

Dies Academicus, Sommersemester 2011  
Universität Bonn

# Radioaktivität, Atomkraftwerke und ... Fukushima

Herbi Dreiner

Physikalisches Institut  
Universität Bonn

# Fukushima 2004



Image © 2004 United States

©2004 Google

# Fukushima 2011 nach dem Tsunami



Image © 2011 DigitalGlobe

©2010 Google

# Fukushima 2011 nach den Explosionen



# Übersicht

- **Radioaktivität**

Physik – Grundlagen

- **Atomkraftwerke / Kernkraftwerke**

Wärmekraftmaschine – Kühlkreislauf

- **Harrisburg, Tschernobyl und Fukushima**

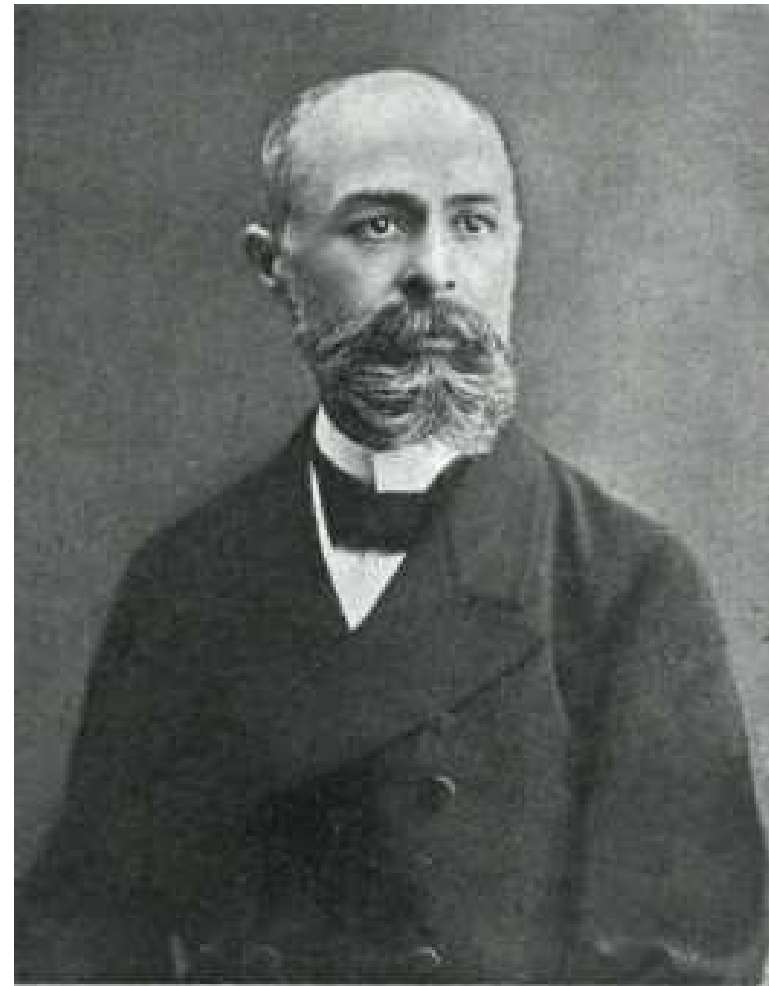
Kühlkreislauf

# Entdeckung der Radioaktivität

- 8. November, 1895 Röntgenstrahlung, Wilhelm Röntgen
- 1. März, 1896 Radioaktivität, Henri Becquerel



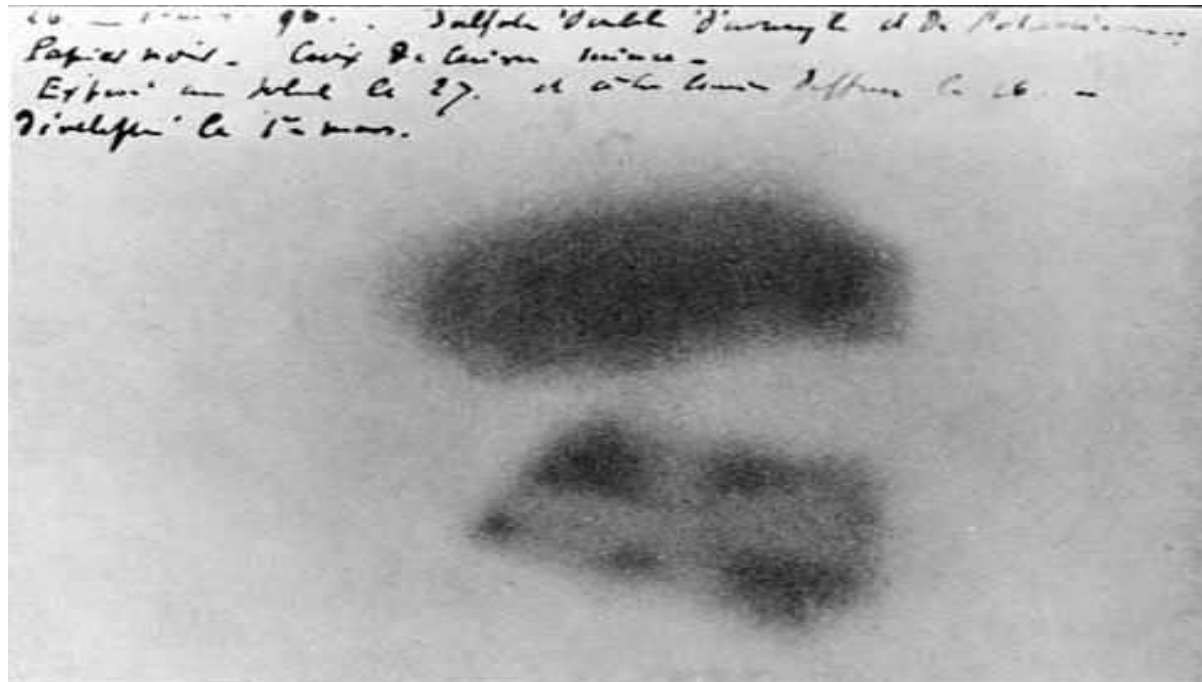
Wilhelm Röntgen (1845 - 1923)



Henri Becquerel (1852 - 1908)

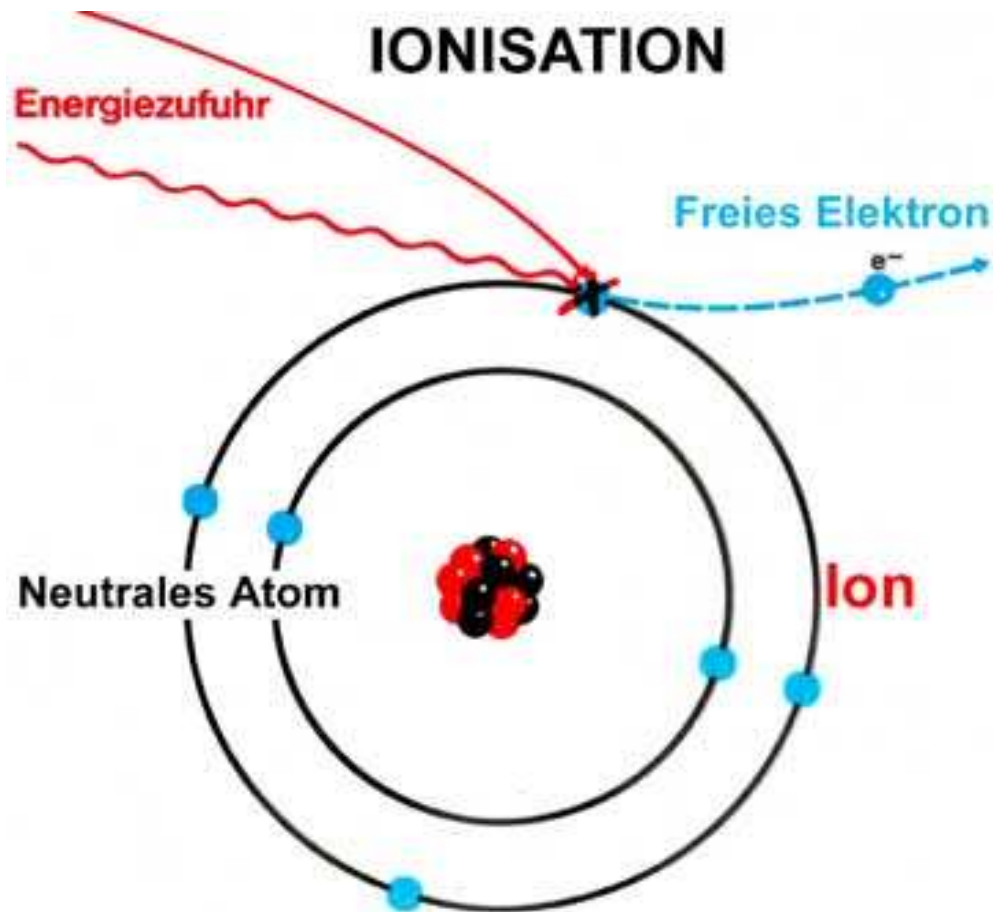
# Späte Entdeckung der Strahlung

- Radiaktivität ist natürlich ... kommt (von alleine) in der Natur vor
- Wir haben kein direktes Sinnesorgan für hochenergetische Teilchen
- **Röntgenstrahlung:** Fluoreszierende Scheibe bei einer Elektronröhre
- **Radioaktivität:** Fluoreszenz von Uransalzen untersucht. Fand zufällig Schwärzung...ohne Fluoreszenz.



# Nachweis der Radioaktivität

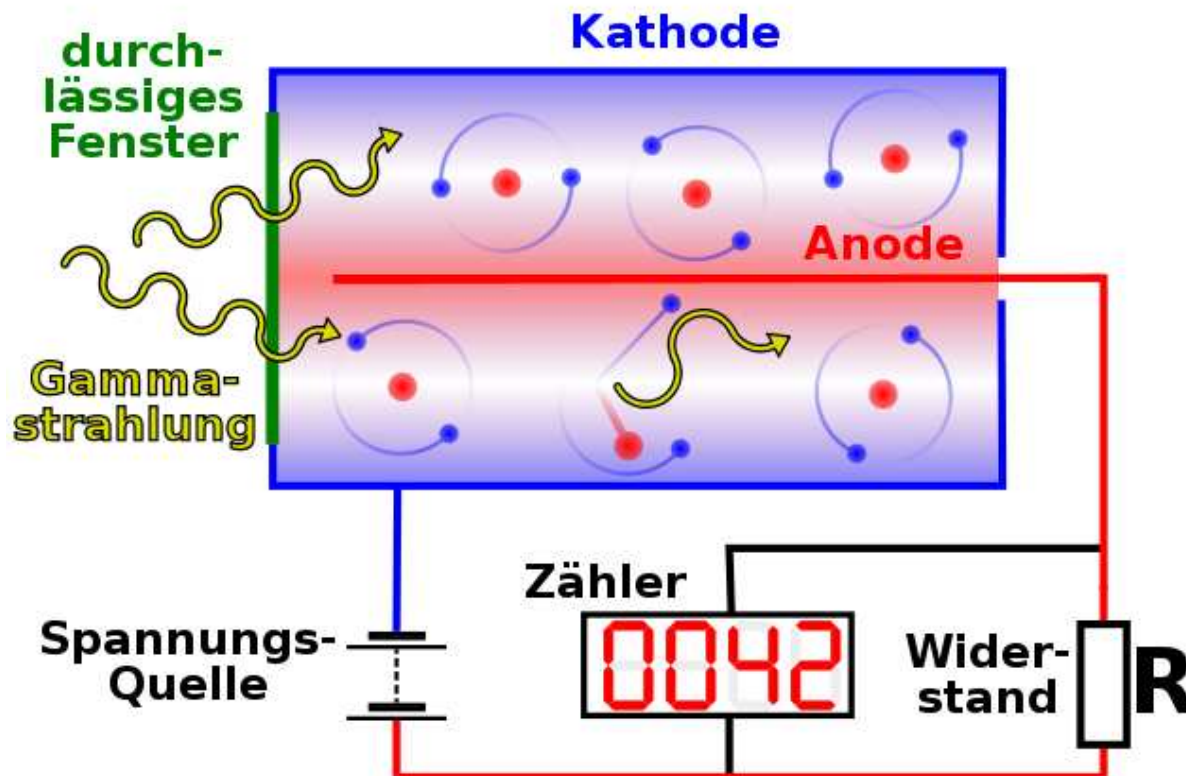
- Radioaktive Strahlung sind hoch energetische Teilchen
- Diese ionisieren Atome, diese Ionisation können wir nachweisen





