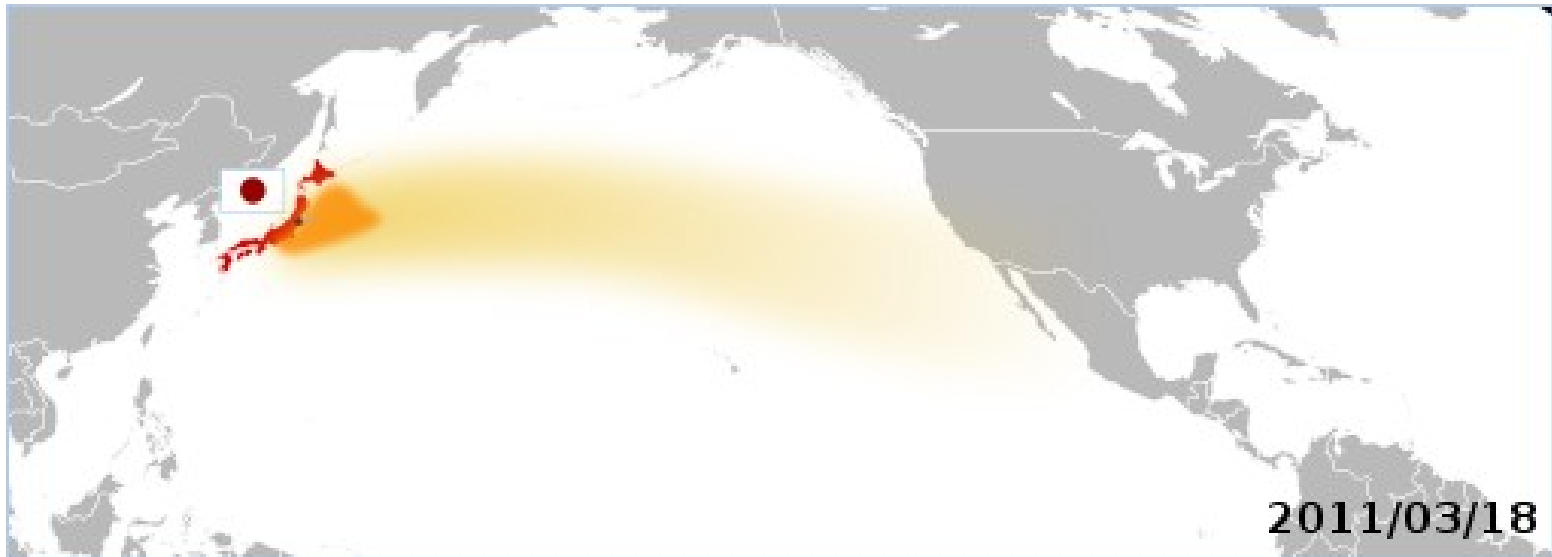
Map created on 04092011 1300 JST  
 Name: CMHT A 1stYrDoseEst 08Apr2011

UNCLASSIFIED

Nuclear Incident Team DOE NIT  
 Contact (202) 586 - 8100



## ■ Auswirkungen



[http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsbelastung\\_durch\\_die\\_Nuklearunf%C3%A4lle\\_von\\_Fukushima#Kontamination\\_der\\_Umgebung](http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsbelastung_durch_die_Nuklearunf%C3%A4lle_von_Fukushima#Kontamination_der_Umgebung)

## ■ Outline

- Kernkraftwerke
  - physikalische Prozesse
  - technische Aspekte
  - Störmeldungen

