

Grundlagen und aktuelle Informationen zum Reaktorunglück in Fukushima

Helmut Fischer
Universität Bremen, Institut für Umweltphysik
Landesmessstelle für Radioaktivität
31.3.2011

Gliederung

- mathematisches „Handwerkszeug“ (1 Folie)
- Atomaufbau, Radioaktivität, Kernspaltung
- Aufbau eines Siedewasserreaktors
- Gesundheitsgefahren durch Radioaktivität

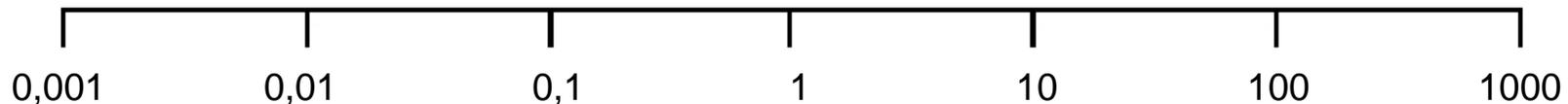
- Aktuelle Situation in Fukushima
- Mögliche Auswirkungen in Japan
- Mögliche Auswirkungen in Deutschland und Bremen

Mathematisches Handwerkszeug

- „**Exponential Schreibweise**“ für sehr große und sehr kleine Zahlen:

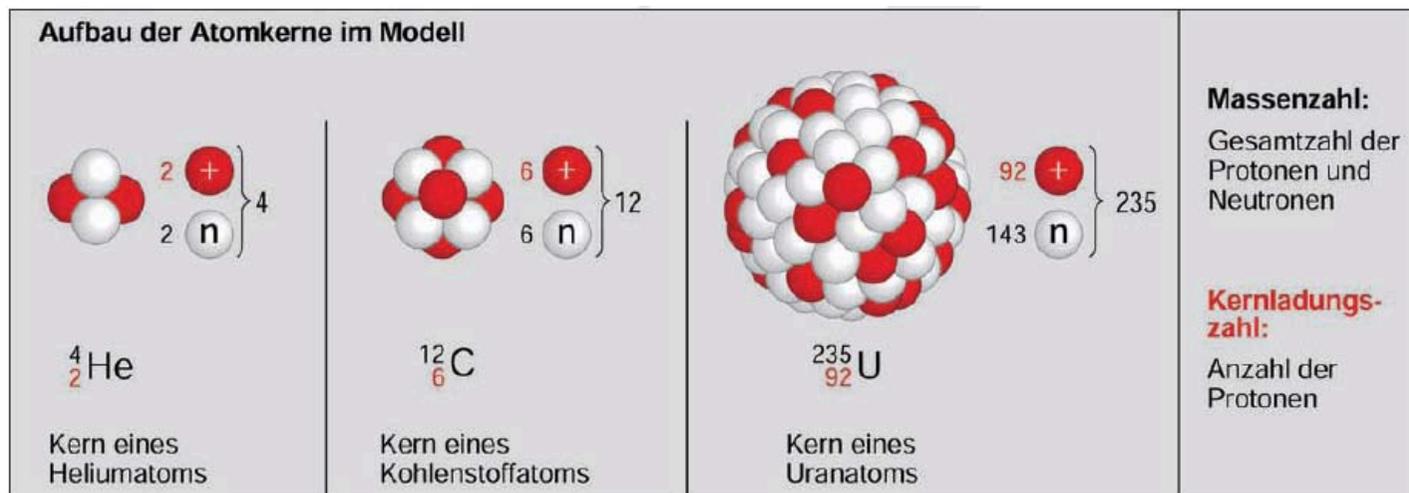
1 Million	= 1000000	= 10^6 („10 hoch 6“)
1 Millionstel	= 0,000001	= 10^{-6} („10 hoch minus 6“)
- **Abkürzungen für große und kleine Einheiten:**

k (Kilo, 10^3)	M (Mega, 10^6)	G (Giga, 10^9)
m (Milli, 10^{-3})	μ (Mikro, 10^{-6})	n (Nano, 10^{-9})
- „**Logarithmische Skalen**“ um gleichzeitig sehr große und sehr kleine Messgrößen darstellen zu können (Beispiel: Richter-Skala!)



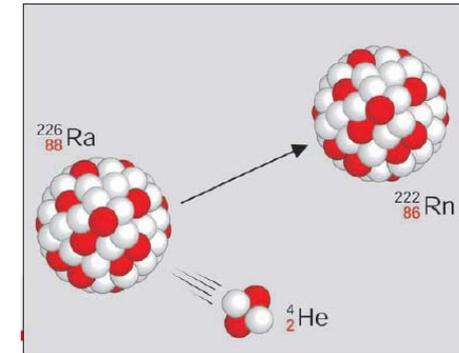
Atomaufbau, Radioaktivität

- Unterschiedliche Anzahl von Protonen und Neutronen führt zu den verschiedenen Elementen (z.B. Helium, Kohlenstoff, Uran, ...)
- Für jedes Element gibt es ein optimales Verhältnis von Protonen und Neutronen im Kern
- Ist dieses Verhältnis stark gestört, ist der Kern instabil – er wandelt sich unter Aussendung von Strahlung in einen stabileren um - er ist „radioaktiv“

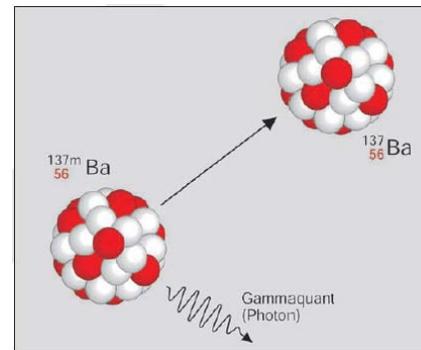


Atomaufbau, Radioaktivität

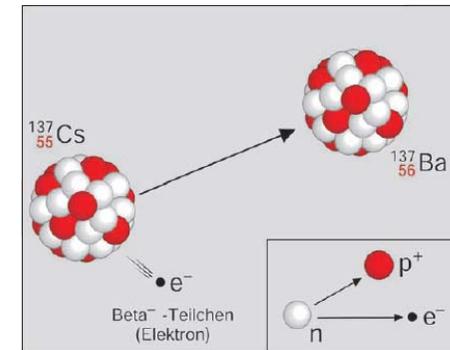
- Es gibt verschiedene Zerfallsarten, die unterschiedliche Strahlungen produzieren (α , β , γ)
- Die ausgesandte Strahlung ist sehr energiereich und kann aus Atomen und Molekülen Elektronen herausschlagen („ionisieren“)
- Die Strahlung ist messtechnisch sehr gut nachweisbar



Alphazerfall



Gamma"zerfall"



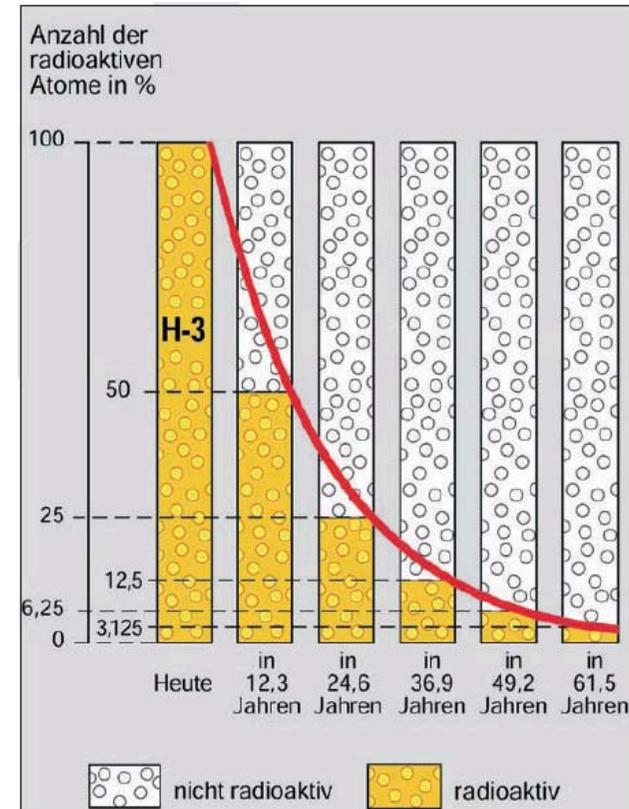
Betazerfall

Atomaufbau, Radioaktivität

Radioaktive Stoffe sind charakterisiert durch

- die ausgesandte Strahlenart (Alpha, Beta, Gamma)
- die Energie der Strahlung
- die Schnelligkeit der Umwandlung, gemessen in der Zeit in der die Hälfte der Kerne zerfallen ist: „Halbwertszeit“
- Die Maßeinheit der Quellstärke oder „Aktivität“ ist das **Becquerel (Bq)**, 1 Bq entspricht 1 Zerfall pro Sekunde

(alte Einheit: Curie (Ci), 1 Ci entspricht 37 Milliarden Zerfällen pro Sekunde, $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$)



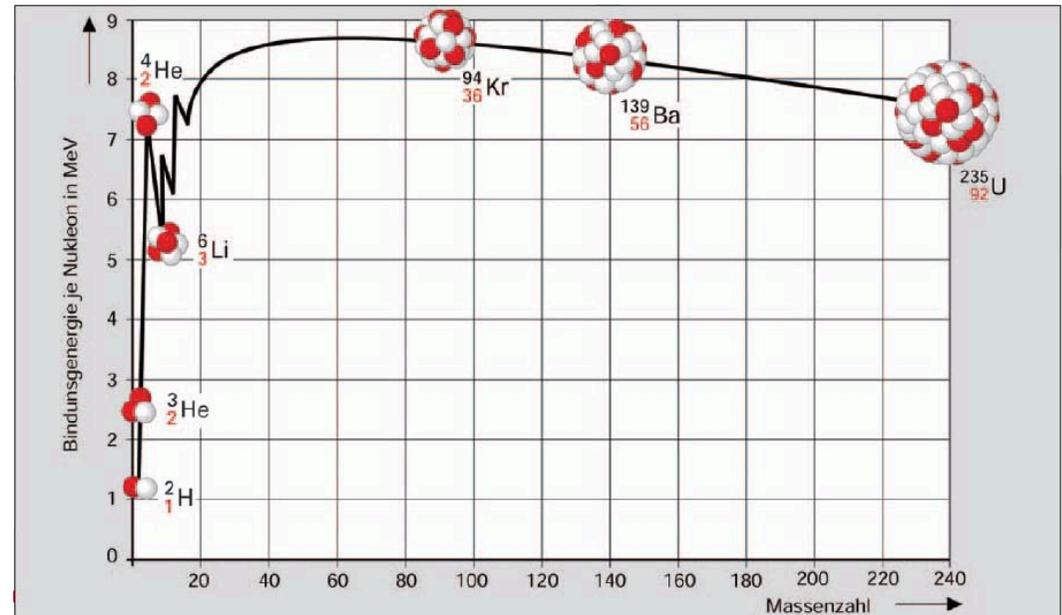
Zerfall radioaktiven Wasserstoffs (Tritium): Halbwertszeit 12,3 Jahre