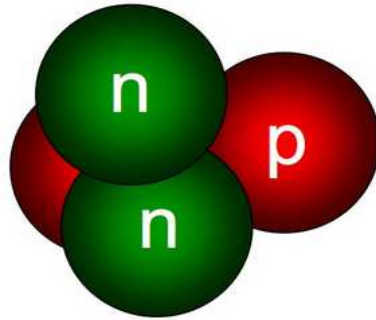
# Nachweis der Radioaktivität: Geiger Zähler

- Durch die Ionisation wird zB die Luft leitend  $\implies$  Blitzüberschlag
- Geiger Zähler (Geiger–Müller Zählrohr)



# Alpha, Beta, & Gamma Strahlung

- $\alpha$ -Strahlung: Helium-Kerne, 2 Protonen und zwei Neutronen

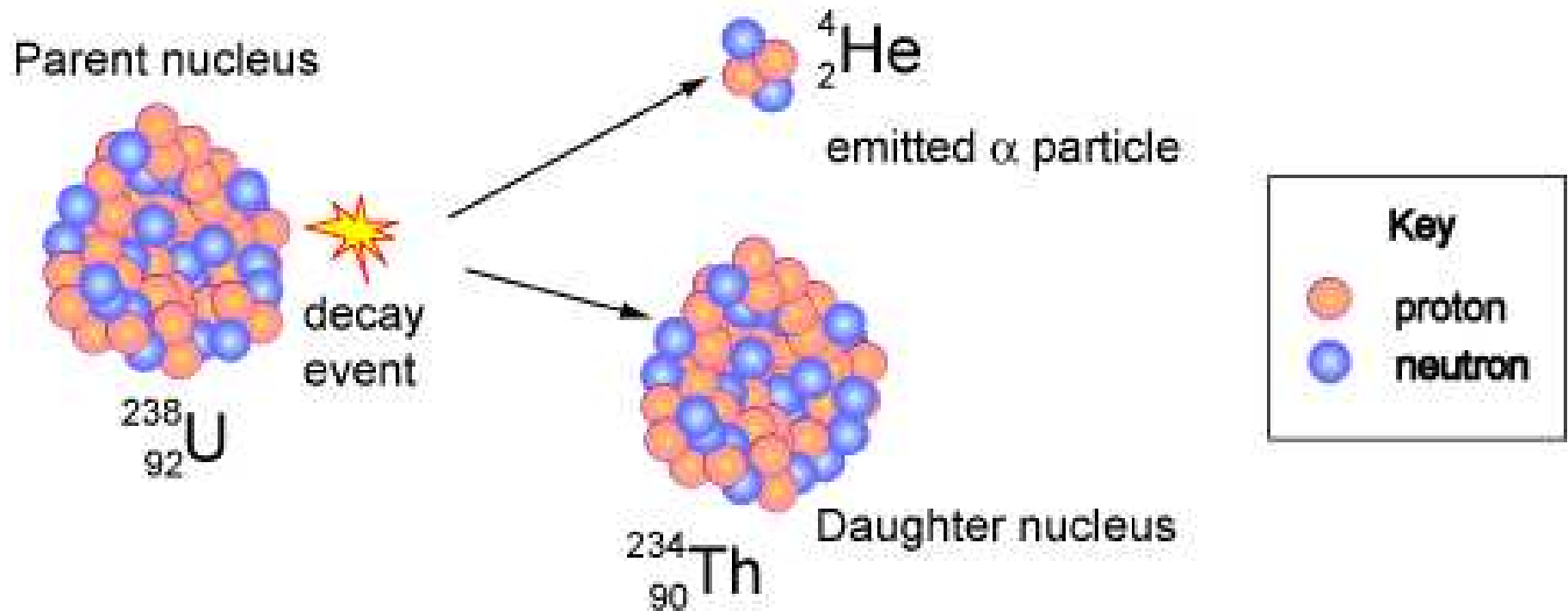


- $\beta$ -Strahlung: schnelle Elektronen
- $\gamma$ -Strahlung: hoch-energetische Photonen (Lichtteilchen)
- Es gibt aber auch noch andere Strahlung:
  - Neutronen (n)
  - Protonen (p)
  - Myonen ( $\mu$ )

# Radioaktiver Alpha Zerfall

- Ein schwerer Kern gibt **spontan** 2 Protonen und 2 Neutronen ab

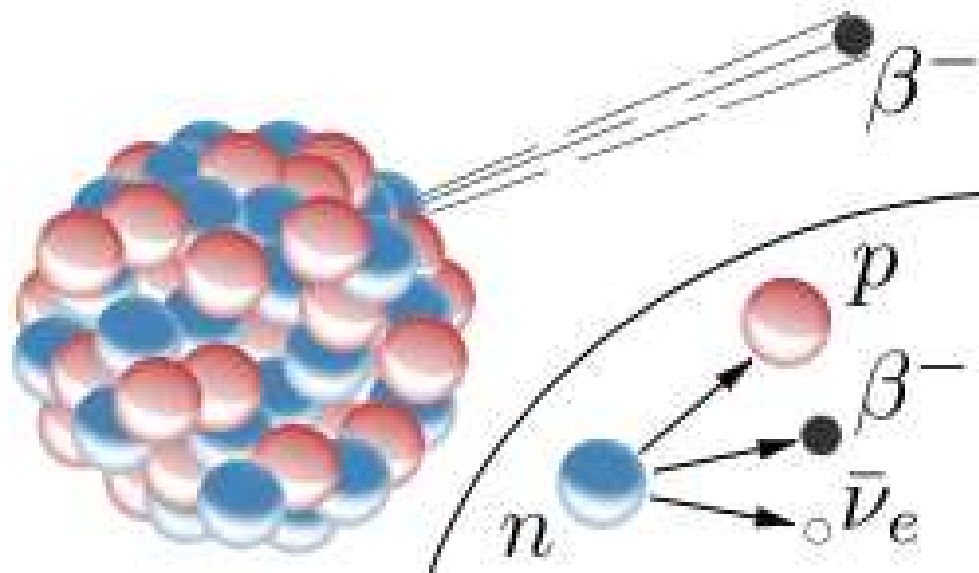
## Alpha Decay of a Uranium-238 nucleus



- Alpha Teilchen hat Bewegungsenergie  $\longrightarrow$  Wärme

# Radioaktiver Beta Zerfall

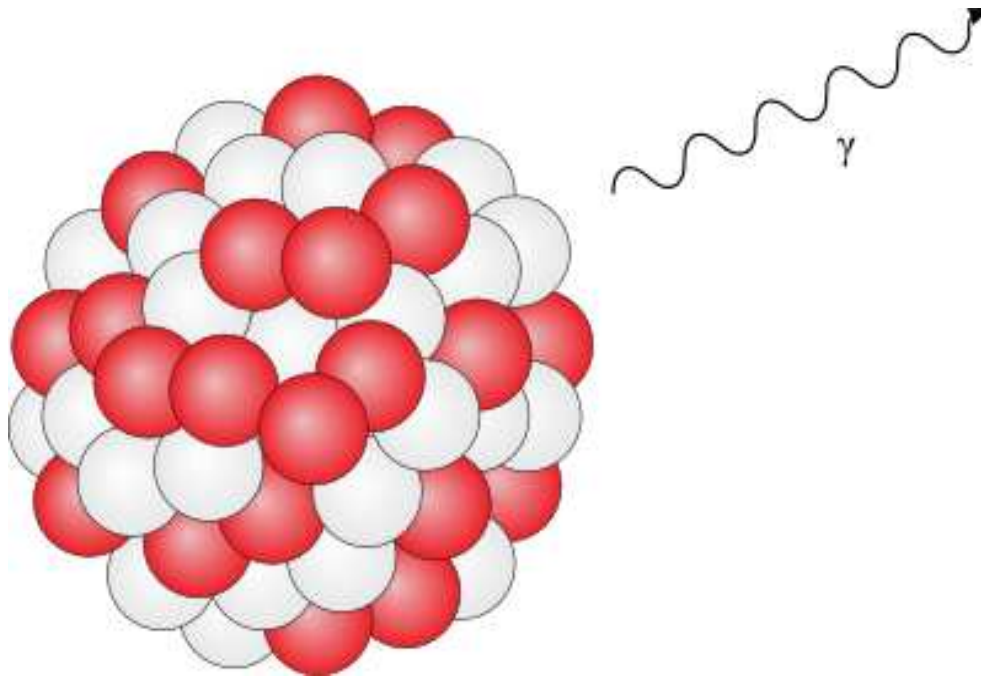
- Neutron (im Kern) wandelt sich spontan in ein Proton, ein Elektron und ein Anti-Neutrino um
- Das neue Proton bleibt im Kern, und es gibt ein **neues Atom**



- Spaltprodukte: Cäsium-137, und Jod-131 sind Beta-Strahler

# Radioaktiver Gamma Zerfall

- Kerne können innere Anregungen haben
- Beim Übergang zum Grundzustand wird ein hochenergetisches Photon abgestrahlt



- Zahl der Protonen und Neutronen bleibt gleich

# Isotope

- Atomkerne bestehen aus Neutronen und Protonen
- Protonen geben die elektrische Ladung
- elek. Ladung des Kerns = (Zahl der Protonen)  $\times$   $Q_{\text{proton}}$
- (Zahl der Elektronen) = (Zahl der Protonen)
- Isotope: Zahl der Protonen gleich

Zahl der Neutronen unterschiedlich

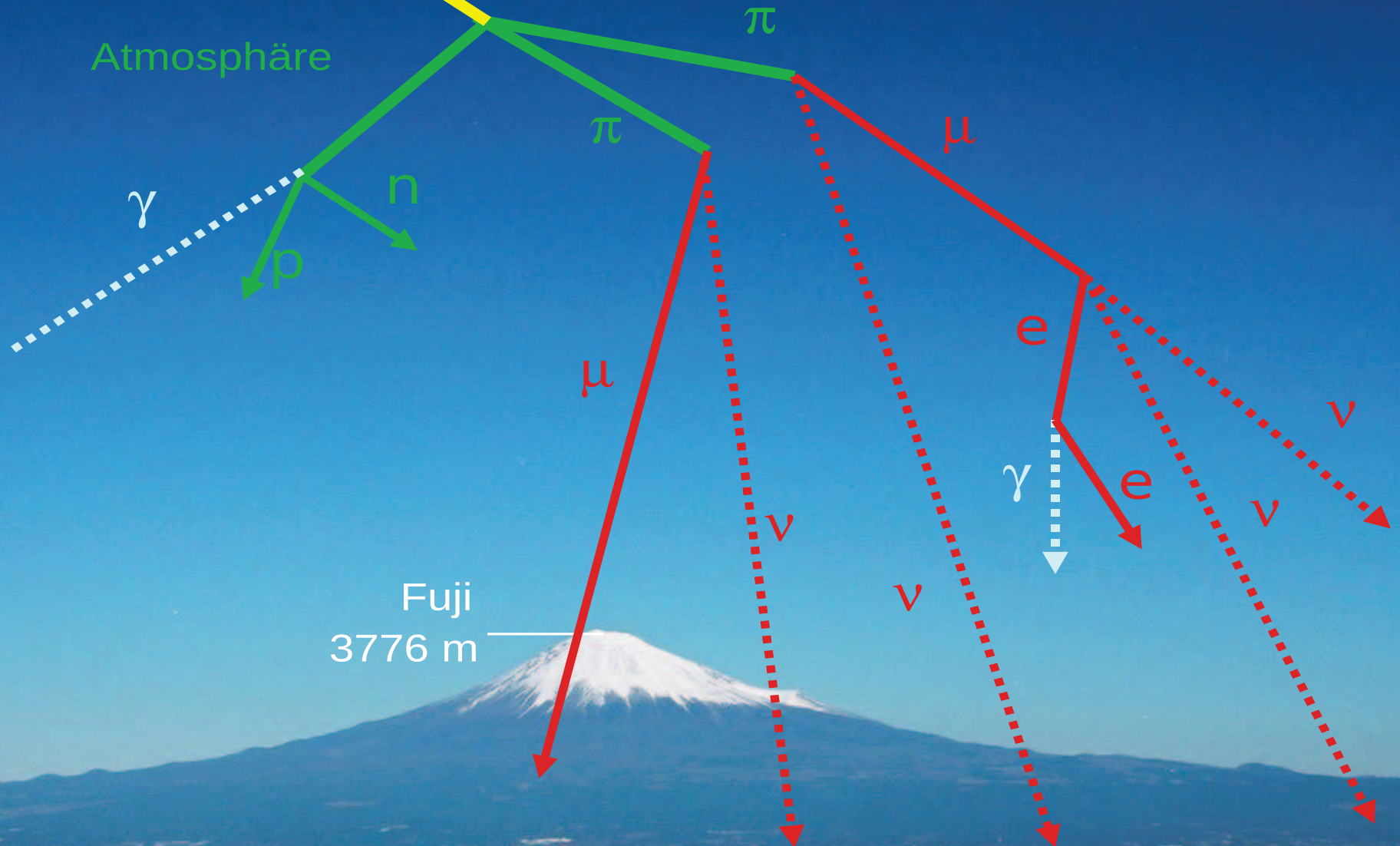
- Uran-238:  $N_p = 92$ ,  $N_n = 146$ ,      Uran-235:  $N_p = 92$ ,  $N_n = 143$