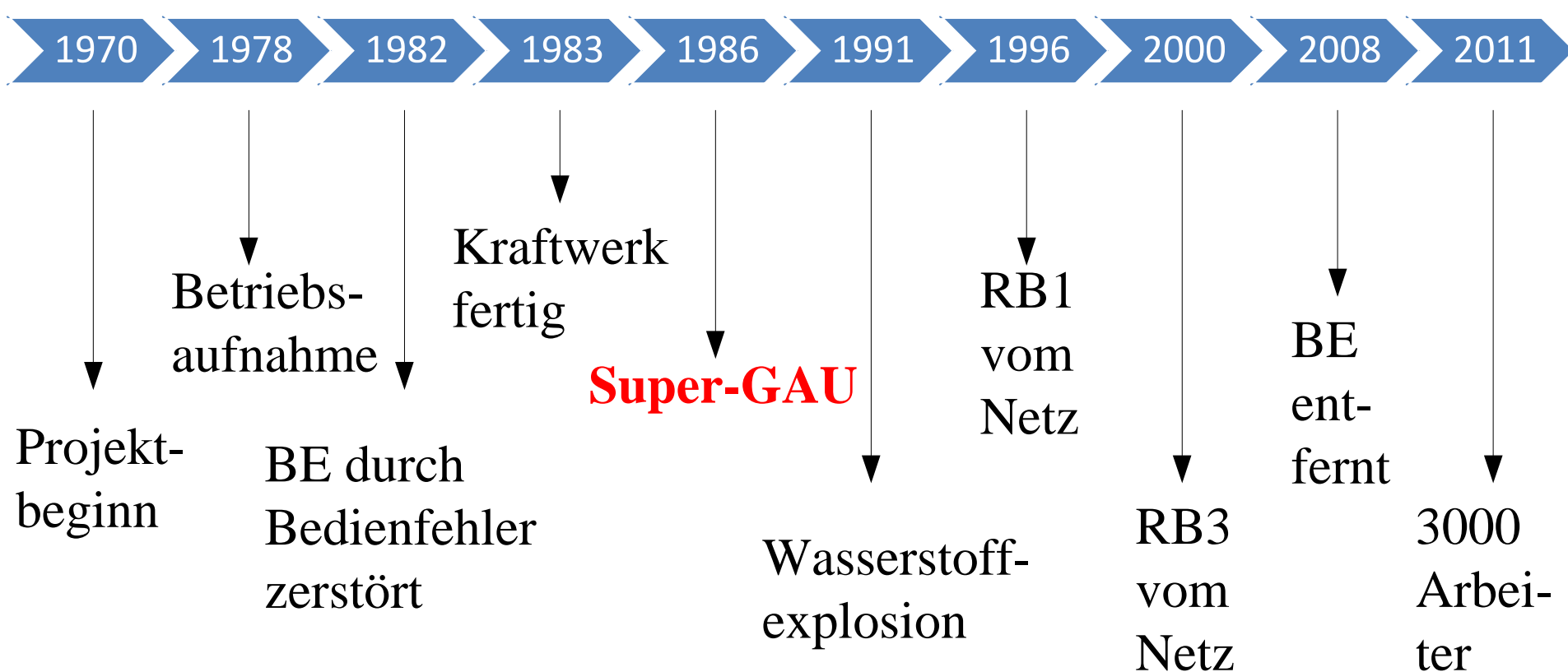
- Fukushima
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 11.03.2011
  - Auswirkungen