Kernspaltung

Die „mittelschweren“ Kerne haben die „günstigste“ Konfiguration von Protonen und Neutronen

Zerlegung eines schweren Kerns (**Kernspaltung**) oder Verschmelzung mehrerer leichter Kerne (**Kernfusion**) könnte Energieüberschuss erzeugen

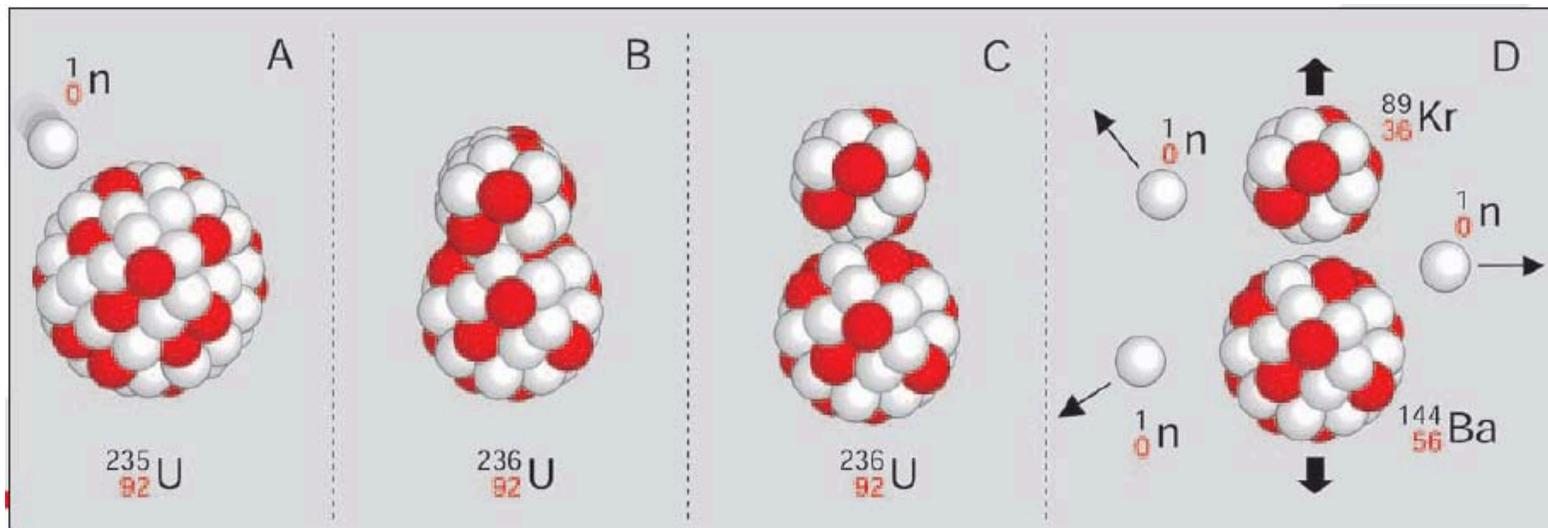
Um diese Prozesse auszulösen, muss Energie zugeführt werden



Bindungsenergie im Atomkern

Kernspaltung

Manche schwere Kerne wie **Uran-235 (natürlich)** und **Plutonium-239 (künstlich)** können durch Beschuss mit Neutronen gespalten werden und setzen dabei selber wieder Neutronen frei



Spaltung von Uran-235

Kernspaltung

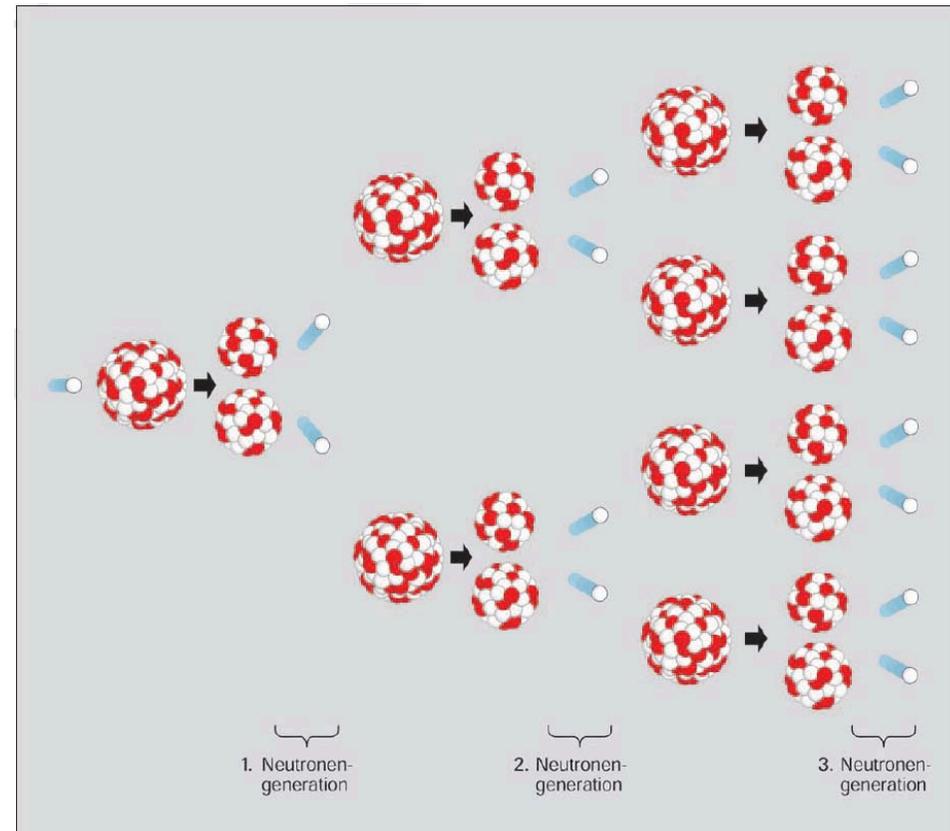
Die erzeugten Neutronen können zu weiteren Spaltungen genutzt werden

-> es entsteht eine **Kettenreaktion**

schnell: „**Atombombe**“

langsam: „**Kernreaktor**“ - die Energie der Teilchen kann (als Wärme) aufgefangen werden

Energieausbeute pro kg:
millionenfach höher als z.B. bei der Verbrennung von Kohle
(Prozess der Elektronenhülle)



Kettenreaktion

Kernspaltung

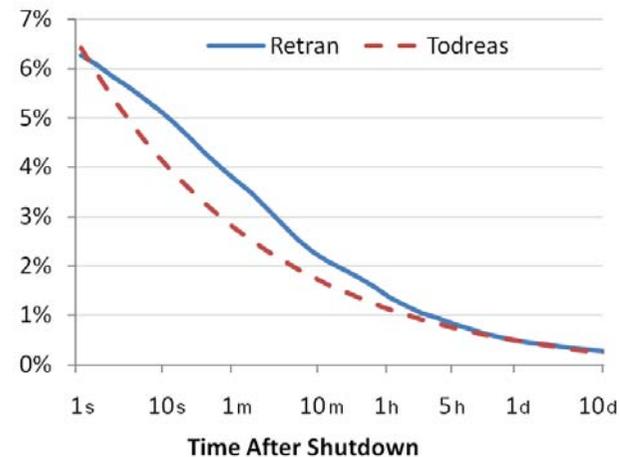
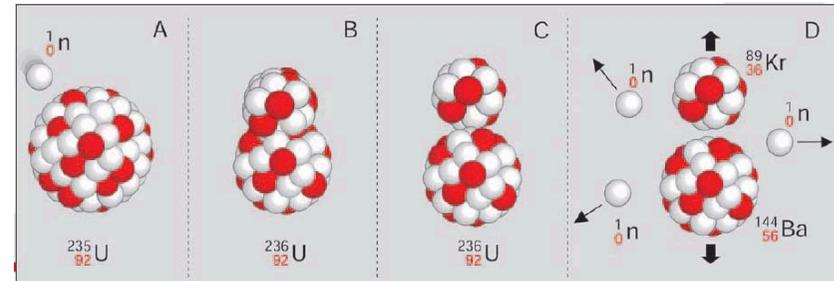
Die Bruchstücke der Kernspaltung haben zu viele Neutronen:

sie sind radioaktiv (Betastrahler)

Es entsteht eine Vielzahl von Spaltprodukten mit unterschiedlichsten Halbwertzeiten (Sekunden bis viele Jahre)

Die von ihnen erzeugte „Zerfallswärme“ trägt mit 5 bis 10% zur Energieerzeugung bei

Sie fällt nach Unterbrechung der Kettenreaktion weiterhin an („Nachzerfallswärme“)



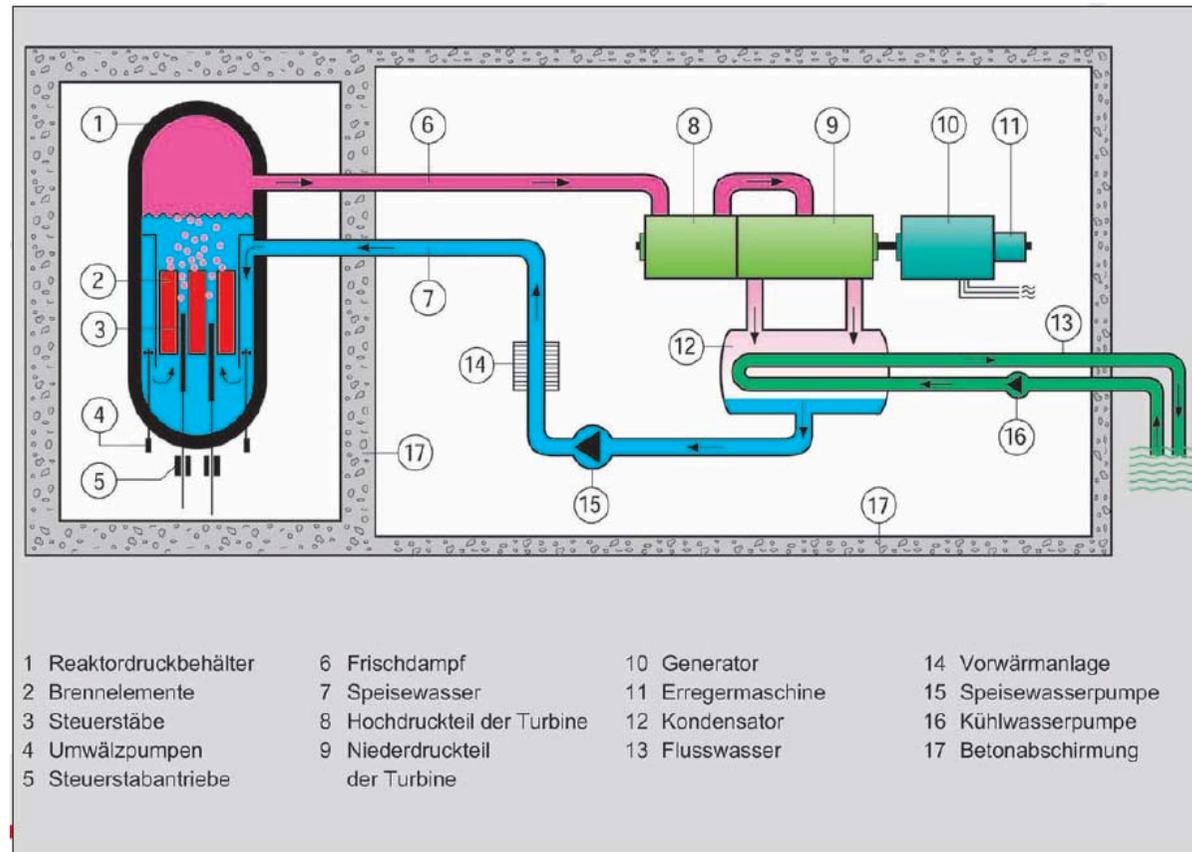
Absinken der Nachzerfallswärme nach Reaktorschnellabschaltung (berechnet, in % der Reaktorleistung) Quelle: Wikipedia