# Kosmische Strahlung, 1909 Entdeckt

$p, He, \dots$

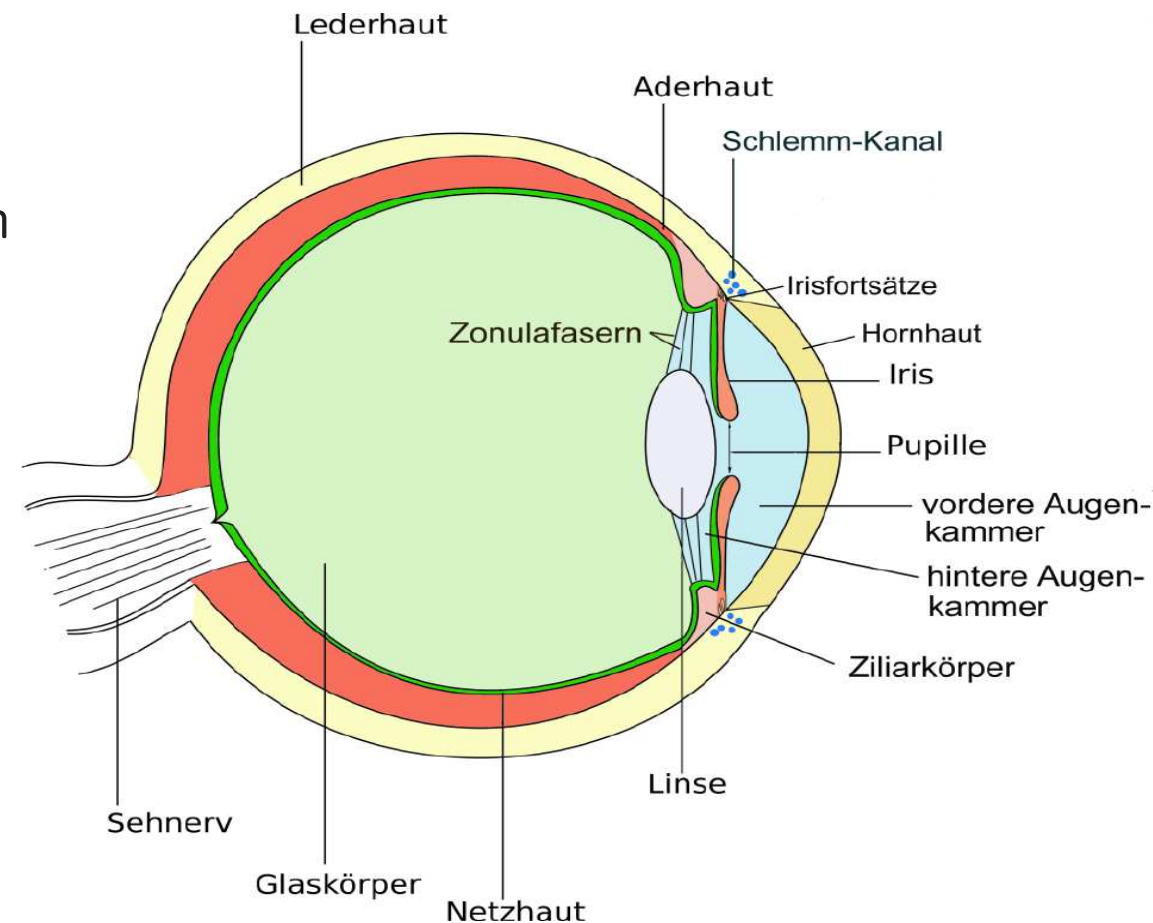
primäres Teilchen trifft auf  
Atmosphäre: 15 – 30 km Höhe

Atmosphäre



# Kosmische Strahlung

- Wir werden ständig durch hochenergetische Strahlung aus dem Kosmos bombardiert
- Protonen werden im Weltall (z.B. Supernovae) beschleunigt
- Erzeugen Sekundärteilchen bei Kollisionen in der Atmosphäre
- Kann man im Auge beobachten





# Radioaktiver Zerfall

- Radioaktiver Zerfall ist rein statistisch → Quantenmechanik
- Uran–Spaltprodukte: Cäsium-137, Jod-131
- Halbwertszeit, zB Cäsium-137: 30 Jahre; Jod-131: 8 Tage
- Von 1.000.000  $^{137}\text{Cs}$ –Atome, zerfallen in 30 Jahren die Hälfte

Zeit	0	30 Jahre	60 Jahre	90 Jahre	120 Jahre
Atome	1.000.000	500.000	250.000	125.000	62.500

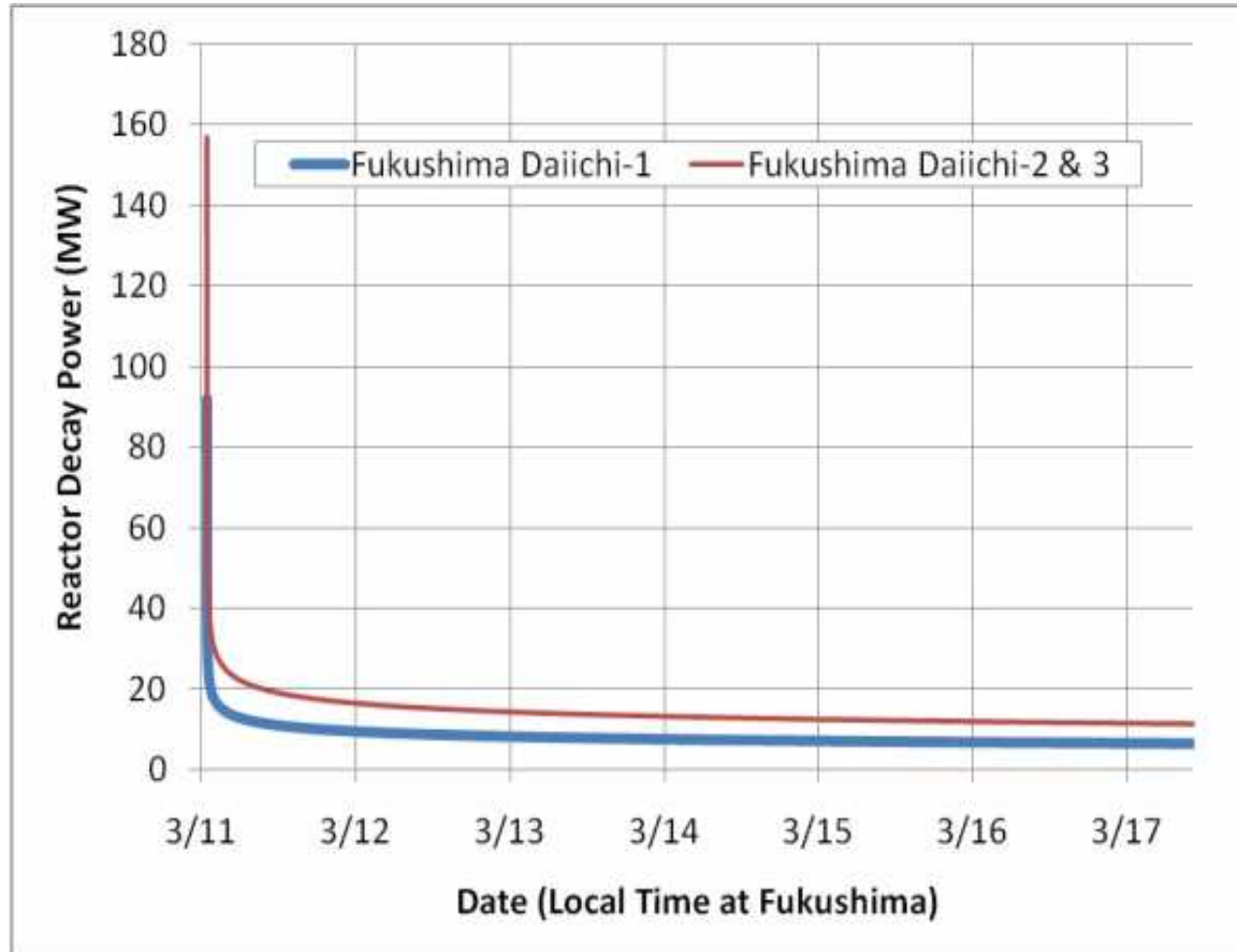
- Heute noch im Bayrischen Wald  $^{137}\text{Cs}$  Verseuchung von Tschernobyl
- Jod-131 nach 1 Jahr komplett weg
- Zerfall passiert, egal was Sie machen.
- **Sie können die Kerne nicht abschalten**

# Kernspaltung im Reaktor

- Uran-235 + langsames Neutron  $\longrightarrow$  Barium-139 + Krypton-95 + 2 (schnelle Neutronen)
- Bremse schnelle Neutronen ab  $\longrightarrow$  Kettenreaktion
- Wärmeerzeugung  $\longrightarrow$  Reaktorbetrieb
- Geht mit Uran-238 nicht, muß Uran-235 anreichern
- Reaktor: U-235: 3%, U-238: 97%
- Kann Kernkraftwerk (1 GW<sub>el</sub>) mit etwa 160 t Uran / Jahr betreiben
- Kohlekraftwerk (1 GW<sub>el</sub>) braucht 3 Mio t Steinkohle
- Vor 2 Mrd Jahren gab es in Oklo (Gabun, Afrika) eine natürliche Kettenreaktion

# Fukushima – Restwärme

- nach Erdbeben Kettenreaktion ausgestellt



- Etwa 10 Mega-Watt Restwärmeleistung/Reaktor
- > 100 Tonnen Wasser pro Stunde um 10 MW abzuführen

# Messung der Radioaktivität

- Standard Einheit für die Menge an radioaktivem Stoff ist

$$1 \text{ Bequerel} = 1 \text{ Bq}$$

- **1 Bequerel:** Menge an Stoff, so dass es 1 Zerfall pro Sekunde gibt

1mg Cäsium-137 sind 3 Milliarden Bq ( $3 \cdot 10^9$  Bq)

1mg Jod-131 sind  $2 \cdot 10^{15}$  Bq

- Uran-238 Halbwertszeit: 4.5 Milliarden Jahre

1mg Uran-238 sind 12.4 Bq

## Der Spiegel: 19. Mai, 2011

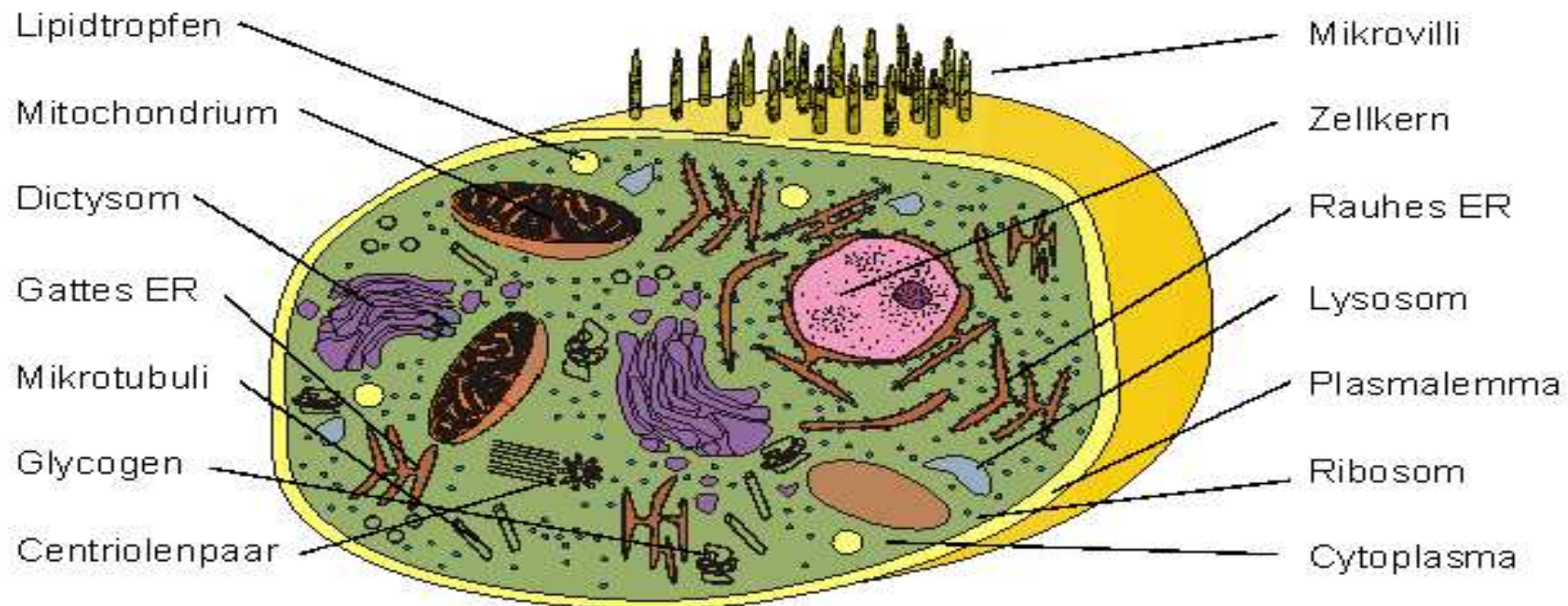
[...] rund 60 Kilometer nördlich des zerstörten Atomkraftwerks eine Belastung des **Grases**, die das Fünffache des erlaubten Grenzwertes überschritt. Ein Kilogramm der Probe war mit 1530 Becquerel Cäsium belastet [...]. Gesetzlich erlaubt seien in Japan für die Fütterung von Milchkühen maximal 300 Becquerel.