- Tschernobyl
  - Geographische Lage
  - Unfall vom 26.04.1986
  - Folgen

# Tschernobyl – geographische Lage

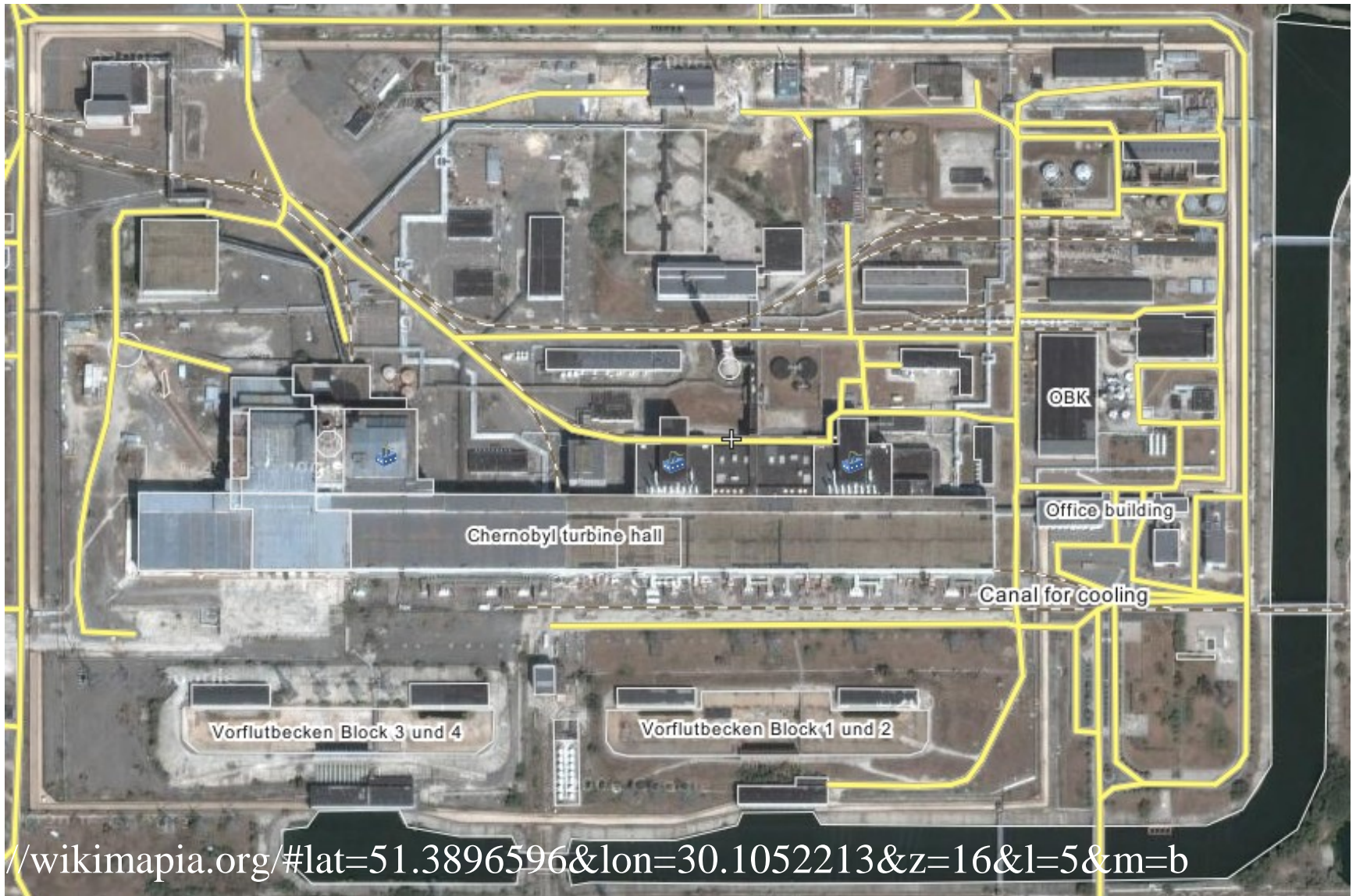


# Tschernobyl - Chronik