Kernreaktor

Die Kettenreaktion wird durch Steuerstäbe geregelt

Die freigesetzte Energie bringt Wasser zum Sieden

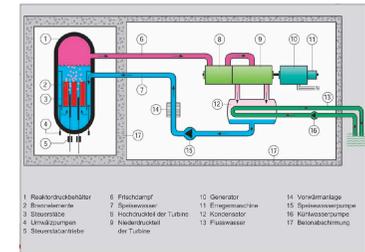
Der erzeugte Dampf treibt eine Turbine an, diese wieder einen Generator



Aufbau eines Siedewasserreaktors (wie Fukushima oder Krümmel)

Kernreaktor

„Kerninventar“ eines großen Reaktors (3700 MW_{th}) nach langer Betriebszeit in Bq, Auswahl wichtiger Isotope (Quelle: SSK) :

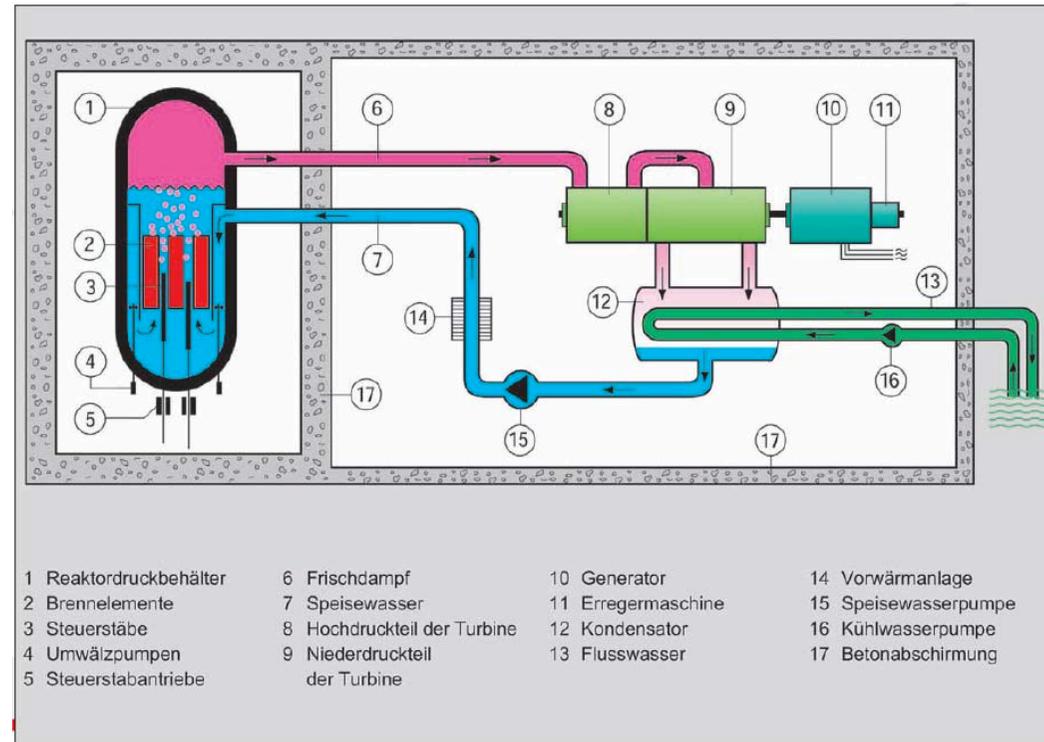


Isotop	Halbwertszeit	sofort	Nach 5 Tagen Abklingzeit
I-131	8 Tage	$3,6 \cdot 10^{18}$	$2,4 \cdot 10^{18}$
I-133	20,8 Std.	$7,6 \cdot 10^{18}$	$1,4 \cdot 10^{17}$
Cs-134	2,06 Jahre	$3,5 \cdot 10^{17}$	$3,5 \cdot 10^{17}$
Cs-136	13,2 Tage	$1,3 \cdot 10^{17}$	$1,0 \cdot 10^{17}$
Cs-137	30,2 Jahre	$3,0 \cdot 10^{17}$	$3,0 \cdot 10^{17}$
Sr-90	28,6 Jahre	$2,2 \cdot 10^{17}$	$2,2 \cdot 10^{17}$
Pu-239	24100 Jahre	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{15}$
Pu-241	14,3 Jahre	$3,2 \cdot 10^{17}$	$3,2 \cdot 10^{17}$
Summe über alle Isotope		$7,9 \cdot 10^{20}$	$1,0 \cdot 10^{20}$

Kernreaktor

Barrieren für für Spaltprodukte zwischen Brennstoff und Umwelt:

- Brennstoffmatrix (Keramik)
- Brennstab-Hüllrohre
- Reaktordruckbehälter
- Sicherheitsbehälter
- Reaktorgebäude



Gefährdung durch Radioaktivität

Alpha-, Beta- und Gamma**strahlung** ist **ionisierend**, d.h. sie verändert Atome oder löst chemische Reaktionen aus. Dadurch kann sie Organismen schädigen

Frühschäden (Beispiele):

Hautrötung, Grauer Star, Strahlenkrankheit, Strahlentod

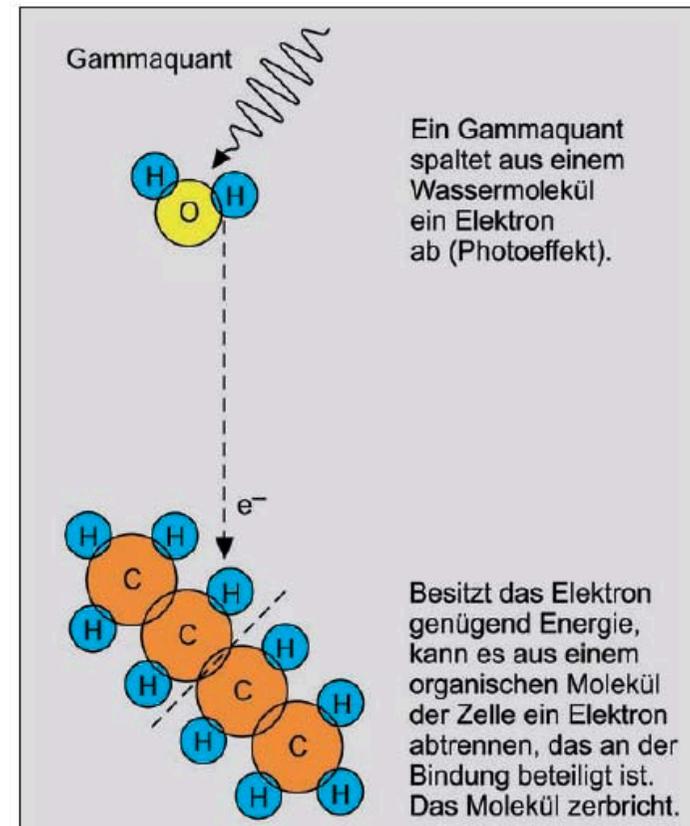
Die **Schwere** steigt mit der Strahlen“menge“
Betroffen: Personal vor Ort

Spätschäden:

Krebs, Erbschäden

Die **Wahrscheinlichkeit** steigt mit der Strahlen“menge“

Betroffen: Personal und Bevölkerung



Beispiel für einen einfachen chemischen Strahlenschaden im Organismus

Gefährdung durch Radioaktivität

Als Maß für die Gefährdung von Organismen wird die absorbierte Strahlungsenergie pro Masse verwendet: „**Energiedosis**“, Einheit: Gray (Gy)

Da die Strahlungsarten unterschiedlich schädlich sind, wird noch mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert: „**Äquivalentdosis**“, Einheit Sievert (Sv).

Für **Beta- und Gammastrahlung** (derzeit in Fukushima maßgeblich) ist der Gewichtungsfaktor 1, also **1 Gy = 1 Sv**. In Mitteilungen, Diagrammen etc. werden beide Einheiten verwendet

Die Intensität eines Strahlungsfelds misst sich in der **Dosis pro Zeiteinheit** oder „**Dosisleistung**“, Einheiten Gy/h, Sv/h („pro Stunde“)

Momentane Messwerte sind also in Gy/h oder Sv/h ausgedrückt. Die **Dosis** ergibt sich zusammen mit der **Dauer** der Bestrahlung

Beispiel: $0,1 \text{ mSv/h} \times 100 \text{ Stunden} = 10 \text{ mSv}$

(alte Einheiten: rad (100rad = 1 Gy), rem (100 rem = 1 Sv))

Gefährdung durch Radioaktivität

Arten der Strahlungseinwirkung:

A: von außen

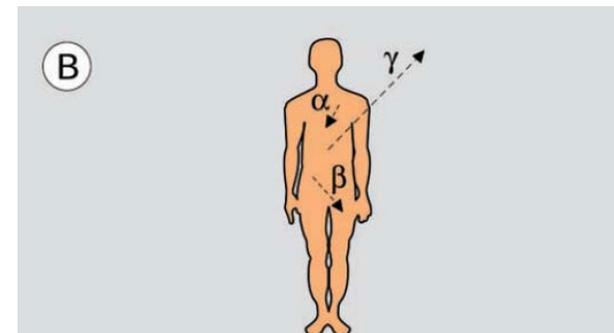
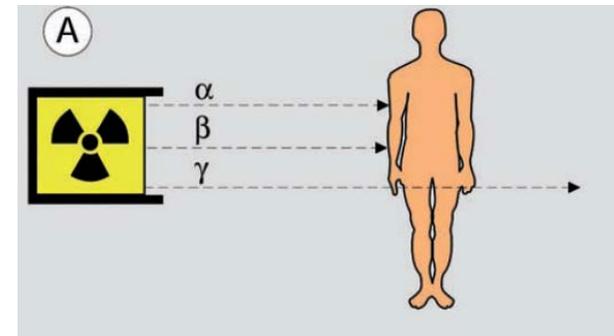
Einflussfaktoren:

- Aktivität
- Nuklideigenschaften
- Abstand
- Zeit

B: von innen

Einflussfaktoren:

- Aktivität
- Nuklideigenschaften
- physikalische/chemische Form, Metabolismus
- Zeit



Gefährdung durch Radioaktivität

Beispiel zum Vergleich: **1 MBq Cs-137**

A: von außen

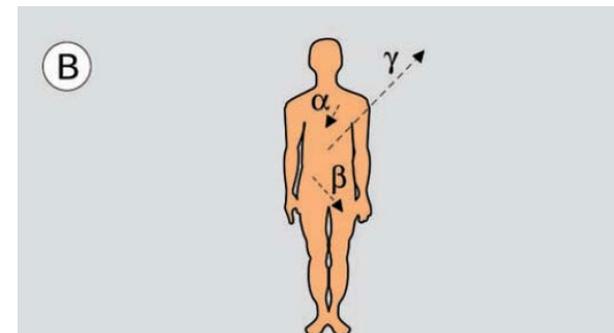
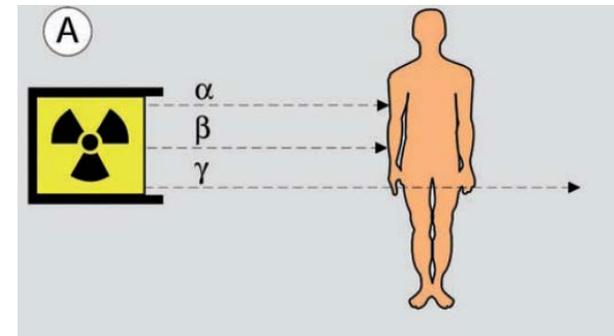
1 Stunde in 1 Meter Abstand

Dosis (ganzer Körper): 0,08 μSv

B: von innen

Aufnahme mit der Nahrung

Dosis (ganzer Körper): 14 mSv



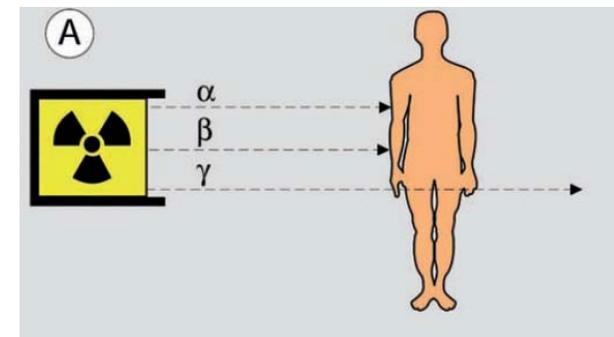
Gefährdung durch Radioaktivität

Beispiel zum Vergleich: 1 MBq I-131

A: von außen

1 Stunde in 1 Meter Abstand

Dosis (ganzer Körper): 0,06 μSv

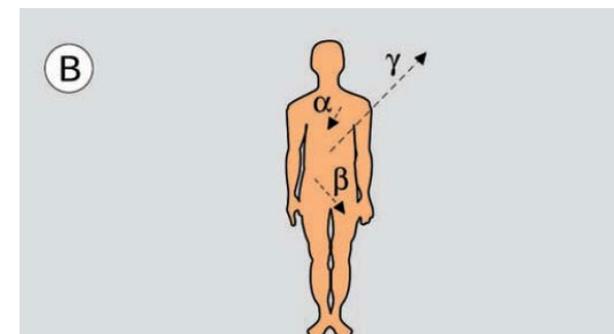


B: von innen

Aufnahme mit der Nahrung

Dosis (Schilddrüse, Erw.): 400 mSv

Dosis (Schilddrüse, Kind): 3000 mSv



Strahlenschutz

Grundsätzliche Aufgaben:

- Verhinderung von Fröhschäden (Strahlentod)
- Minimierung von Spätschäden (Krebs)

Methoden:

wissenschaftlich:

- Erarbeitung von Transport-, Dosis- und Schädigungsmodellen
- Erarbeitung von Handlungsempfehlungen

administrativ:

- Einführung von Grenzwerten (oft durch Risikovergleich)
- Anhand der Grenzwerte Begrenzung von Aufenthaltszeiten, Abgabemengen usw.

Beispiel: die radioaktiven Abgaben aller deutschen AKW dürfen bei keinem Einwohner zu mehr als 1 mSv im Jahr führen

Gefährdung durch Radioaktivität

Dosis, Ursachen und Effekte

Dosis (mSv)	Ursache bzw. Effekt
ab 4000	Strahlentod
ab 1000	Strahlenkrankheit
100	Krebsrisiko um 1 % erhöht
2 - 25	CT-Untersuchung
ca. 2	Jahresdosis aus natürlichen Quellen
1	Krebsrisiko um 0,01 % erhöht
0,14	Aufnahme von 10000 Bq Cs-137
0,01 – 1	Röntgenaufnahme

Gefährdung durch Radioaktivität

Dosisgrenzwerte
(dürfen nicht überschritten werden)

Grenzwert (mSv)	Personengruppe
250 (einmalig)	Einsatzkräfte zur Lebensrettung
100 (pro Jahr)	Einsatzkräfte zur Gefahrenabwehr
15 (pro Jahr)	Einsatzkräfte zum Schutz von Sachwerten
20 (pro Jahr)	beruflich Strahlenexponierte
1 (pro Jahr)	Bevölkerung

Gefährdung durch Radioaktivität

Eingreifrichtwerte im Katastrophenschutz
(als Richtlinien für Maßnahmen)

Richtwert (mSv)	Personengruppe
250 (Schilddrüse)	Erwachsene, Einnahme von Jodtabletten
100 (in 1 Woche)	Bewohner, Evakuierung
100 (in 1 Jahr)	Bewohner, langfristige Umsiedlung
50 (Schilddrüse)	Kinder, Einnahme von Jodtabletten
30 (in 1 Monat)	Bewohner, temporäre Umsiedlung
10 (in 1 Woche)	Bewohner, Verbleiben im Haus

Aktueller Stand Fukushima



Aktueller Stand Fukushima

- Blöcke 1, 2 und 3 zur Zeit des Erdbebens in Betrieb, automatische Schnellabschaltung
- Ausfall der Notstromaggregate durch den Tsunami
- Zerstörungen an Reaktorgebäuden durch Explosionen
- Bevölkerung aus der Umgebung evakuiert
- Behelfskühlung durch Meerwasser
- Zeitweise hohe Strahlungspegel
- Zeitweise Personal evakuiert
- Messwerte lassen auf Kernschäden schließen

Anlagenzustand Fukushima



Noch viele rote Felder – die Anlagen sind immer noch gefährdet

Zustand des Kernkraftwerks in Fukushima Nr. 1 (Daichi) am 31. März 2011 um 14:00 Uhr (MESZ)

Block	I	II	III	IV	V	VI
INES-Bewertung	5	5	5	3	k.A.	k.A.
Zustand Kern und Brennstäbe (Brennelemente im Kern)	beschädigt (400)	beschädigt (548)	beschädigt (548)	keine Brennstäbe im Kern	unbeschädigt (548)	unbeschädigt (764)
Zustand Sicherheitsbehälter	unbeschädigt	Schaden und Leck vermutet	nicht beschädigt	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)	Lüftungslöcher 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	schrittweise steigend / leicht gesunken nach Anstieg über 400°C am 24.03.	unbekannt / stabil	unbekannt	sicher	sicher	sicher
Druck im Sicherheitsbehälter (Containment)	leicht gesunken nach Anstieg auf 0,4 MPa am 24.03	stabil	stabil	sicher	sicher	sicher
Wassereinspeisung in Reaktorkern	wird fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser)	wird fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser)	wird fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser)	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 (Zahl der BE)	unbekannt (292)	unbekannt (587)	Schaden vermutet (514)	evtl. beschädigt (1331)	unbeschädigt (946)	unbeschädigt (876)
Kühlung des Abklingbeckens	Wassereinspeisung hat begonnen (Frischwasser)	Wassereinspeisung wird fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser)	Wasserbesprühung und -einspeisung fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser)	Wasserbesprühung und -einspeisung fortgesetzt (Wechsel von Meer- zu Frischwasser), Wasserstoffexplosion am 15.03.	Abklingbeckenkühlungsfähigkeit wieder hergestellt	Abklingbeckenkühlungsfähigkeit wieder hergestellt
Betreuungs- und Funktionsfähigkeit Hauptkontrollraum	gering wegen Stromausfalls (Beleuchtung funktioniert im Kontrollraum der Blöcke 1 und 2)		gering wegen Stromausfalls (Beleuchtung funktioniert im Kontrollraum von Block 3 und 4)		unbeschädigt (geschätzt)	
Umweltauswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Status auf der Anlage Fukushima-Daiichi: Strahlungswerte: 0,93 mSv/h an der Südseite des Verwaltungsgebäudes, 150 µ Sv/h am Haupttor, 70 µ Sv/h am Westtor am 31.03. um 15:00 Uhr (Ortszeit); Am 27.03.2011 wurden Strahlungswerte über 1000 mSv an der Oberfläche von Wasser in einem Tunnel zur Verlegung von Rohrleitungen außerhalb des Turbinengebäudes von Block 2 gemessen. Am 28.03. wurde Plutonium am Boden des KKW Fukushima Daiichi gemessen. Die Plutoniumkonzentration entspricht jener der normalen Umwelt, in etwa den in Japan zur Zeit oberirdischer Kernwaffentests gemessenen Werte und ist unschädlich für den menschlichen Körper. Meerwasserproben vom Küstenwasser in der Umgebung der Anlage mit Nachweise radioaktiven Materials oberhalb regulärer Grenzwerte werden seit dem 21.03.2011 gefunden. Um den Faktor 4,385 erhöhte Werte radioaktiven Jods I-131 wurde am 30.03.2011 gemessen. • Einflüsse auf die Allgemeinheit: Radionuklide wurden in der Milch sowie in anderen landwirtschaftlichen Produkten aus Fukushima und den Nachbarpräfekturen gemessen. Die Regierung hat die Begrenzung von Vertrieb (21.03.) und Konsum (23.03.) bestimmter Produkte einiger Gebiete verfügt. In einigen Präfekturen wurde radioaktives Jod oberhalb der vorläufigen gesetzlichen Grenzwerte im Leitungswasser vom 21.-27.03. gemessen. Es wurde geraten in diesen Regionen das Leitungswasser nicht zu trinken. Dieser Rat wurde bis auf vier Städte und Dörfer in der Region Fukushima am 28.03. aufgehoben. 					
Evakuierungszone	20 km um Kernkraftwerk (12.3.2011); *Menschen, die zwischen 20 und 30 km von KKW Fukushima 1 Daiichi entfernt leben, müssen im Haus bleiben (15.03.2011) bzw. sollten erwägen, fortzugehen (25.03.2011).					

Quelle: Governmental Emergency Headquarters: News release (-/3/31 15:00); Pressekonferenz; Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA): News release (-/3/31 15:00), Pressekonferenz; TEPCO: Pressemitteilung (-/3/31 15:00), 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.