- $1530 \text{ Bq} = 5.1 \cdot 10^{-10} \text{ Gram}$
- Aber Cäsium reichert sich biologisch an, und 30 Jahre Halbwertszeit
- Becquerel kein so gutes Maß dafür wie gefährlich ein radioaktiver Stoff ist

# Biologische Wirkung der Strahlung

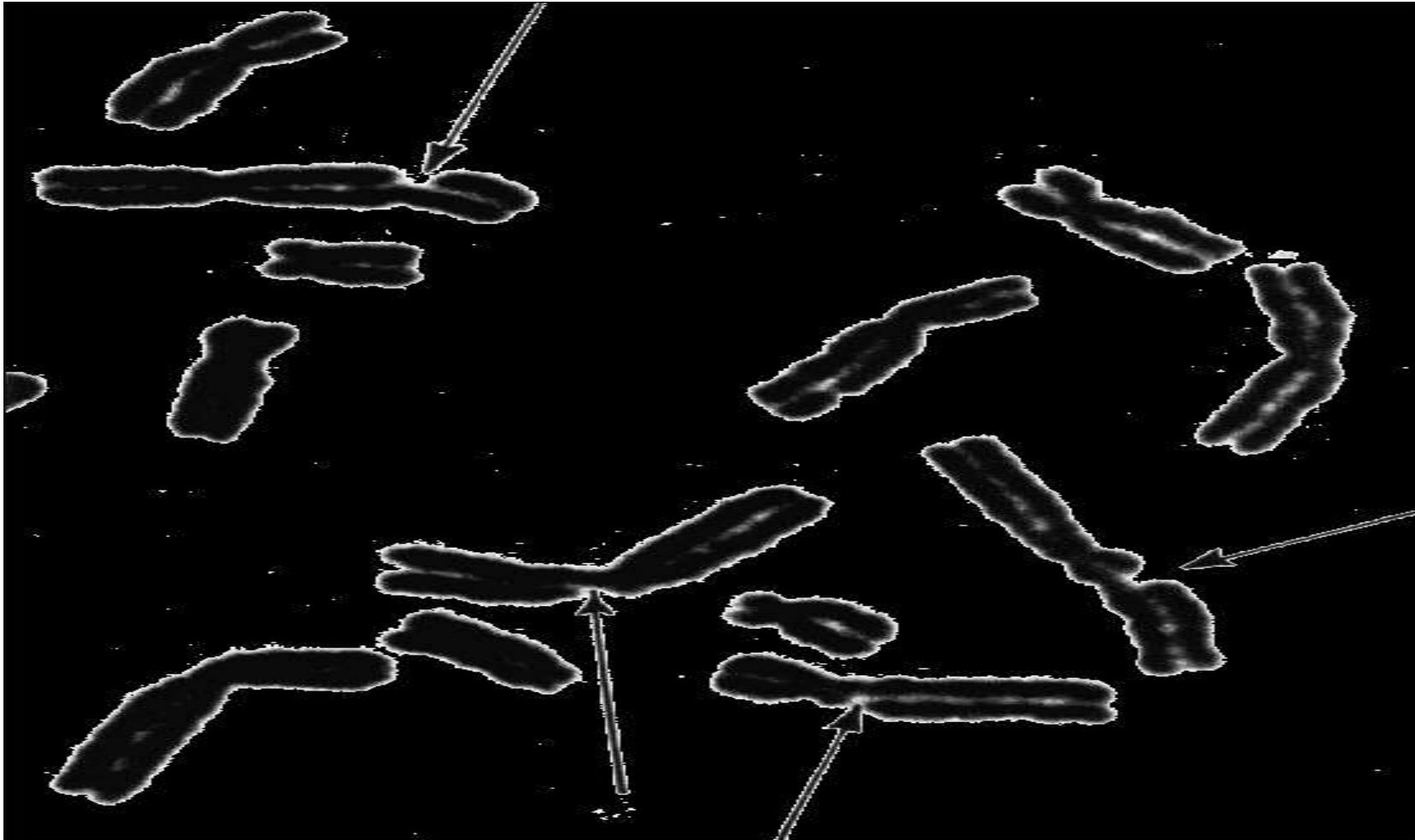
- Energetische Strahlung ionisiert Atome und Moleküle in den Zellen

## Die Zelle



- Kann molekulare Verbindungen zerstören

- Kritisch wenn Chromosome beschädigt werden



- **ABER**, es gibt auch Reparaturmechanismen in der Zelle

# Sievert

- **Sievert:** eine Einheit um die Schädigung der biologischen Struktur in Rechnung zu tragen

<u>Strahlungstyp</u>	<u>Qualitätsfaktor</u>
Röntgen-, Gamma-, Betastrahlung	1
Alphastrahlung	20
Neutronen < 10 keV	5
Neutronen 10 - 100 keV	10
Neutronen 100 - 2000 keV	20
Neutronen 2 - 20 MeV	10
Neutronen > 20 MeV	5
Protonen > 2 MeV	5
Spaltprodukte	20

- Äquivalentdosis = (Energiedosis)  $\times$  Q
- Resultierende Einheit heißt **Sievert**
- Eta 80.000 Bq Cäsium mit der Nahrung entspricht etwa 1 mSV



# Sievert: Beispiele

■ = 0,1  $\mu\text{Sv}$

$\Sigma$  Beiträge blauer Kasten  $\approx 80 \mu\text{Sv}$



natürlicher Hintergrund (externe Strahlenexposition) auf Meeresniveau pro Stunde in Deutschland (ca. 0,1  $\mu\text{Sv}$ )



zusätzliche externe Strahlenexposition durch den Aufenthalt auf der Zugspitze an einem Tag (ca. 2,2  $\mu\text{Sv}$ )



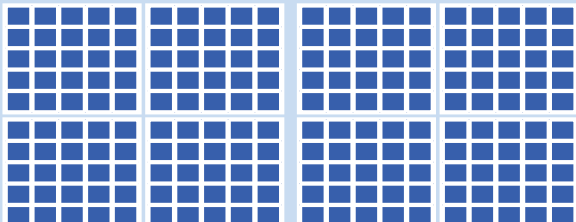
mittlere Gesamtexposition durch natürliche Strahlenquellen pro Tag in Deutschland (ca. 5,7  $\mu\text{Sv}$ )



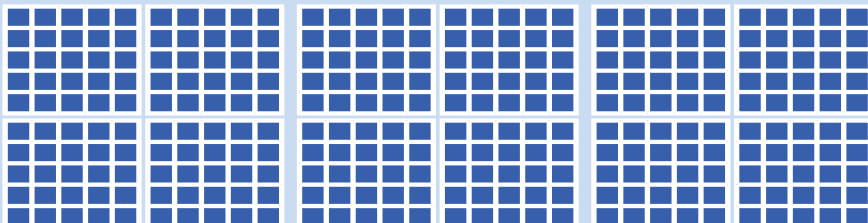
Röntgenaufnahme Zahn (< 10  $\mu\text{Sv}$ )



Beitrag durch kerntechnische Anlagen zur Strahlenexposition in Deutschland pro Jahr (< 10  $\mu\text{Sv}$ )



Einfacher Flug von Frankfurt nach New York (ca. 55  $\mu\text{Sv}$ )



■ = 50  $\mu$ Sv

$\Sigma$  Beiträge gelber Kasten  $\approx$  14 mSv



Röntgenaufnahme Brustkorb (ca. 50  $\mu$ Sv)



Jahresdosisgrenzwert zur Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus KKW (300  $\mu$ Sv)



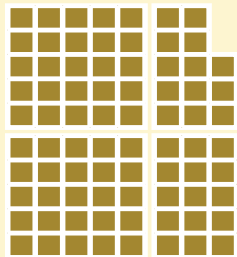
externe Strahlenexposition durch den Aufenthalt in Gebäuden pro Jahr (300  $\mu$ Sv)



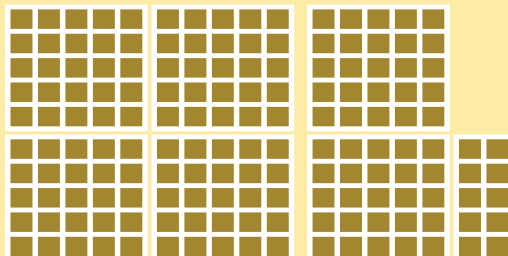
Mammographie (Brustuntersuchung) (ca. 400  $\mu$ Sv)



Jahresdosisgrenzwert für die Bevölkerung (effektive Dosis) (1 mSv)



Mittlere effektive Jahresdosis durch natürliche und künstliche Strahlenquellen in Deutschland (davon ca. 50% durch medizinische Anwendungen) (3,9 mSv)



CT Brustkorb (8 mSv)

■ = 10 mSv



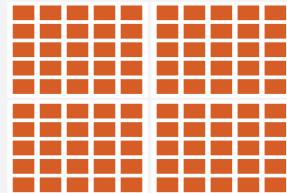
Jahresdosisgrenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal in Deutschland (effektive Dosis) (20 mSv)



Jahresdosiswert, der mit einem erhöhten Krebsrisiko in Zusammenhang gebracht wird (100 mSv)



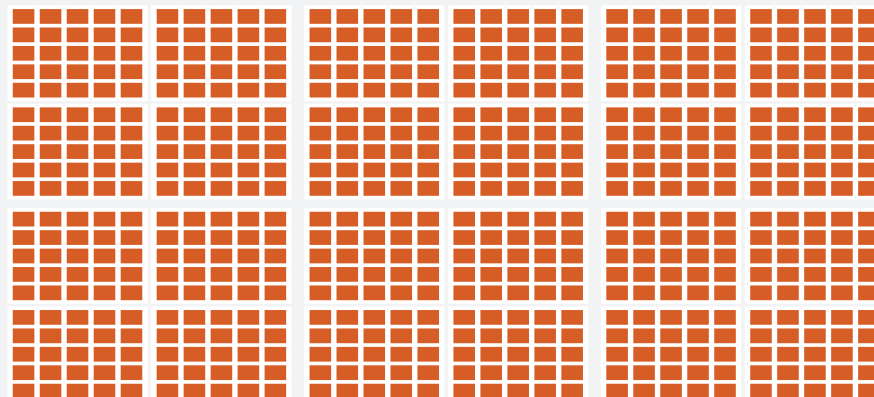
Schwellendosis (erste klinisch fassbare Strahleneffekte) (250 mSv)



Subletale Dosis (vorübergehende Strahlenkrankheit) (1 Sv)



Mittlere letale Dosis (schwere Strahlenkrankheit, oberhalb von 5 Sv ohne medizinische Behandlung 50% Todesfälle) (4 Sv)



Letale Dosis (tödliche Strahlenkrankheit, bei fehlender Therapie Mortalität fast 100%) (7 Sv)

# Strahlung um Fukushima

- Spitzenwerte am Gelände: 4-12 mSv/h = 0.004 - 0.012 Sv/h
  - Nach Explosionen
  - Dauerwerte: 1.5 mSv/h jetzt 400  $\mu$ Sv/h
  - Erreiche erlaubten deutschen Grenzwert in 2 Tagen (6 Arbeitstagen)
- 

- **Umgebung heute**, je nach Windrichtung: 0.08  $\mu$ Sv/h - 2.86  $\mu$ Sv/h
  - Iitate Dorf, 40 km NW
- 

- **Meerwasser:** seit 1. Mai Cäsium- und Jod-Werte unter dem Grenzwert

# RADIATION FROM CHERNOBYL

KiloBecquerels (KBq) per square metre

-  more than 1,480
-  185 to 1,480
-  40 to 185
-  10 to 40
-  2 to 10
-  less than 2
-  No data
-  Chernobyl plant

0 500 1 000 km

Sources: *Atlas des dépôts de césium 137 en Europe après l'accident de Tchernobyl*, rapport EUR 16733, Bureau des publications de la Communauté européenne, Luxembourg, 1996. Adapted from *Le Monde Diplomatique*, July 2000.