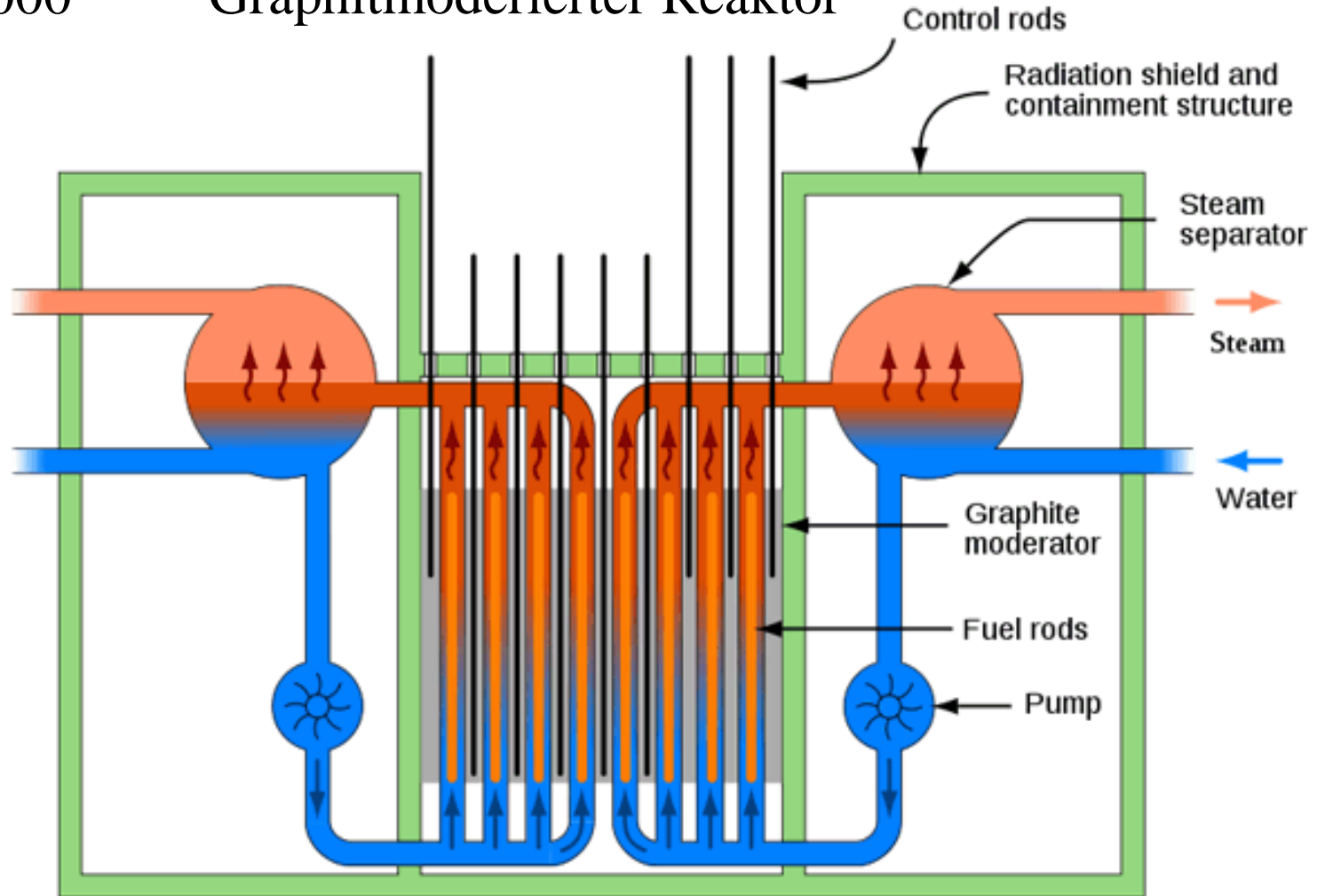
# Tschernobyl Luftaufnahme



[//wikimapia.org/#lat=51.3896596&lon=30.1052213&z=16&l=5&m=b](https://wikimapia.org/#lat=51.3896596&lon=30.1052213&z=16&l=5&m=b)