Landesmessstelle für Radioaktivität



Anlagenzustand Fukushima

Aktuelle Anlagenprobleme:

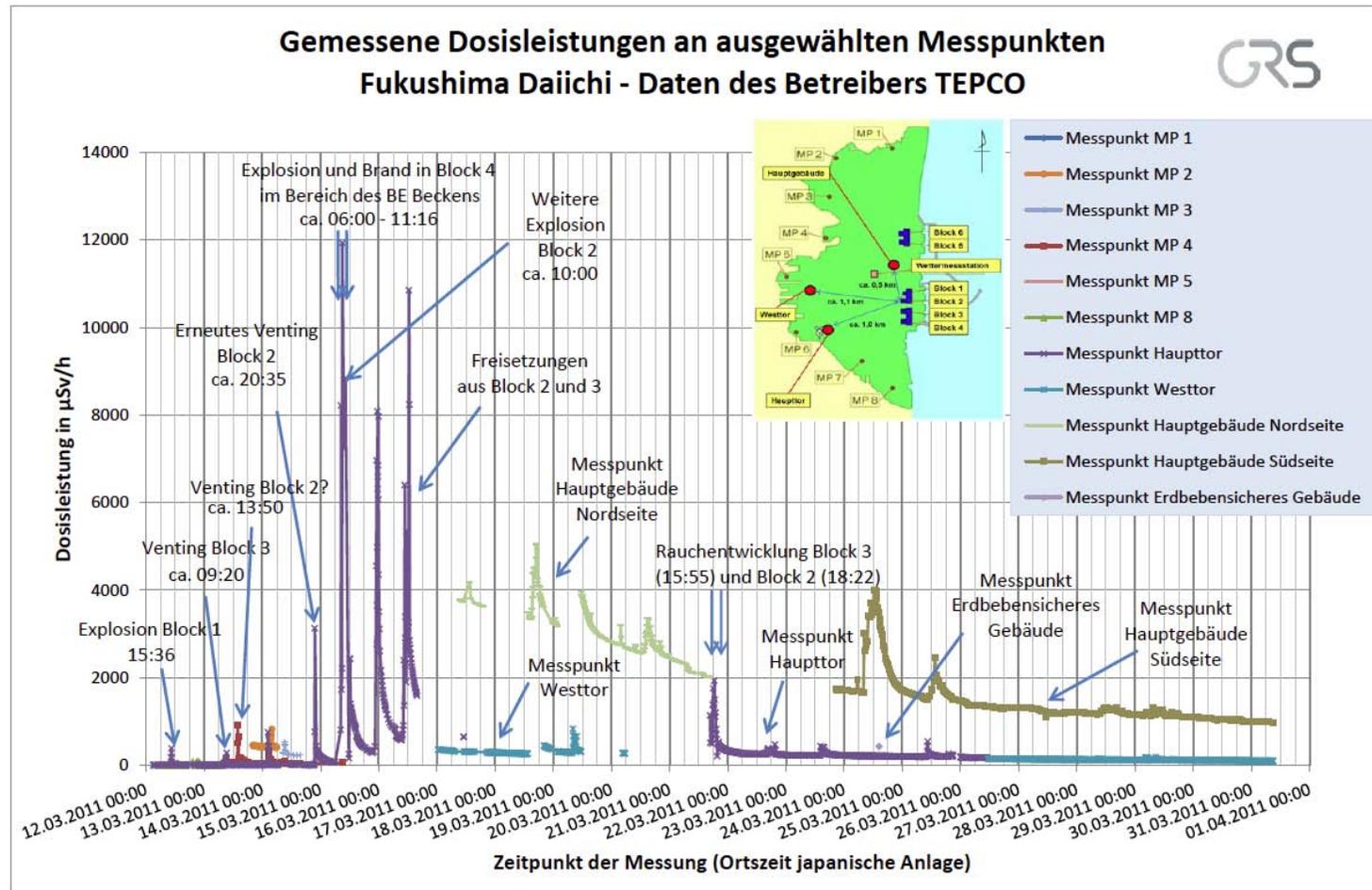
- Block 2: große Mengen hochaktiven Wassers behindern die Arbeiten; das Wasser stammt vermutlich aus dem Primärkreislauf (dann also Leckage!)
- Nicht genügend Behälterkapazität um kontaminiertes Wasser abzupumpen
- Plutonium gefunden (in sehr kleinen Mengen): Hinweis auf sehr hohe Temperaturen

Dosisleistungswerte Fukushima (GRS)

Messwerte von Stationen auf dem Kraftwerksgelände

Die Form der „Spitzen“ legt nahe, dass kurzlebige radioaktive Stoffe abgelagert wurden und dort weiter zerfallen sind

Die neuesten Werte (obere Kurve) deuten auf etwas langlebigere Isotope hin



Dosisleistungswerte Umgebung (NNSA)

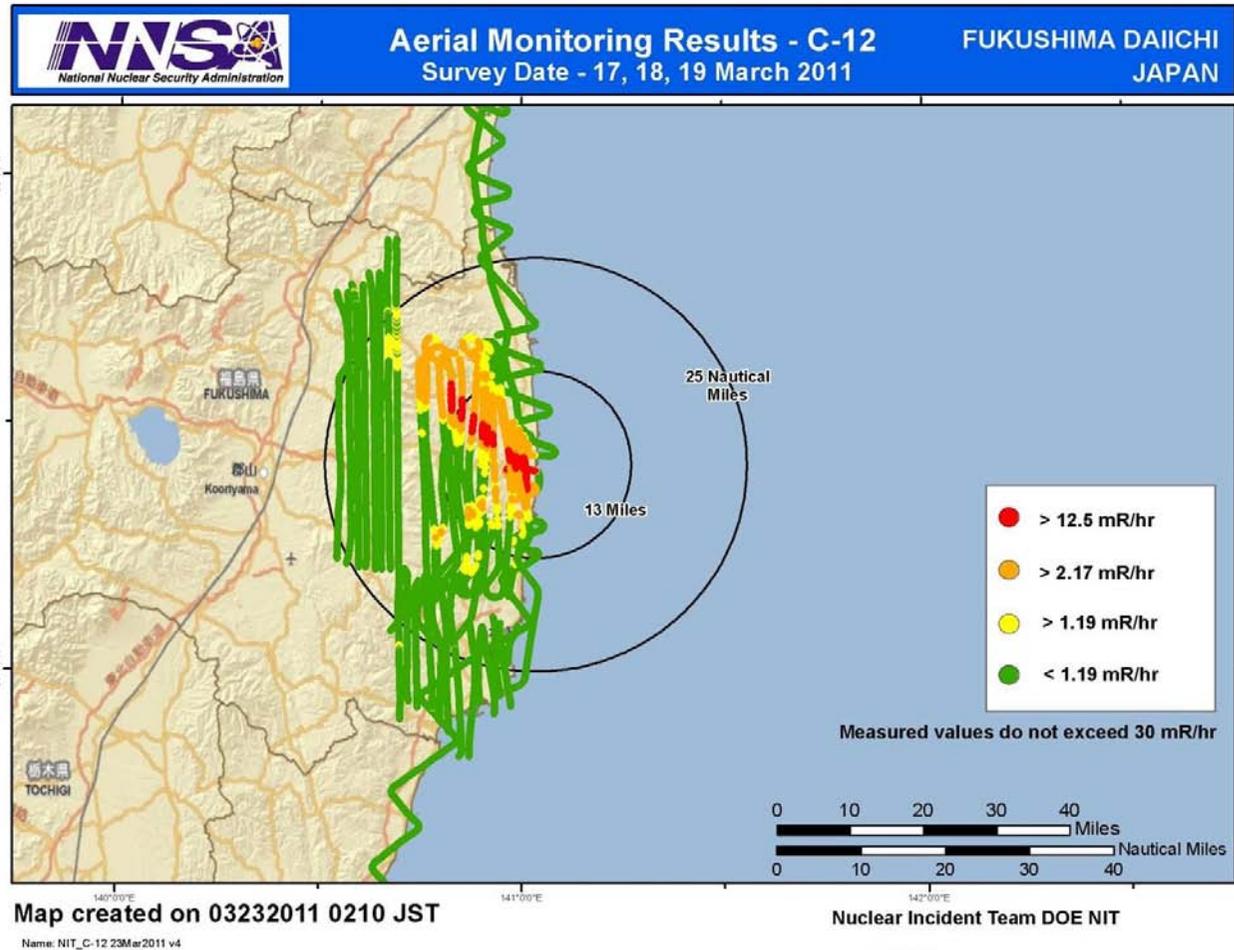
Werte aus Messungen vom Hubschrauber aus (USA), ca. 1 Woche nach dem Erdbeben

12,5 mR/h = ca. 100 μ Sv/h
13 nautical miles = ca. 24 km

Diese Dosisleistung bedingt eine Flächenbelegung von einigen 10 MBq/m² (Nuklidgemisch)

Somit haben sich allein auf der roten Fläche (ca. 30 x 3 km) einige 10¹⁵ Bq abgelagert; Kerninventar zu der Zeit vermutlich einige 10¹⁹ Bq

=> erhebliche Freisetzung



Dosisleistungswerte Umgebung (NNSA)

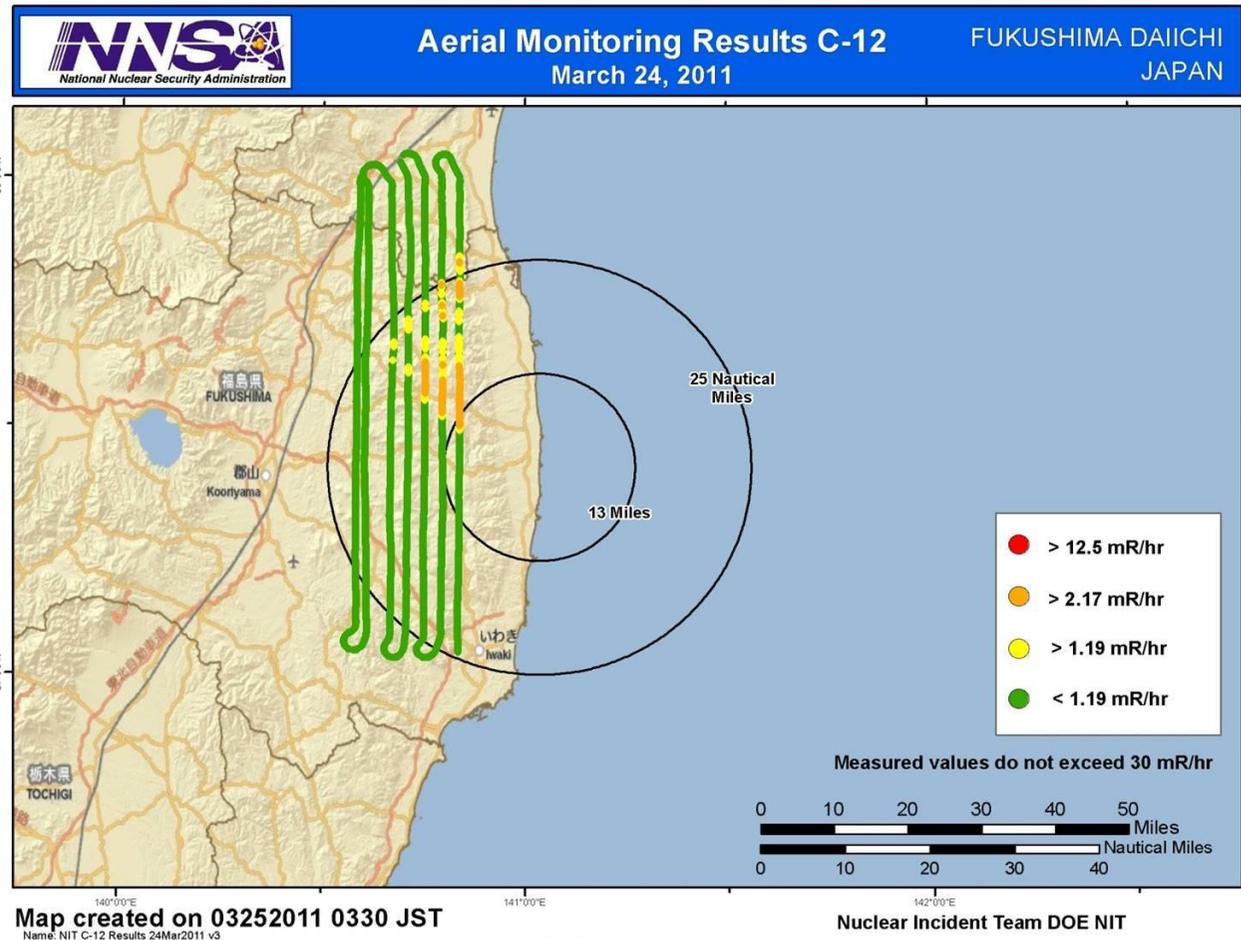
Wiederholung der Messungen eine Woche später zeigt ähnliche, etwas niedrigere Werte (plausibel wegen Zerfalls der kurzlebigen Isotope)