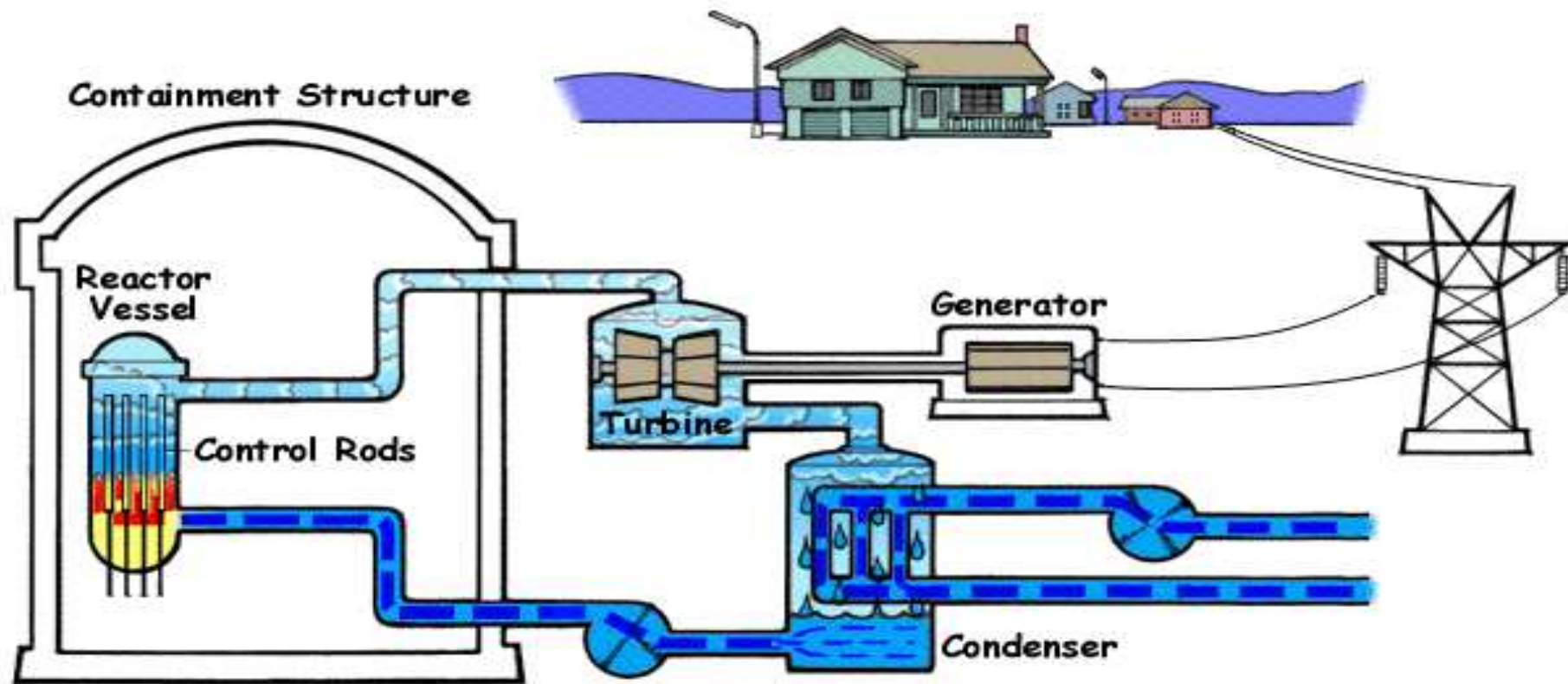


PHILIPPE REKACEWICZ  
JUNE 2002

Sources: UNEP/GRID-Arendal, European Environment Agency; *AMAP Assessment Report : Arctic Pollution Issues*, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 1998, Oslo; European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP); Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe, 1999. Adapted from *Le Monde Diplomatique*, July 2000.

# Atomkraftwerk / Kernkraftwerk

- Atomkraftwerk ist wie eine Dampfmaschine, nur die Hitze wird über eine nukleare Kettenreaktion erzeugt



- Wasser ist Moderator (langsame Neutronen) und Kühlmittel

# Sicherheitsvorkehrungen des Urans

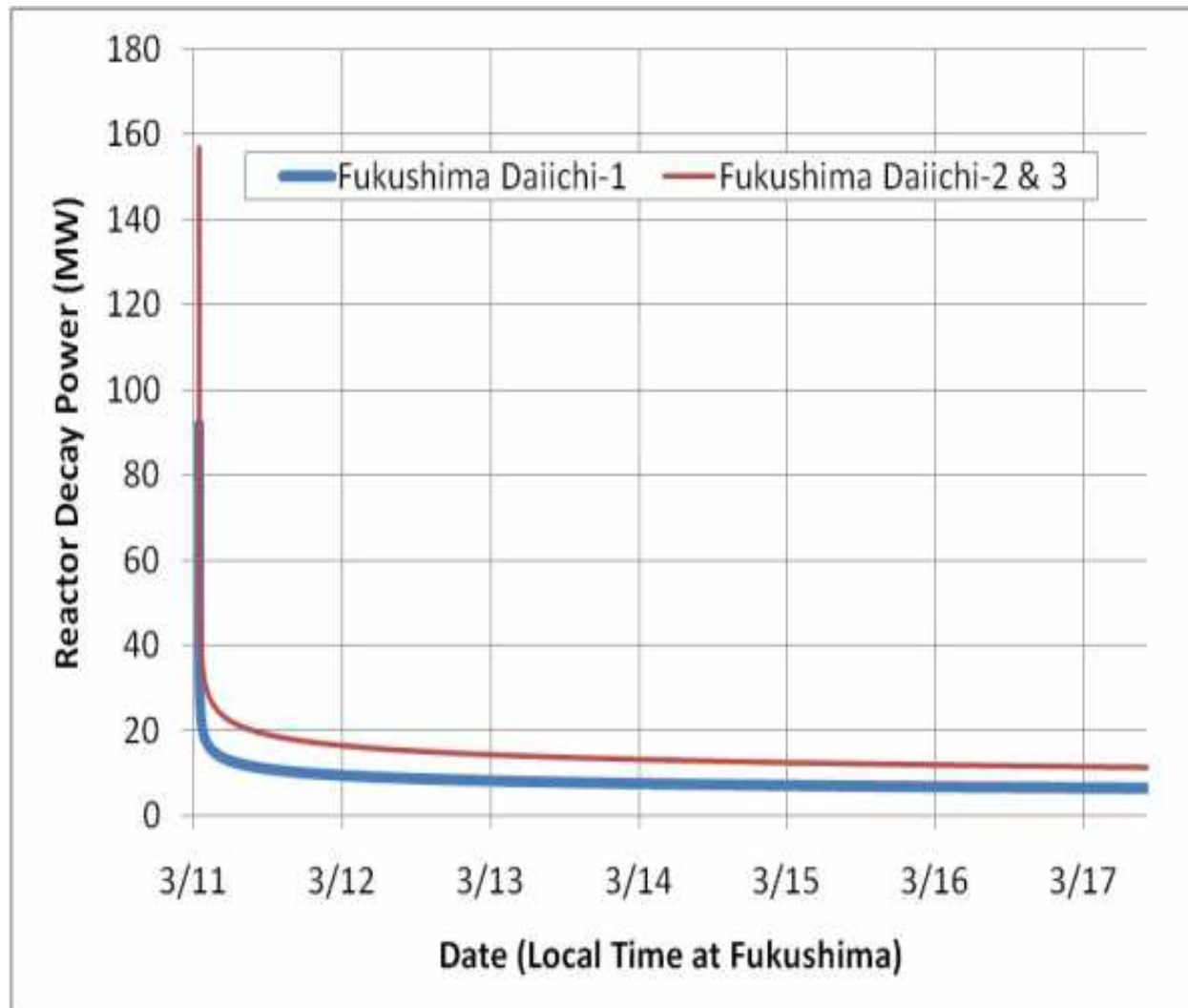
- Uran → Uranoxid-Pellets, keramisch, Schmelzpunkt  $T = 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Dieses kommt in lange Zirkonium-Legierung Röhren;  $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Dies sind die Brennstäbe
- Pellets sind die erste Barriere, Stäbe die zweite Barriere
- Einige Hundert Brennstäbe bilden den Reaktorkern
- Reaktorkern ist im Druckbehälter, 70 bar, 3. Barriere
- Darum gibt es noch einen Sicherheitsbehälter
- Um das Ganze, gibt es dann noch das Reaktorgebäude, Wetter

## Fukushima: was ist passiert?

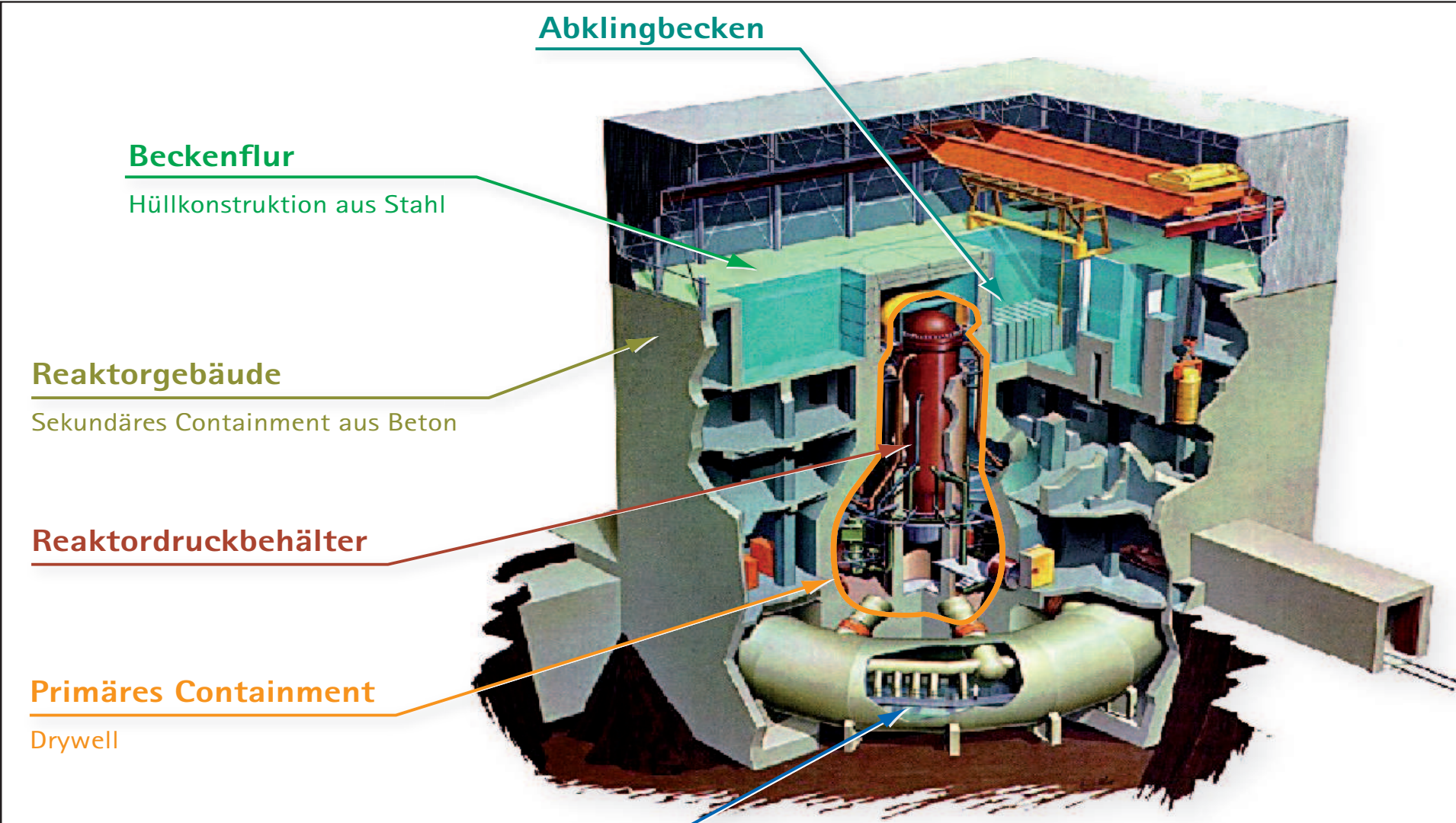
- Erdbeben → **SCRAM**: Neutronenabsorberstäbe stoppen die Kettenreaktion
- Die Energie von radioaktiven Zerfällen wärmt das Wasser, bis es kocht
- Danach erhitzt es die Reaktorstäbe so hoch bis sie zerstört werden.