## Tschernobyl – Reaktortyp, etc

RBMK-1000 → Graphitmoderierter Reaktor





## ■ Unfallhergang

„Station Blackout“ sollte simuliert werden

Notkühlsystem  
wurde  
abgeschaltet

↓  
Leistung gedrosselt

↓  
Leistung wird niedrig gehalten

↓  
Neutronengift Xe-135

↓  
Versuch: Anheben  
der Leistung

1:23:04 Turbinen-  
Schnellschluss-  
ventile

↑  
weniger Dampf →  
niedrige Leistung

↑  
zusätzliche Kühlung

## ■ Unfallhergang

1:23:04 Turbinen-  
schnellschluss-  
ventile



steigende Reaktivität  
1:23:44 prompte  
Neutronen

Anstieg der Temperatur  
→ Dampfblasen

Neutronengift  
abgebaut

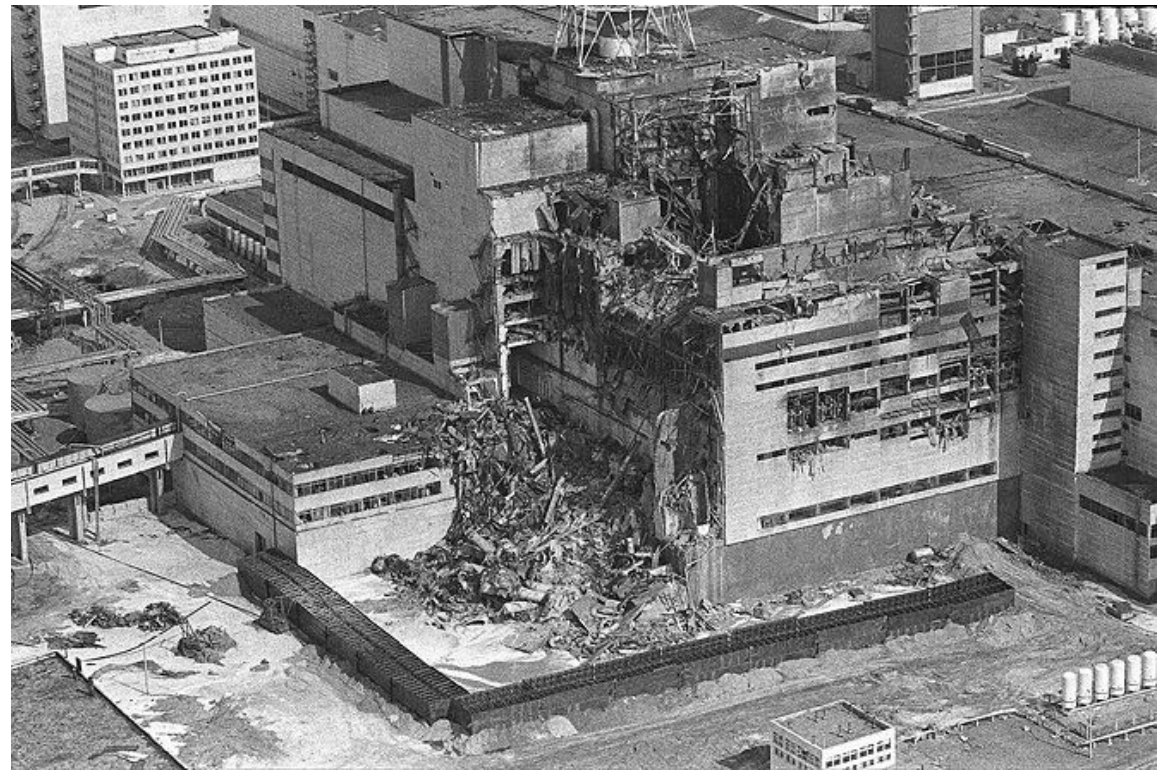
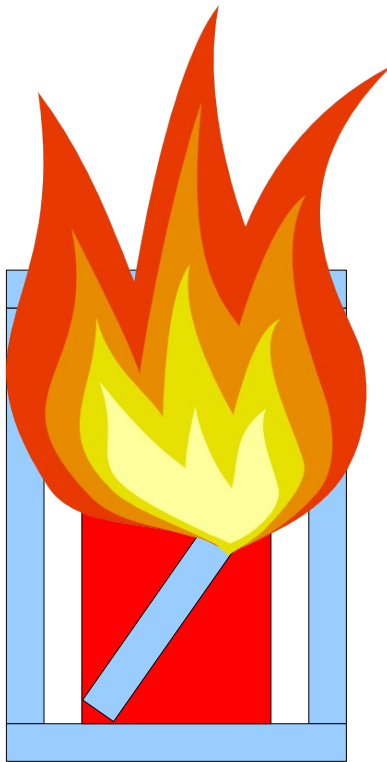
hohe Reaktivität