Deutsche Eingreifrichtwerte für dauerhafte Umsiedlung (100 mSv in 1 Jahr) wären möglicherweise überschritten

Bestätigung durch Bodenmessungen in 25 bis 58 km Entfernung (Quelle: IAEA):

I-131: 0,2 bis 25 MBq/m²

Cs-137: 0,02 bis 3.7 MBq/m²

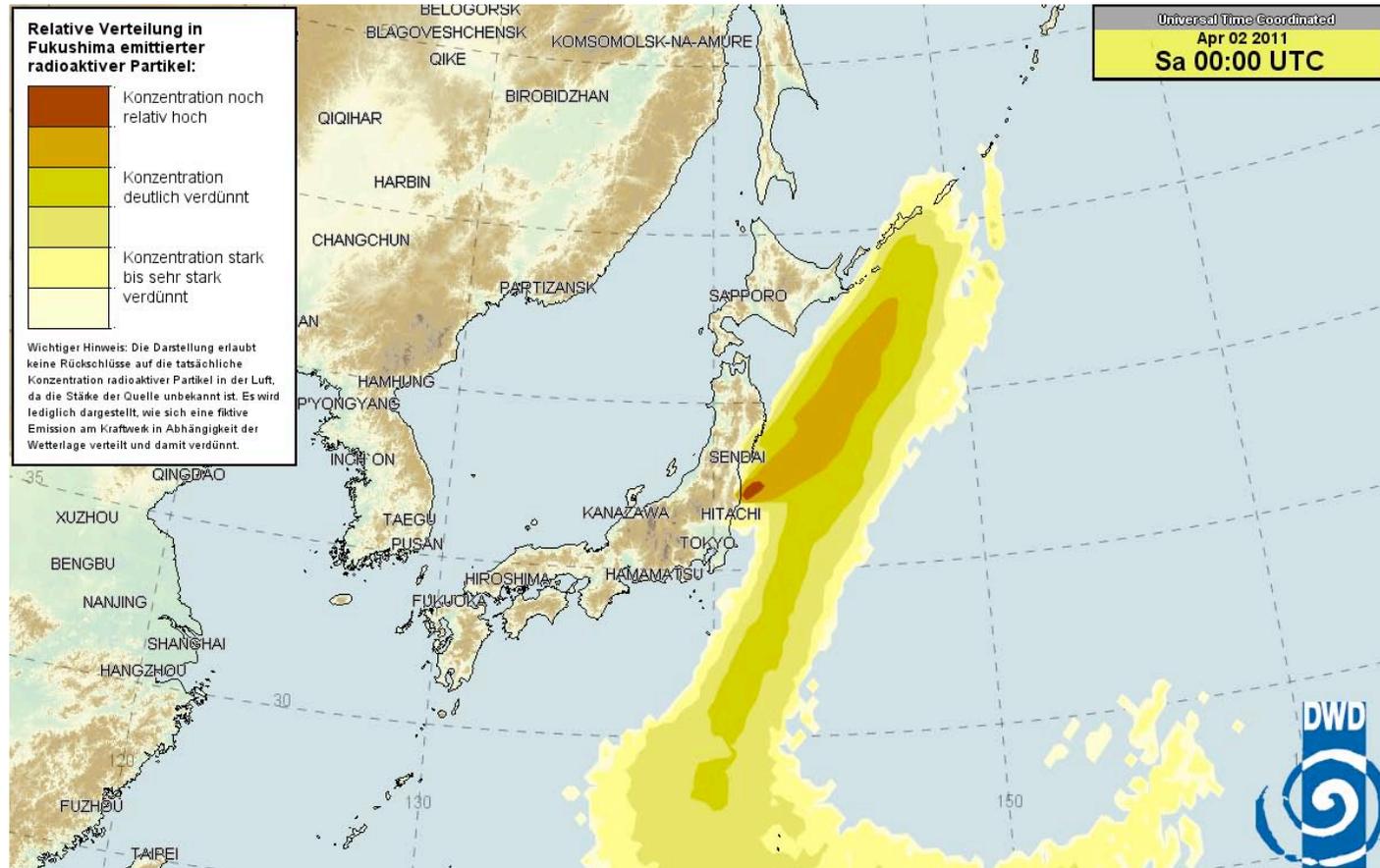


Regionale Auswirkungen

- Wetterbedingungen vergleichsweise günstig: meist Wind Richtung See, meist trockenes Wetter (Regen verstärkt die Ablagerung)
- Dann: Zerfall kurzlebiger Spaltprodukte über oder im Pazifik; Verdünnung langlebiger Spaltprodukte
- Andernfalls vermutlich Auswirkungen ähnlich wie Tschernobyl (unbewohnbare Zone, Gesundheitsfolgen abhängig von Verlauf und Gegenmaßnahmen)

Regionale Auswirkungen: Wetter

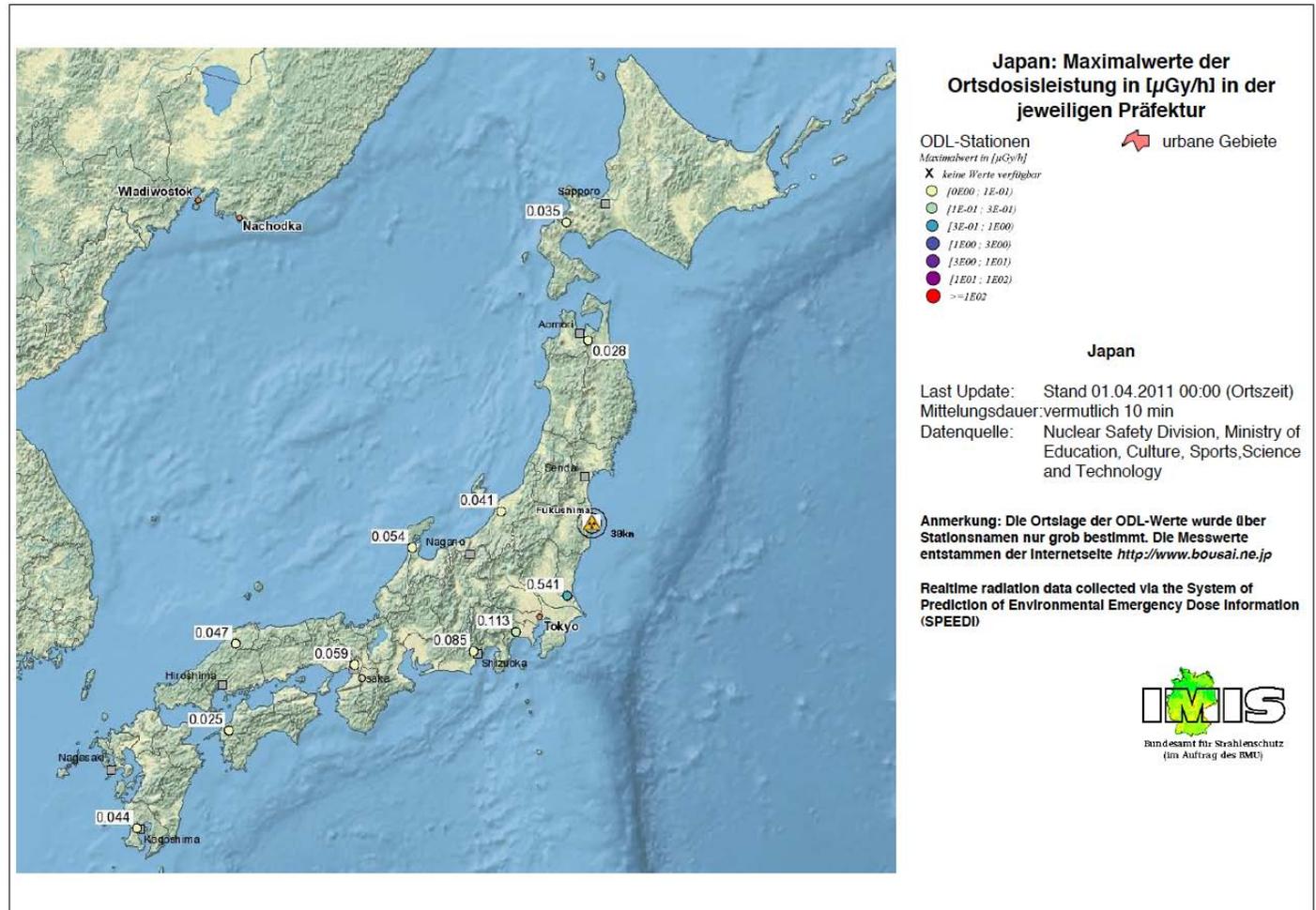
DWD-Prognose für die nächsten 48 Stunden



Regionale Auswirkungen: Dosisleistung

Erhöhte Werte an der Ostküste südlich Fukushima

Ansonsten normale Werte (durch kosmische Strahlung und Bodenstrahlung)