# Fukushima – Restwärme



- Etwa 10 Mega-Watt Restwärmeleistung/Reaktor
- > 100 Tonnen Wasser pro Stunde um 10 MW abzuführen



**Abklingbecken**

**Beckenflur**

Hüllkonstruktion aus Stahl

**Reaktorgebäude**

Sekundäres Containment aus Beton

**Reaktordruckbehälter**

**Primäres Containment**

Drywell

**Kondensationskammer**

Wetwell

- ▶ Reaktordesign: BWR-3
- ▶ Containmentdesign: Mark-I

Quellen: NRC, General Electric, [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)

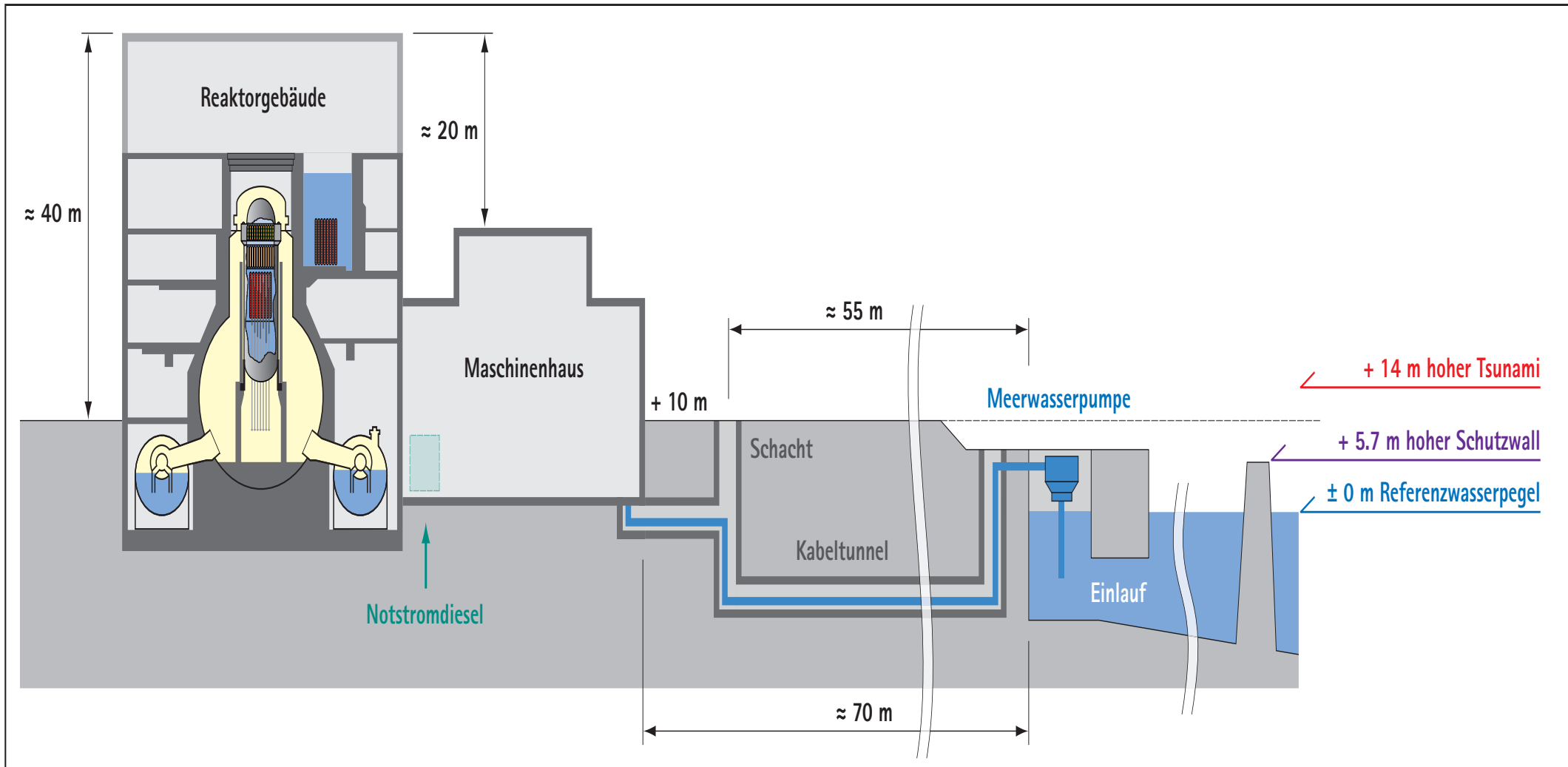
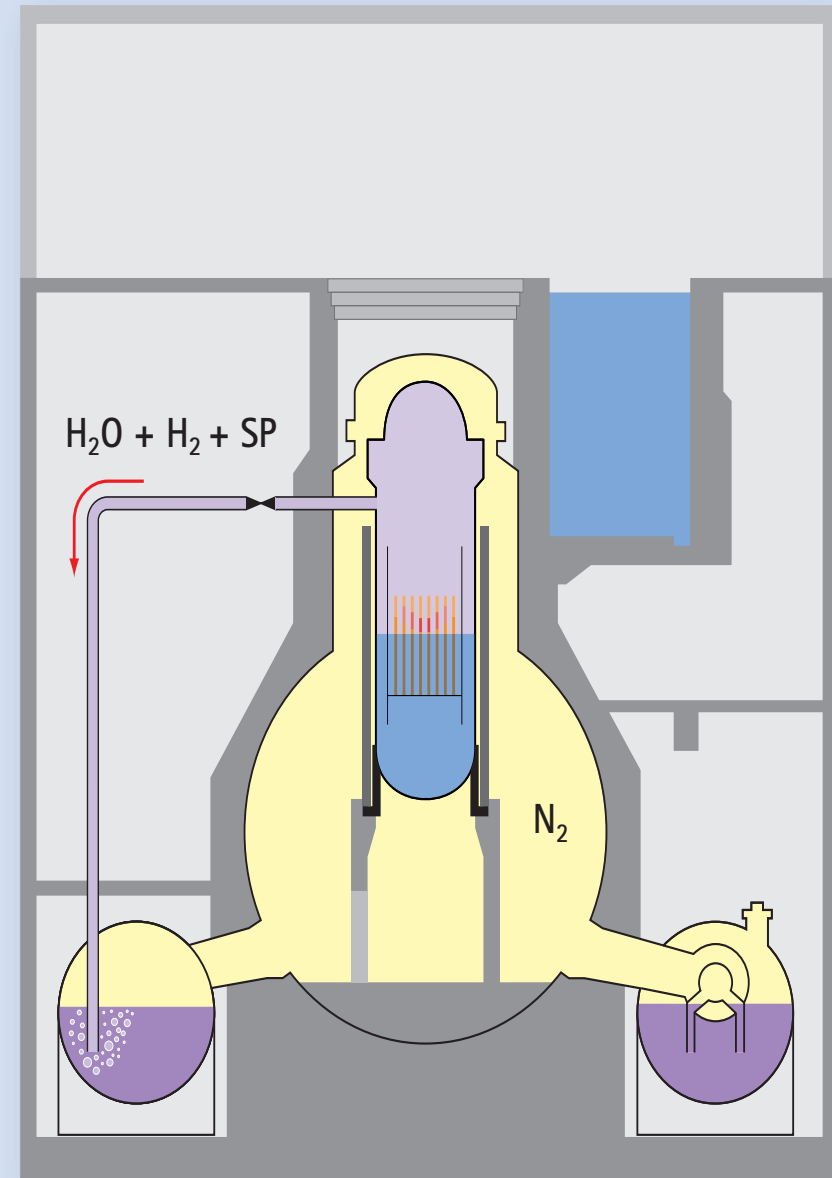


Abb. 4: Die Höhe der Tsunamiwelle relativ zur Kernkraftwerks-Grundstücksoberfläche



## b.) Aufheizphase und Temperatureskalation

- ❑ **Hüllrohrtemperaturen überschreiten 900 °C**
  - Erste lokale Kernschäden durch berstende Hüllrohre.
  - Freisetzung flüchtiger Spaltprodukte aus Brennstäben.
  
- ❑ **Hüllrohrtemperaturen überschreiten 1200 °C**
  - Beginn der Zirkonium-Wasserdampf-Oxidation  
$$\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2 + \text{Wärme}$$
  - Selbstverstärkende Aufheizung (*exotherme Reaktion*).
  - Die Oxidation von 1 g Zirkonium führt zur Bildung von 44,2 g Wasserstoff.
  
- ❑ **Vermutete produzierte Wasserstoffmengen**
  - Ungefähr 300 bis 600 kg im Block 1,
  - ungefähr 300 bis 1000 kg in den Blöcken 2 und 3.
  
- ❑ **Wasserstoff** gelangt zusammen mit Wasserdampf und flüchtigen Spaltprodukten in die Kondensationskammer, in der Temperatur und Druck ansteigen.



## c.) Zerstörung und Fluten des Reaktorkerns

### ❑ Temperaturen ab etwa 1800 °C

- Aufschmelzen von noch verbliebenen metallischen Hüllrohrbestandteilen und Edelstahlstrukturen.
- Verflüssigung von Urandioxid durch metallische Schmelzegemische und Verlagerung bereits weit unterhalb des  $\text{UO}_2$ -Schmelzpunktes von 2850 °C.

### ❑ Temperaturen ab etwa 2500 °C

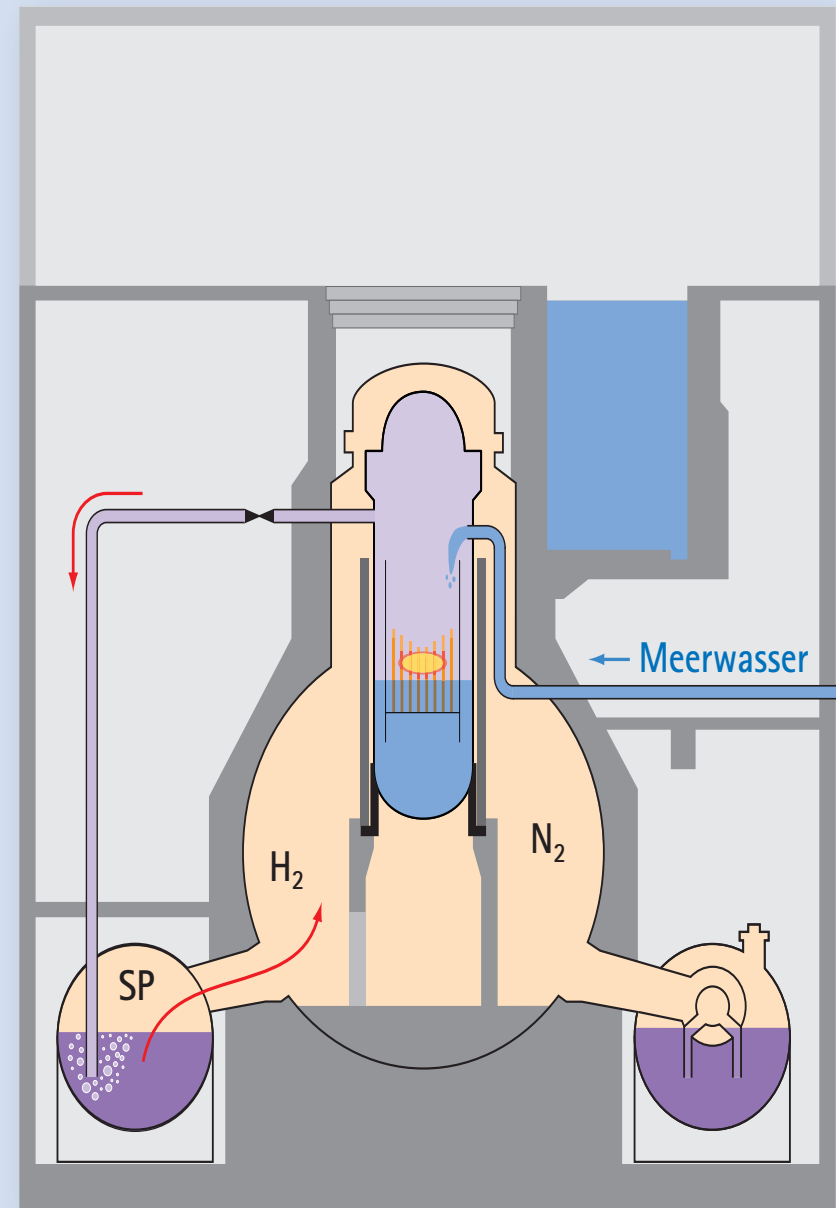
- Weitgehende Zerstörung der Brennstabstrukturen,
- Bildung von Trümmeransammlungen (Schüttbetten).