Einfahren der  
Steuerstäbe

1:23:40  
manuelle Notab-  
schaltung

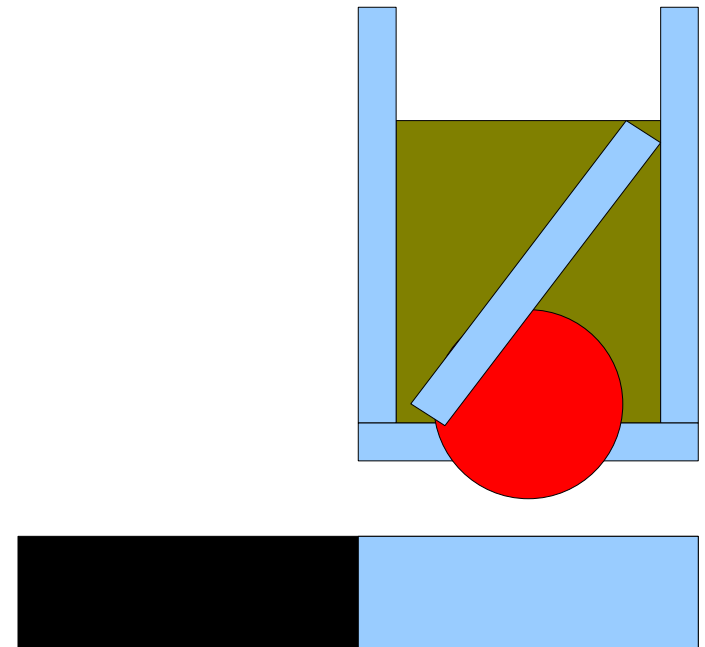


# ■ Unfallhergang

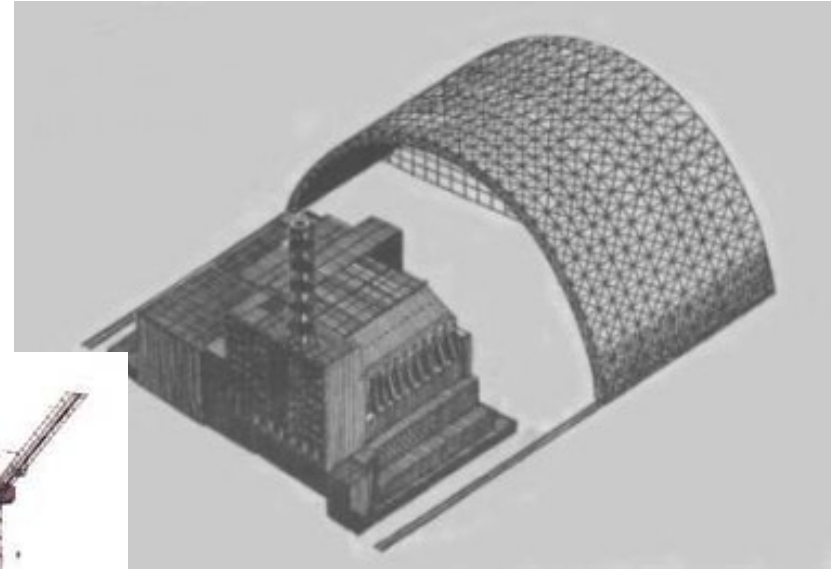
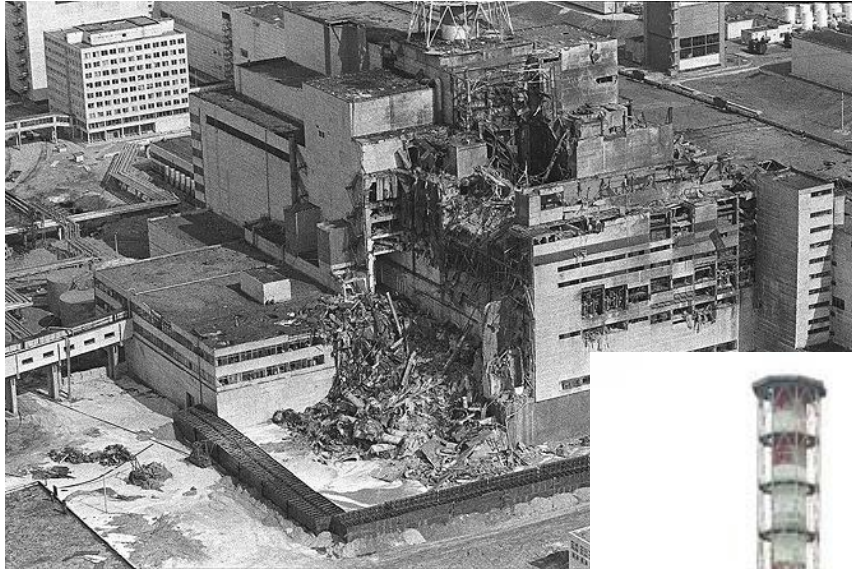