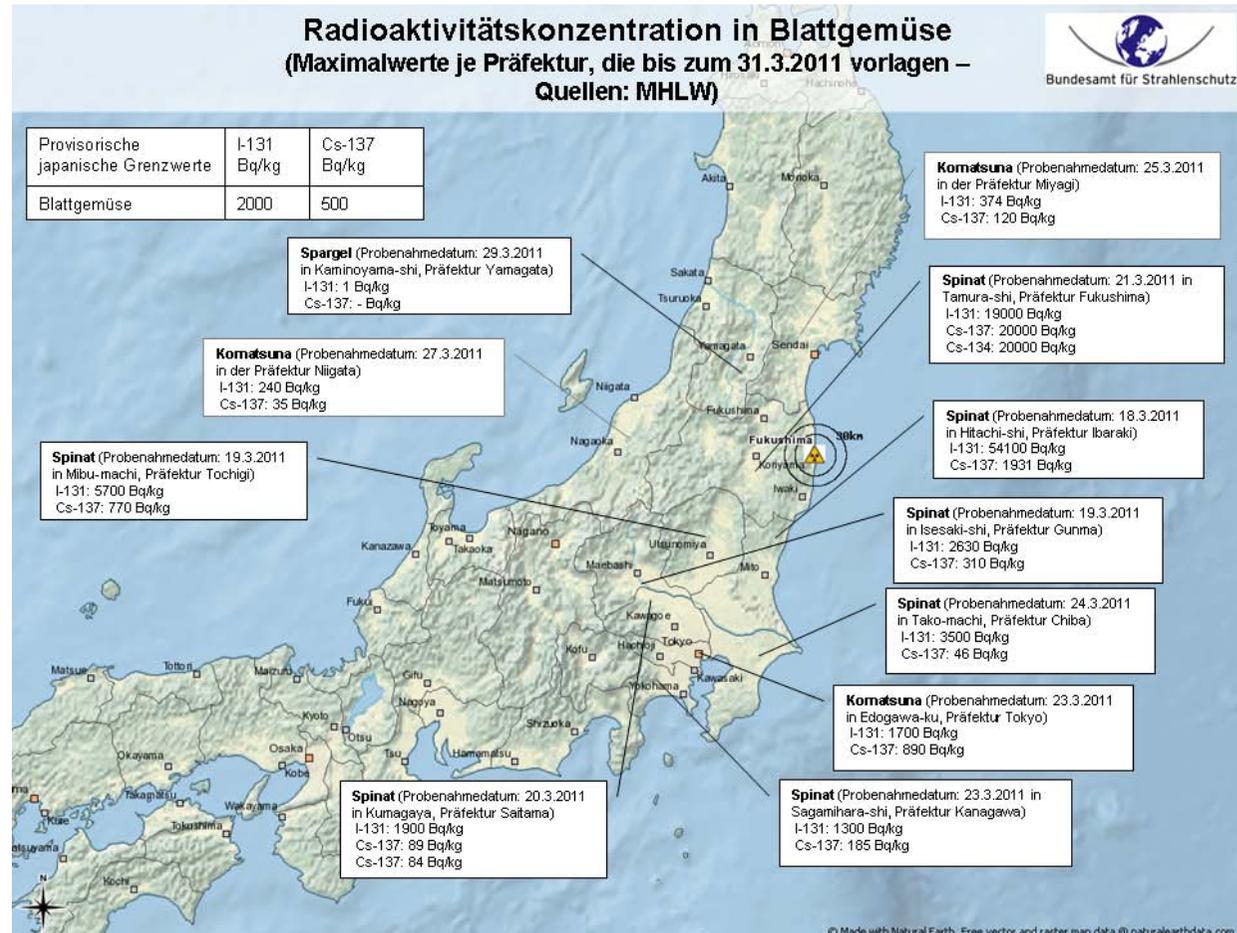


Regionale Auswirkungen: Blattgemüse

Blattgemüse wird durch Ablagerung aus der Luft kontaminiert und stellt das am höchsten belastete Lebensmittel dar (ähnlich wie 1986 durch Tschernobyl)

Die Karte zeigt bisherige Maximalwerte!

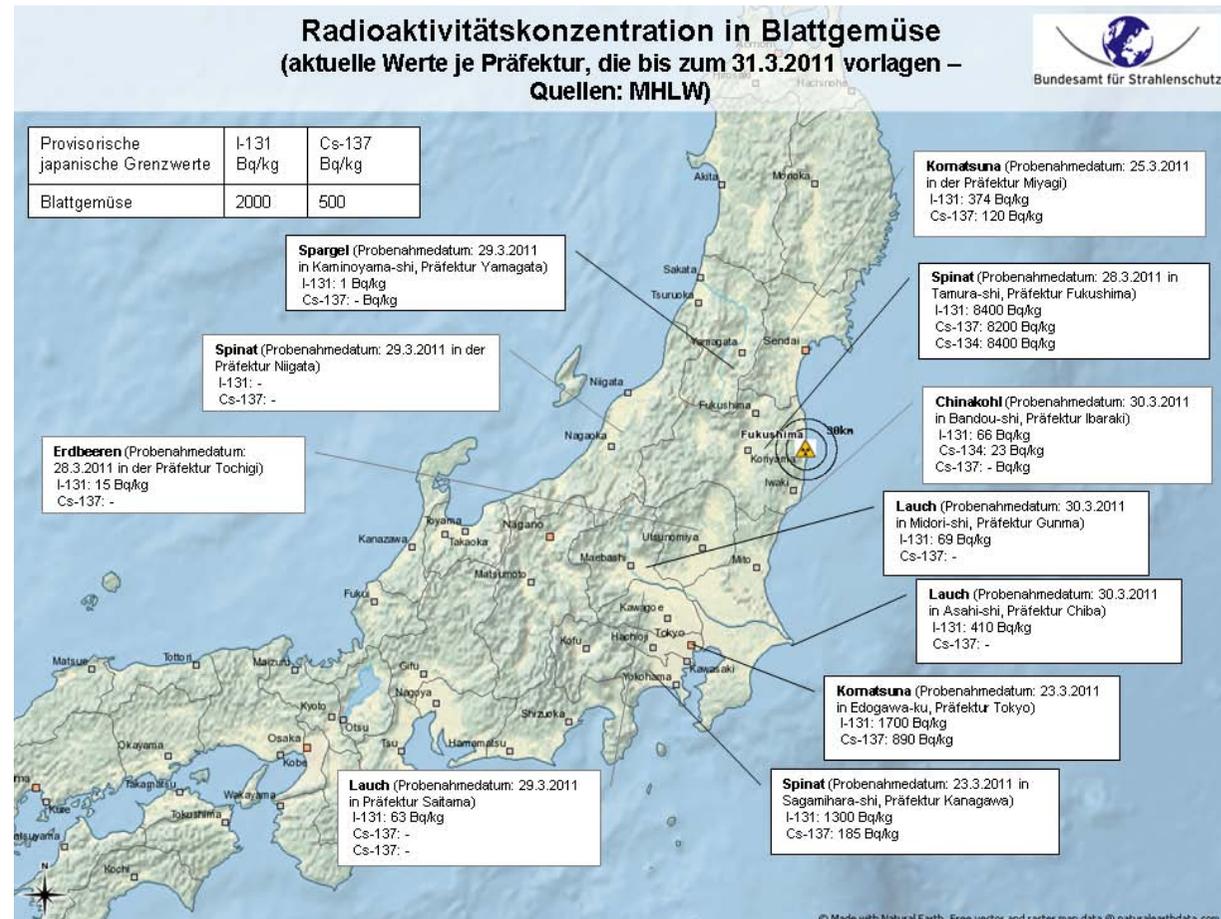
51000 Bq/kg I-131
20000 Bq/kg Cs-137



Regionale Auswirkungen: Blattgemüse

Blattgemüse wird durch Ablagerung aus der Luft kontaminiert und stellt das am höchsten belastete Lebensmittel dar (ähnlich wie 1986 durch Tschernobyl)

Aktuelle Werte variieren zwischen einigen und einigen 1000 Bq/kg

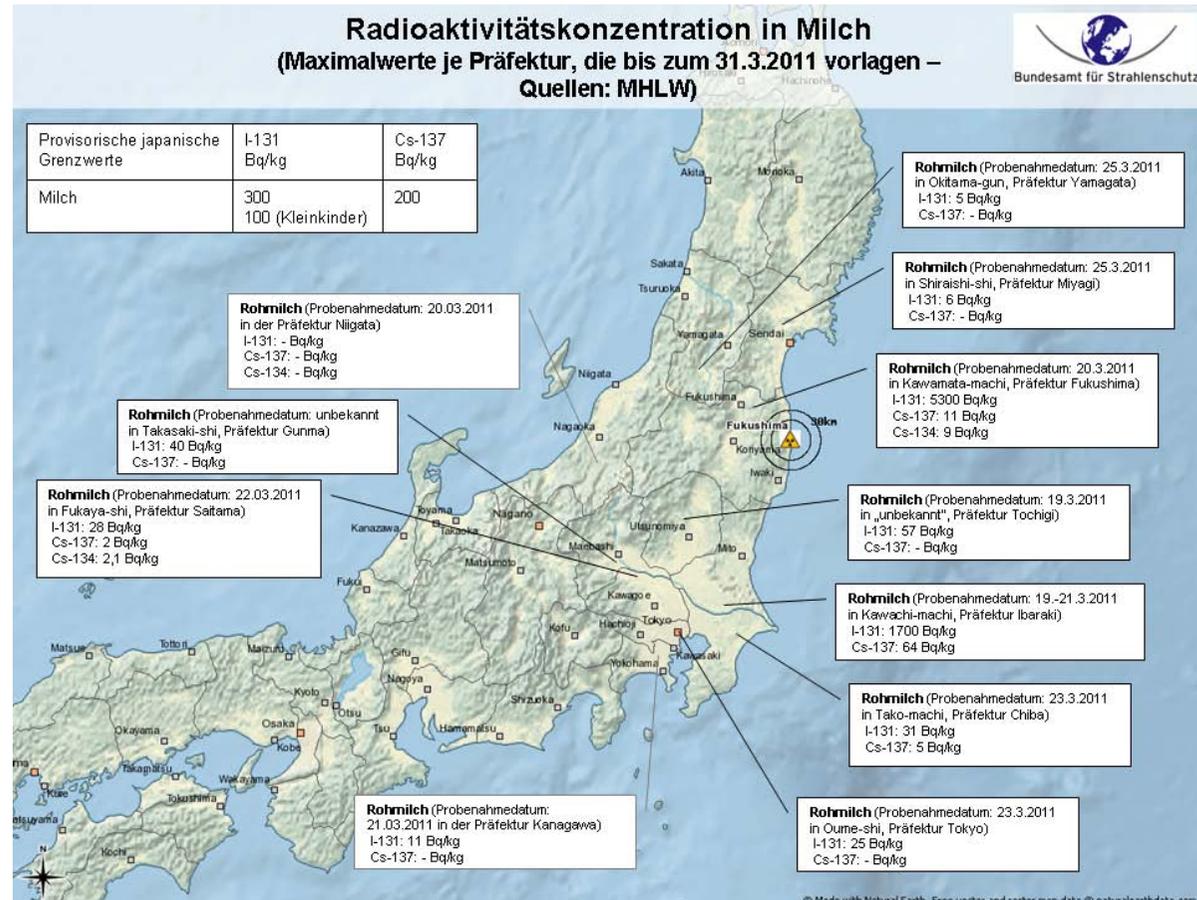


Regionale Auswirkungen: Milch

Milch wird über das kontaminierte Tierfutter belastet

Die Karte zeigt bisherige Maximalwerte!