### ❑ Temperaturen ab etwa 2700 °C

Bildung keramischer  $(\text{U}, \text{Zr})\text{O}_2$ -Schmelzegemische und vollständiges Aufschmelzen des Reaktorkerns.

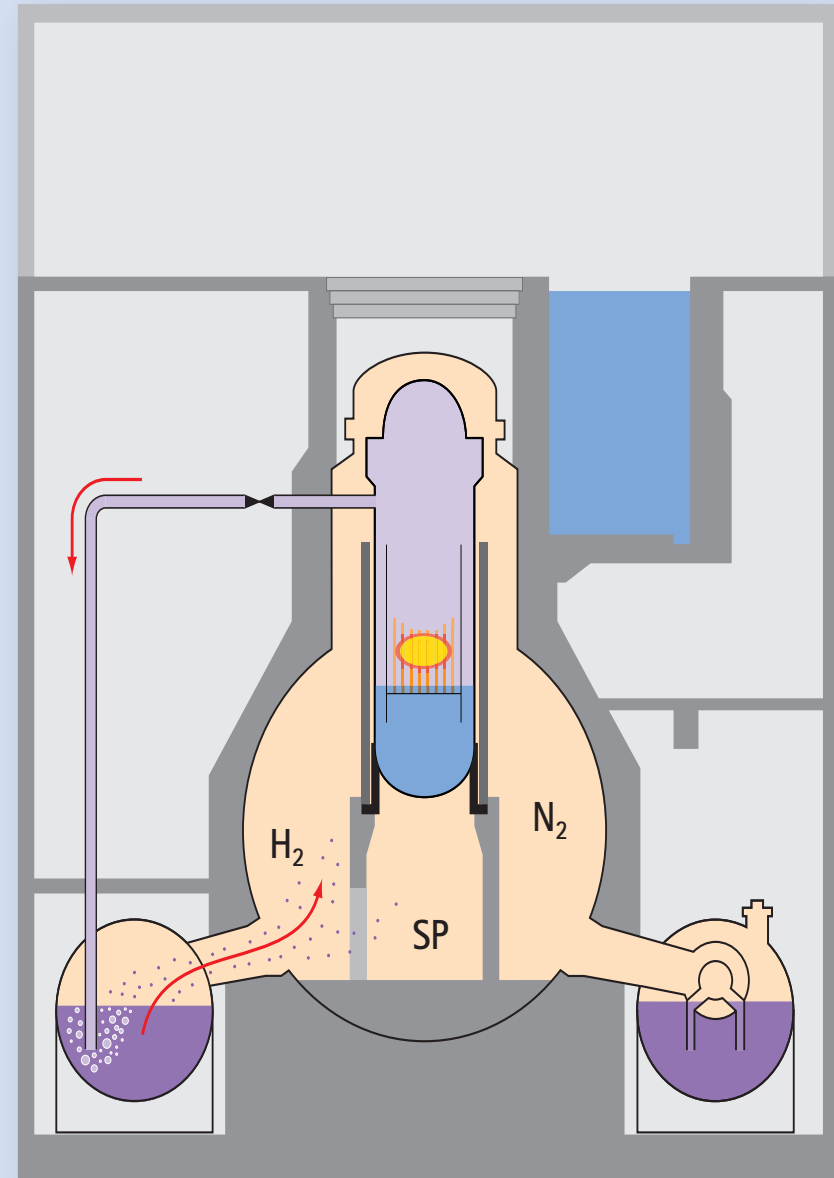
### ❑ Einspeisung von Meerwasser

- Block 1 am 12. März, 20:20 Uhr ▶  $\approx 28$  h ohne Kühlung,
- Block 2 am 14. März, 16:34 Uhr ▶  $\approx 3$  h ohne Kühlung,
- Block 3 am 13. März, 13:12 Uhr ▶  $\approx 8$  h ohne Kühlung.



## d.) Kontamination des Sicherheitsbehälters

- ❑ **Freisetzung von Spaltprodukten**
  - Flüchtige: Xenon, Cäsium, Iod, ...
  - Uran und Plutonium verbleiben im Reaktorkern,
  - Aerosolbildung durch Spaltproduktkondensation.
- ❑ **Abblasen** eines Gemisches aus Wasserdampf, Wasserstoff und Spaltprodukten in die Kondensationskammer.
- ❑ **Rückhaltung** einiger Aerosole in der Wasservorlage und an Oberflächen der Kondensationskammer.
- ❑ **Xenon** und nicht zurückgehaltene Aerosole gelangen in die Atmosphäre des Sicherheitsbehälters.
- ❑ **Oberflächenkontamination** durch Aerosolablagerung im Sicherheitsbehälter.



## e.) Druckerhöhung im Sicherheitsbehälter

### □ Funktion und Eigenschaften

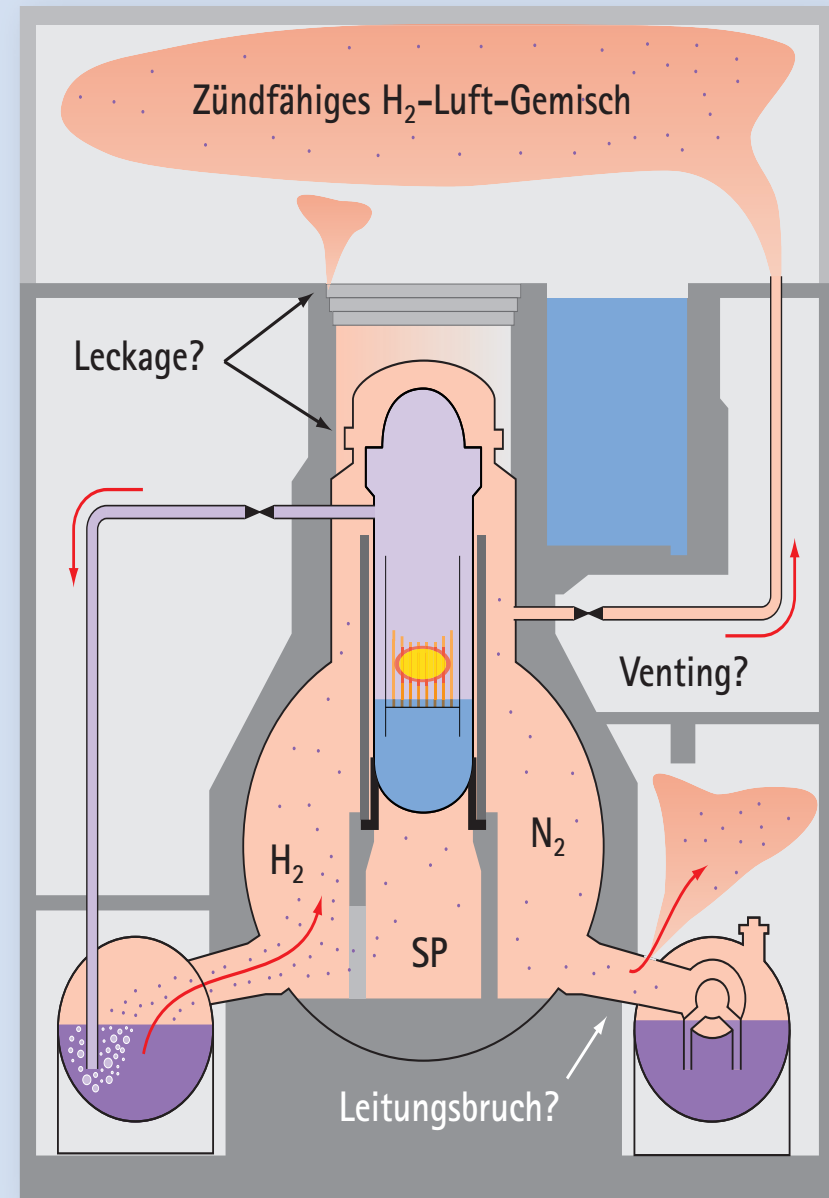
- Letzte Barriere zur Verhinderung einer Freisetzung von Spaltprodukten in die Umgebung.
- Wandstärke von etwa 3 cm,
- Auslegungsdruck von etwa 4 bis 5 bar.

### □ Tatsächliche Drücke bis etwa 8 bar

- Stickstoffatmosphäre zur Inertisierung plus
- Wasserstoff aus der Zirkoniumoxidation plus
- Siedevorgänge in der Kondensationskammer (vergleichbar mit einem Schnellkochtopf).

### □ Erste Druckentlastung (Venting)

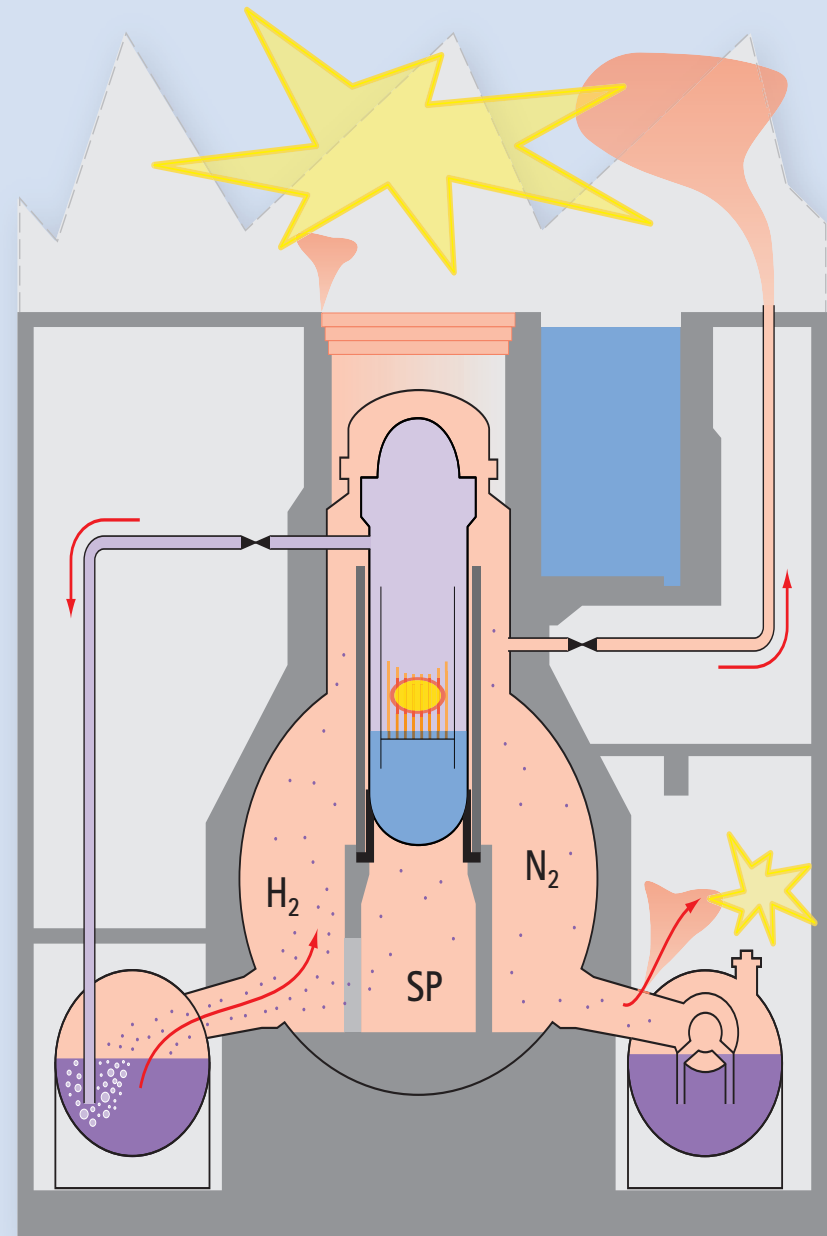
- Block 1 am 12. März, 10:17 Uhr,
- Block 2 am 13. März, 11:00 Uhr,
- Block 3 am 13. März, 08:41 Uhr.