## ■ Maßnahmen

- Reaktor wird mit Hubschraubern „gelöscht“
- Liquidatoren säubern das Dach
- Stickstoff wird zum Löschen eingesetzt

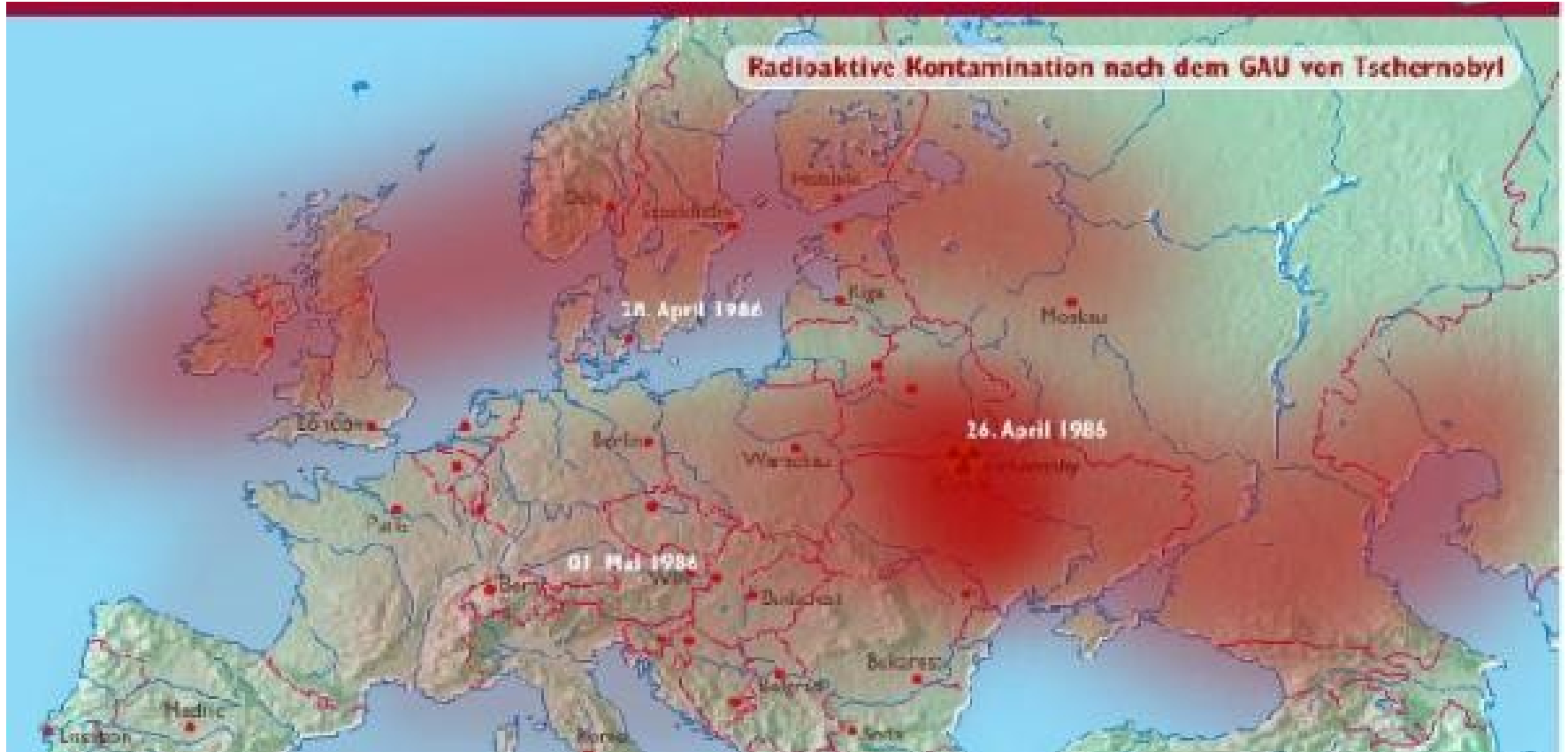


# Maßnahmen





# Folgen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## ■ Quellen & Literatur

<http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernoten/facts.html>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Unf%C3%A4llen\\_in\\_kerntechni](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Unf%C3%A4llen_in_kerntechni)