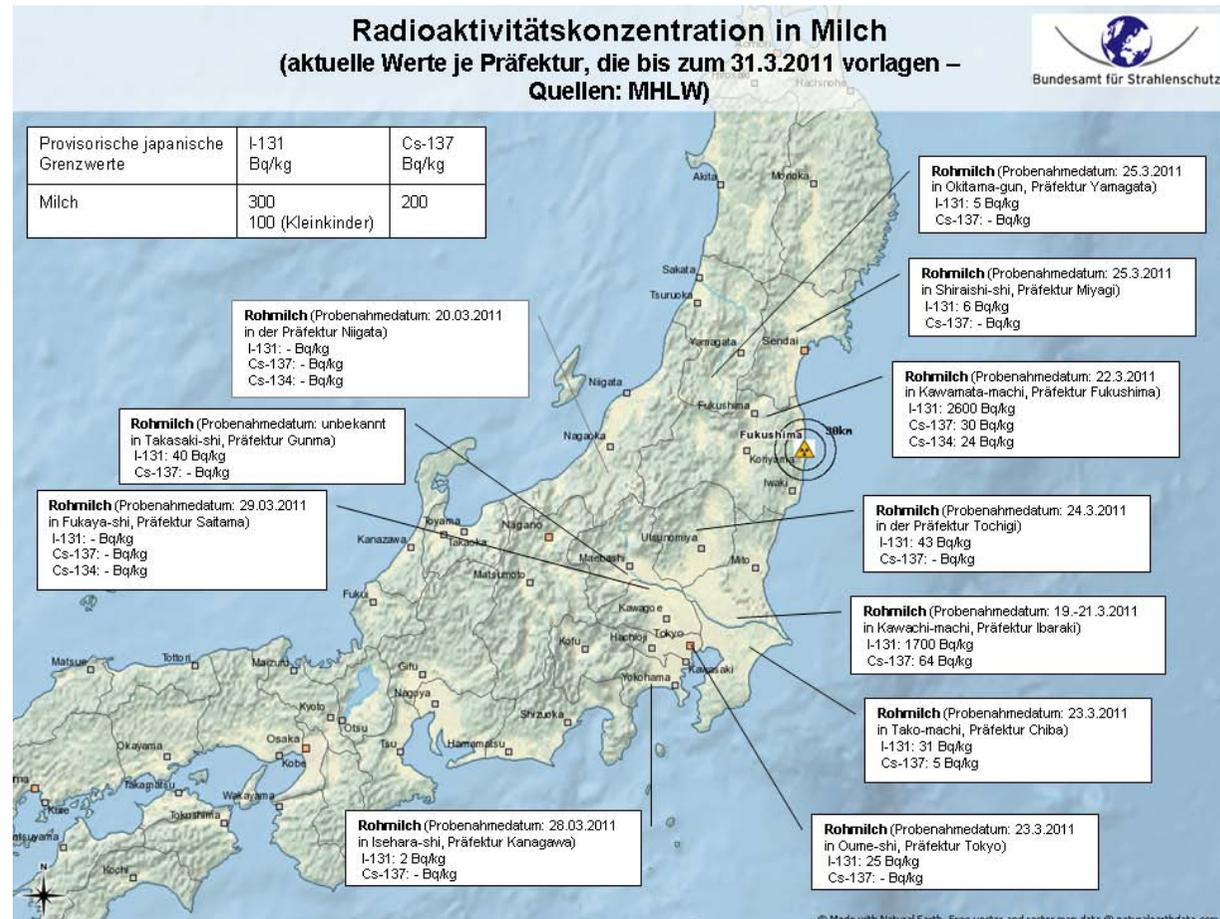
5300 Bq/l I-131
64 Bq/l Cs-137



Regionale Auswirkungen: Milch

Milch wird über das kontaminierte Tierfutter belastet

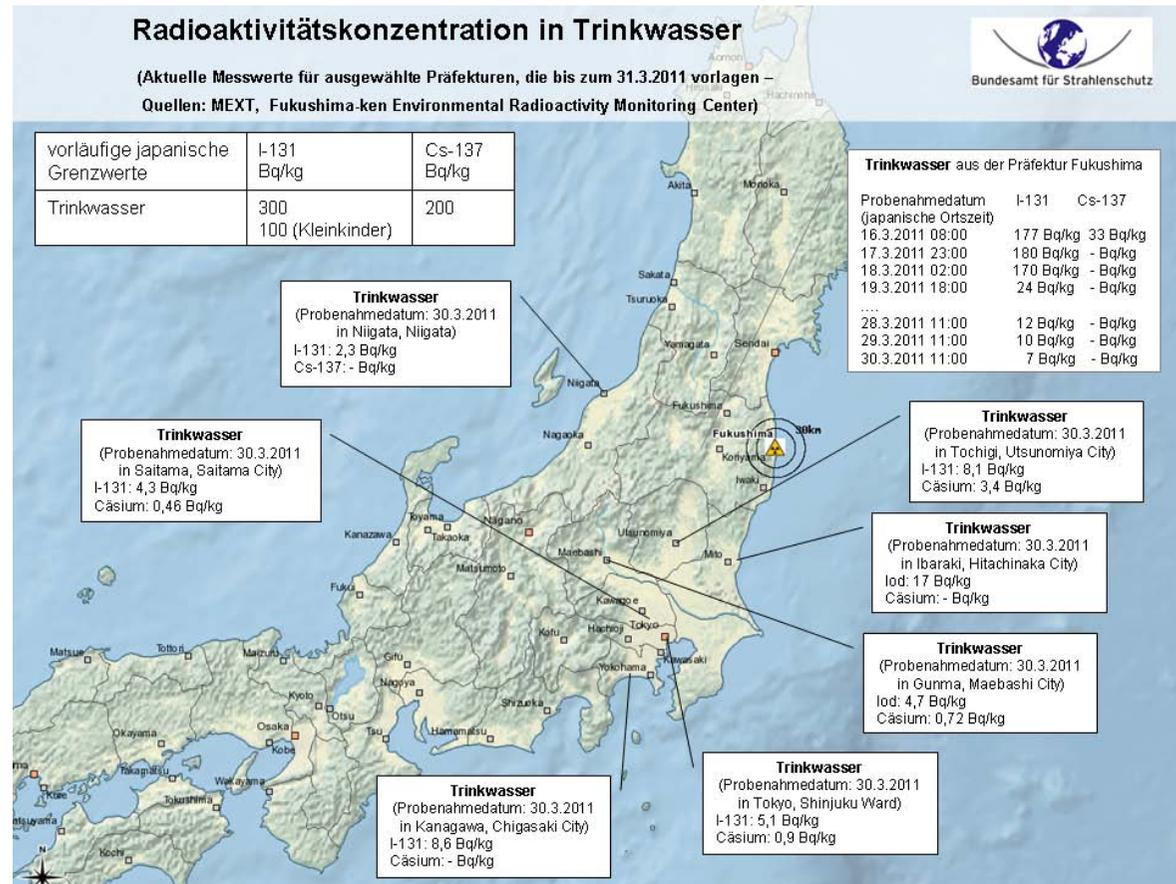
Aktuelle Werte liegen etwas niedriger



Regionale Auswirkungen: Trinkwasser

Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser führt zur Kontamination

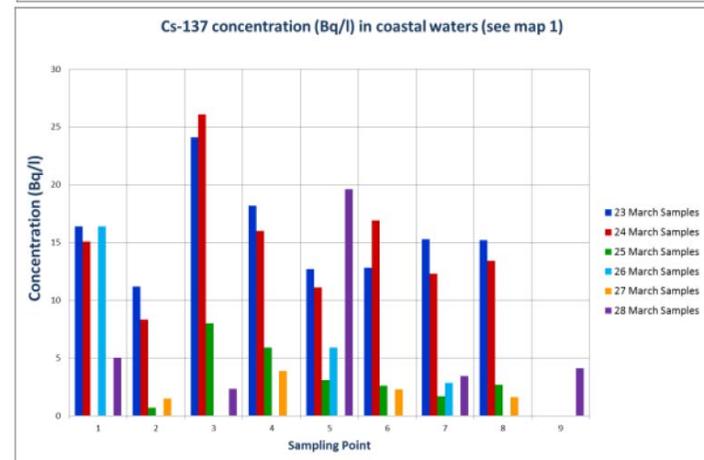
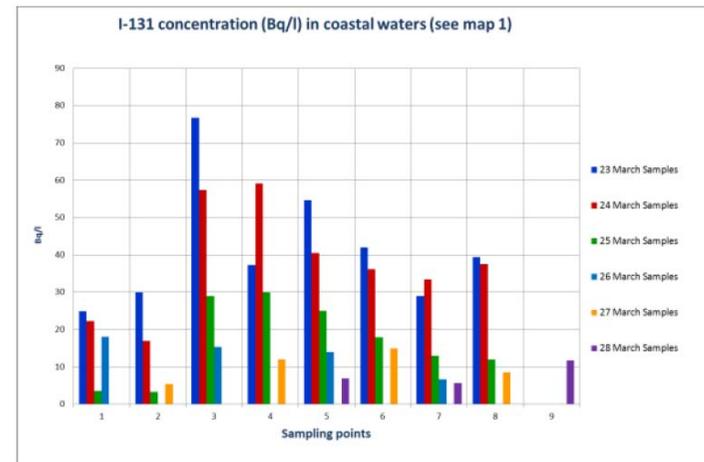
Aktuelle Werte reichen bis 177 Bq/l I-131 in Reaktornähe, Cs-137 liegt deutlich niedriger



Regionale Auswirkungen: Meerwasser

Das Meerwasser zeigt deutliche Kontamination, durch die starke Verdünnung ist sie im Vergleich zum Festland sehr gering

Bisher keine Meldungen über Kontamination von Fisch



Quelle: IAEA

Auswirkungen in Europa

- Aufgrund großer Entfernung lange Transportzeit, daher kurzlebige Isotope teilweise zerfallen
- Sehr starke Verdünnung
- Spurenmessungen in der Atmosphäre seit einer Woche positiv (bis 1 mBq/m^3 in der Atmosphäre)
- Eventuell Kontamination bei Flugzeugen, Passagieren, Schiffen, Importwaren
- Keine Jodtabletten!
- Kuriose Situation: Grenzwerte in Japan derzeit niedriger als in der EU

Quellennachweis, Links:

Allgemeinverständliche, gut aufbereitete Informationen:

- Bundesamt für Strahlenschutz www.bfs.de
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit www.bmu.de

Messdaten, technische Informationen:

- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit www.grs.de
- Karlsruhe Institut für Technologie www.kit.de

Landesmessstelle/IUP Bremen www.radioaktivitaet.uni-bremen.de

Verwendete Grafiken: Informationskreis Kernenergie www.kernenergie.de