## f.) Wasserstoffexplosionen

- ❑ **Bildung zündfähiger Wasserstoff-Luft-Gemische** nach einer Druckentlastung des Sicherheitsbehälters über betriebliche Entlüftungsleitung, Leckagestellen oder Leitungsschäden
- ❑ **Keine Rekombinatoren?**
- ❑ **Zerstörung** der Stahlkonstruktion der Reaktorgebäude.
- ❑ **Betonstrukturen** der Reaktorgebäude vermutlich nicht oder nicht stark beschädigt.



## Abklingbecken

### ❑ Ausgangssituation vor dem Erdbeben

Alle Brennelemente aus dem Reaktorkern von Block 4 waren kurz vor dem Erdbeben für Wartungszwecke in das Abklingbecken oberhalb des Sicherheitsbehälters umgesetzt worden (hohe Nachzerfallswärmeleistung), während sich die Brennelemente der Blöcke 5 und 6 (beide in Revision) noch im Reaktorkern befanden.

### ❑ Ausdampfen des Wasserinventars im Abklingbecken

- Block 4 innerhalb von zehn Tagen,
- Blöcke 5 und 6 in einigen Wochen.

### ❑ Leckagen durch Erdbebenschäden?

### ❑ Konsequenzen

- Kernschmelze außerhalb des Sicherheitsbehälters.
- Praktisch keine Möglichkeit zur Rückhaltung von Spaltprodukten im Reaktorgebäude.
- Massive Freisetzung flüchtiger Spaltprodukte.

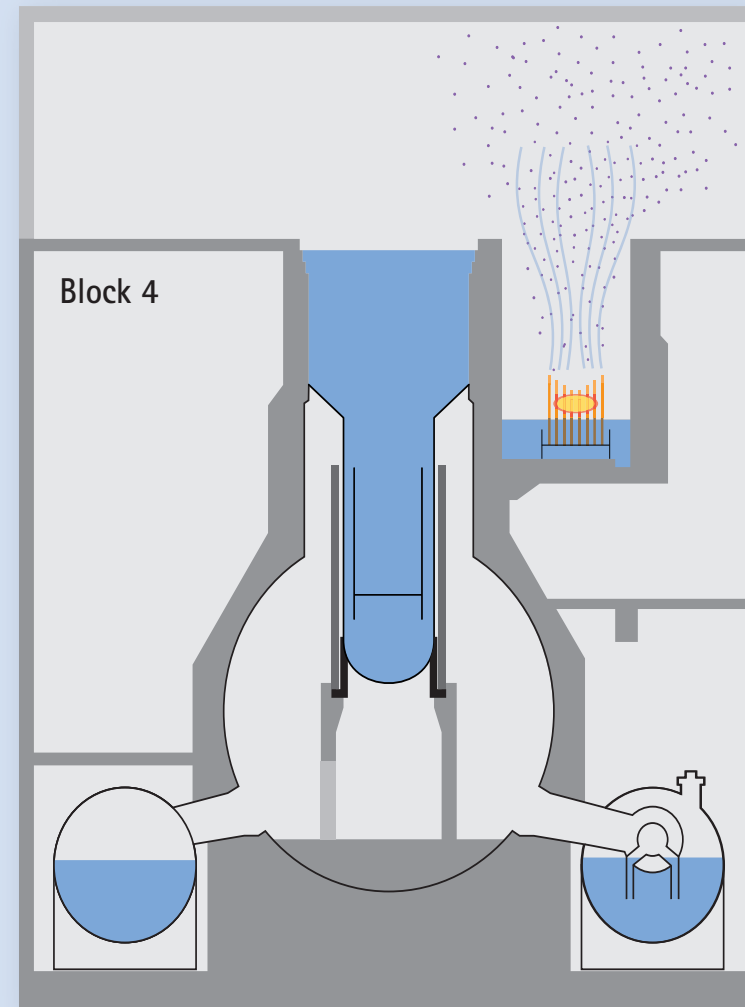


Abb. 7: Brennstabschmelzen im Brennelement-Abklingbecken des Blocks 4

**Zustand des Kernkraftwerks in Fukushima I (Dai-ichi) am 24. Mai 2011 um 05:00 Uhr (MESZ)**  
 nach JAIF, Japan Atomic Industrial Forum, Inc., übersetzt durch Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln



Block	1	2	3	4	5	6
<b>INES-Bewertung</b>	<b>Stufe 7 (aufgrund der freigesetzten Gesamtaktivität am Standort Daiichi)</b>			<b>Stufe 3</b>	<b>k.A.</b>	<b>k.A.</b>
Zustand Kern und Brennstäbe (Brennelemente im Kern)	größtenteils beschädigt*1 (400) (*1 Einschätzung von TEPCO vom 15. Mai) (*2 Einschätzungen vom 27. April)	35%*2 beschädigt (548)	30%*2 beschädigt (548)	keine Brennelemente im Kern	unbeschädigt (548)	unbeschädigt (764)
Zustand Reaktordruckbehälter	Schäden und Leckage vermutet	unbekannt	unbekannt	unbeschädigt	unbeschädigt	
Zustand Sicherheitsbehälter	Schäden und Leckage vermutet	Schäden und Leckage vermutet	vermutlich unbeschädigt	unbeschädigt	unbeschädigt	
Reaktorkühlsystem 1, Wechselstrom, Frischwassers	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht notwendig	funktionsfähig	
Reaktorkühlsystem 2, Wechselstrom, Wärmetauscher	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht funktionsfähig	nicht notwendig	funktionsfähig („cold shutdown“)	
Zustand Reaktorgebäude	schwer beschädigt, (Wasserstoffexplosion)	teilweise offen	schwer beschädigt, (Wasserstoffexplosion)	schwer beschädigt (Wasserstoffexplosion)	Lüftungsloch im Dachbereich geschaffen zur Vermeidung einer Wasserstoffexplosion	
Wasserstand im Reaktordruckbehälter	niedriger als die Unterkante der Brennstäbe	Brennstäbe teilweise oder ganz freiliegend	Brennstäbe teilweise oder ganz freiliegend	sicher	sicher	
Druck / Temperatur im Reaktordruckbehälter	schrittweise steigend / schrittweise sinkend	unbekannt / stabil	Unbekannt / <u>nach Anstieg</u> schrittweise sinkend	sicher	sicher	
Druck im Sicherheitsbehälter (Containment)	leicht gesunken nach Anstieg auf 0,4 MPa am 24.03	stabil	stabil	sicher	sicher	
Wassereinspeisung in Reaktorkern	wird fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Süßwasser)			nicht notwendig	nicht notwendig	
Wassereinspeisung in Sicherheitsbehälter	Speisewasser soll Sicherheitsbehälter auffüllen (gestartet 27.04.)	Speisewasser soll Sicherheitsbeh. auffüllen (geplant)	Speisewasser soll Sicherheitsbeh. auffüllen (geplant)	nicht notwendig	nicht notwendig	
Druckentlastung Containment	zeitweise gestoppt	zeitweise gestoppt	zeitweise gestoppt	nicht notwendig	nicht notwendig	
Zustand der Brennelemente im Abklingbecken (Zahl der BE)	unbekannt (292)	unbekannt (587)	Schaden vermutet (514)	evtl. teilweise beschädigt (1331) Annahme basiert auf Wasserprobe aus Abklingbecken, in der Radioaktivität gemessen worden ist.	unbeschädigt (946)	unbeschädigt (876)
Kühlung des Abklingbeckens	Wassereinspeisung wird mit Süßwasser fortgesetzt	Wassereinspeisung wird mit Süßwasser fortgesetzt	Wasserbesprühung und -einspeisung wird fortgesetzt (Süßwasser)	Wasserbespr. und -einspeisung mit Süßwasser wird fortgesetzt, Wasserstoffexplosion am 15.03.	Kühlung der Abklingbecken wieder hergestellt	
Betretungs- und Funktionsfähigkeit Hauptkontrollraum	gering wegen Stromausfalls (Beleuchtung und Parameteranzeige funktioniert im Kontrollraum der Blöcke 1 und 3 seit dem 24. 03., Block 2 seit dem 26.03. und Block 4 seit dem 29.03.				vermutlich unbeschädigt	
Umweltauswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Status auf der Anlage Fukushima-Dai-ichi:</b> Strahlungswerte: 389 µSv/h an der Südseite des Verwaltungsgebäudes und 16 µSv/h am Westtor am 23.05. um 09:00 Uhr (Ortszeit) und 42 µSv/h am Haupttor am 21.05. um 10:30 Uhr (Ortszeit). In Bodenproben vom Anlagengelände wurden kleine Mengen radioaktiver Stoffe (I, Cs, Pu, Am und Cm (27.04.), Sr (entnommen am 18.04., veröffentlicht am 08.05.)). Radioaktive Stoffe wurden weiterhin in Grundwasser- und Seewasserproben vom Anlagengelände oder aus der näheren Umgebung nachgewiesen. Die Überwachung des Gebietes in der Umgebung der Anlage wurde ausgeweitet. Radioaktives Jod und Cäsium wurde in Proben vom Meeresboden in 15-20km Entfernung von der Anlage und 15-20m Tiefe nachgewiesen. Die Strahlungswerte dieser Proben liegen zwischen dem 100- und 1000fachen des Normalwertes (04.05).</li> <li>• <b>Einflüsse auf die Allgemeinheit:</b> Radionuklide wurden in der Milch sowie in anderen landwirtschaftlichen Produkten aus Fukushima und den Nachbarpräfekturen nachgewiesen. Die Regierung hat die Begrenzung von Vertrieb und Konsum bestimmter Produkte verfügt. In einigen Präfekturen wurde radioaktives Jod oberhalb der vorläufigen gesetzlichen Grenzwerte im Leitungswasser nachgewiesen. Das Trinkverbot von Wasser ist am 10.05. aufgehoben worden. Im Klärschlamm einer Abwasseraufbereitungsanlage, die 50 km vom KKW Fukushima entfernt liegt, ist radioaktives Cäsium nachgewiesen worden. Kleine Mengen Strontiums wurden in einigen Boden- und Pflanzenproben in 20-80km Entfernung von der Anlage gefunden.</li> </ul>					
Evakuierungszone	<1> 11.03., 21:23 Uhr: Evakuierungszone 3km um das Kraftwerk, Bewohner im Umkreis von 10km um das Kraftwerk sollten im Hause bleiben; <2> 12.03., 05:44 Uhr: Evakuierung im Umkreis von 10km; <3> 12.03., 18:25 Uhr: Evakuierung im Umkreis von 20 km um Kernkraftwerk; <4> 15.03., 11:00 Uhr: Menschen, die zwischen 20 und 30 km von KKW Fukushima 1 Daiichi entfernt leben, sollten im Haus bleiben; 25.03, 11:30 Uhr: Menschen, die zwischen 20 und 30 km von KKW Fukushima 1 Daiichi entfernt leben, sollten erwägen, fortzugehen. <5> 11.04., Die Evakuierungszone von 20km um das KKW Fukushima Daiichi soll erweitert werden, so dass auch die Gebiete erfasst werden, in denen eine jährliche Strahlenexposition von über 20 mSv erwartet wird. Menschen, die in dieser erweiterten Zone leben, werden angewiesen, sie innerhalb eines Monats zu verlassen. Menschen, die in der 20 bis 30 km umfassenden Evakuierungszone, aber außerhalb der erweiterten Zone leben, sollen sich in den Häusern aufhalten bzw. sich zur Evakuierung bereit zu halten (angekündigt am 11.04., Erlass am 22.04.).					

Quelle: Governmental Emergency Headquarters: News release (19.05. 17:00); Pressekonferenz; Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA): News Release (22.05.15:00). Pressekonferenz; TEPCO: Pressemitteilung (23.05. 09:00). Pressekonferenz.

Sicherheitstechnische Bewertung durch JAIF:

hoch	mittel	niedrig
------	--------	---------

# Zusammenfassung

- Einführung in die Physik der Radioaktivität
- In Japan ist so ein Tsunami alle 30 Jh zu erwarten
- Unverantwortlich Kraftwerke so schlecht zu schützen
- Kühlung der Nachwärme ist ein kritischer Punkt bei allen Atomkraftwerken
- War auch das Problem bei Harrisburg und Tschernobyl
- Freie Information unbedingt notwendig
- 45min sind zu kurz...