<http://fukushima.grs.de/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik\\_der\\_Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fuku](http://de.wikipedia.org/wiki/Chronik_der_Nuklearkatastrophe_von_Fuku)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand\\_w%C3%A4hrend\\_der\\_Nukl](http://de.wikipedia.org/wiki/Systemzustand_w%C3%A4hrend_der_Nukl)

<http://www.physikblog.eu/2011/03/21/eine-zusammenfassung-der-probl>

<http://wikimapia.org/>

[http://www.planet-wissen.de/natur\\_technik/atomkraft/tschernobyl/index.](http://www.planet-wissen.de/natur_technik/atomkraft/tschernobyl/index.)

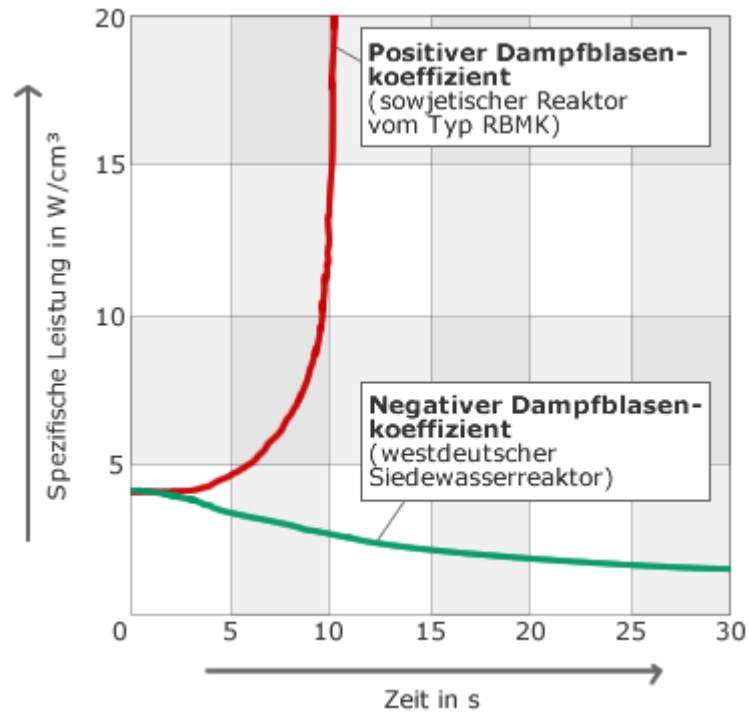
<http://fukushima.grs.de/>

<http://www.tschernobylkongress.de/presse/artikel/6cfa2cdb94ad56232cc>

<http://www.spiegel.de/thema/tschernobyl/>

Informationskreis KernEnergie (Hrsg.): Der Reaktorunfall in Tschernobyl  
4. Auflage, Hermann Schlesener KG, Berlin 2007, ISBN 3-926956-48-8







Lagerort ▲	Brennelemente im Reaktorkern ☒	Brennelemente im Abklingbecken ☒	unbenutzte Brennelemente ☒	Volumen des Abklingbeckens ☒
Block 1	400	292	100	1.020 m <sup>3</sup>
Block 2	548	587	28	1.425 m <sup>3</sup>
Block 3	548	514	52	1.425 m <sup>3</sup>
Block 4	0	1.331	204	1.425 m <sup>3</sup>
Block 5	548	946	48	1.425 m <sup>3</sup>
Block 6	764	876	64	1.497 m <sup>3</sup>
separates Becken		6.375		<sup>[23]</sup> 3.828 m <sup>3</sup>
<b>Summe</b>	<b>2.808</b>	<b>10.921</b>	<b>496</b>	<b>12.045 m<sup>3</sup></b>