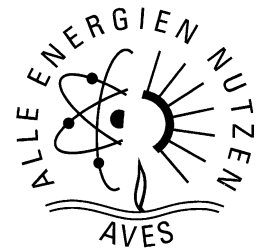


# AVES Pfannenstil

Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES)  
Regionalgruppe Pfannenstil  
c/o Dr. Hans R. Moning AG, Gotthardstrasse 10, 8800 Thalwil  
Postkonto 80-10120-3  
www.aves-zh.ch



---

BULLETIN Nr. 64

Juni 2011

---

## Der energiepolitische Tsunami nach Fukushima

Liebe Leserin, lieber Leser

Fast will es scheinen, dass die AVES mit ihrem Engagement für eine vernünftige Energiepolitik heute auf verlorenem Posten steht. Ein energiepolitischer Tsunami überrollt das Land – getrieben von Emotionen und begleitet von atemraubend schnellen, wahltaktisch motivierten, Wechsels von "Überzeugungen" und akrobatischen Verrenkungen beim Versuch, diese zu rechtfertigen. Unser Anspruch ist nach wie vor, dass alle energiepolitischen Optionen sachlich, vorurteilslos und fundiert zu prüfen sind, bevor Entscheide von enormer Tragweite für unser Land gefällt werden. Leider setzt dies eine anforderungsreiche und zeitaufwendige Beschäftigung mit einer komplexen Materie voraus. Eine gewissenhafte Auseinandersetzung scheint jedoch kaum mehr in die heutige Zeit zu passen. In eine Zeit, in der die Gesellschaft und insbesondere die Medien und die Politik durch eine oberflächliche, auf kurzfristige Effekthascherei ausgerichtete Haltung geprägt sind.

Denjenigen, die entgegen dem aktuellen Mainstream, an einer fundierten, rationalen energiepolitischen Auseinandersetzung interessiert sind, dürfte der auf Sachverstand beruhende Beitrag "Die Nuklearkatastrophe von Fukushima" von Arthur Ruh im vorliegenden Bulletin eine wertvolle Orientierungshilfe sein. Arthur Ruh hat in einer aufwendigen Recherche Fakten zusammengetragen, erklärt und miteinander in Beziehung gesetzt. Als Fundgrube für Argumente in der energiepolitischen Diskussion seien unter anderem die Abschnitte "Fazit" und "Fukushima I im Vergleich zu schweizerischen und deutschen Kernkraftwerken" sowie "Mängel in der Auslegung und beim Betrieb des Kernkraftwerks Fukushima I" hervorgehoben. Letzterer relativiert eindrücklich die Stichhaltigkeit des oft gehörten Arguments, im Gegensatz zur Nuklearkatastrophe von Tschernobyl habe sich diejenige von Fukushima in einem perfekt organisierten Hightech-Land ereignet. An Stoff zum Nachdenken und um sich ein eigenständiges Urteil zu bilden, mangelt es auf den folgenden Seiten nicht.

AVES Regionalgruppe Pfannenstil

Hans R. Moning

## Inhalt

Die Nuklearkatastrophe von Fukushima

Seite 2

# Die Nuklearkatastrophe von Fukushima

Dr. Arthur Ruh, dipl. Physiker ETH

**Im Rahmen dieses Bulletins können die sehr komplexen Abläufe des Unfalls und seiner Folgen nur sehr summarisch dargestellt werden. Für detaillierte Informationen muss auf die Literatur verwiesen werden.**

## Das Erdbeben

Am 11. März 2011 um 14:46:23 Uhr Ortszeit, also 6:46:23 MEZ (mitteleuropäische Zeit), ereignete sich vor der Küste der japanischen Region Tohoku ein sehr starkes Erdbeben. Nach Angaben des United States Geological Survey (USGS) und der Japan Meteorological Agency (JMA) hatte es die Stärke  $9.0 M_W$ <sup>1</sup>. Das Hypozentrum lag nach USGS in 32 km Tiefe, nach JMA in 24 km Tiefe. Die Position des Epizentrums lag etwa 370 km nordöstlich von Tokio und 130 km östlich von Sendai auf  $38^{\circ}19'19''$  nördlicher Breite und  $142^{\circ}22'8''$  östlicher Länge<sup>2</sup>. In der Stadt Kurihara erreichte das Beben eine maximale Intensität von 7 auf der JMA-Skala<sup>3</sup>. Dem Hauptbeben folgte eine ganze Anzahl Nachbeben; das stärkste mit einer Magnitude von  $7.9 M_W$  ereignete sich um 15:15 Uhr Ortszeit. Bis zum 19. April wurden 423 Nachbeben mit einer Stärke von 5.0 oder mehr gemessen.



## Der Tsunami

Das Erdbeben löste einen Tsunami aus, der in Japan eine Fläche von 470 Quadratkilometer überflutete. Die Flutwelle war an den Küsten vor Sendai und Sanriku bis zu 10 m hoch und erreichte in Minamisanriku eine Höhe von 16 m. Sie verwüstete auf einer Länge von Hunderten von Kilometern einen Küstenstreifen von bis zu 10 km Breite. Die Städte Minamisanriku und Rikuentakata wurden fast vollständig zerstört. In Sendai wurde der Flughafen überflutet. In Kesenuma brachen Brände aus, die grosse Teile der Stadt zerstörten. Vier Eisenbahnzüge galten als vermisst.

<sup>1</sup> Momenten-Magnitude. Siehe Anhang.

<sup>2</sup> Je nach Quelle variieren die Koordinaten ein wenig.

<sup>3</sup> Intensitätsskala der Japan Meteorological Agency. 7 ist die höchste Intensität auf dieser Skala. Siehe Anhang.

## Opfer

Bis zum 21. April wurden über 14'000 Todesopfer gemeldet und über 13'000 Personen galten als vermisst. Am 13. März wurde von rund einer halben Million Menschen berichtet, die evakuiert wurden oder fliehen konnten. Diese wurden in Massenunterkünften untergebracht, in denen dann (verständlicherweise) zeitweise Wasser- und Nahrungsmittel-Mangel herrschte.

Bemerkenswerterweise trat in den schweizerischen und in den deutschen Medien die Berichterstattung über diese riesige Katastrophe gegenüber den hektischen Meldungen über eine möglicherweise unmittelbar bevorstehende „Atomkatastrophe“ völlig in den Hintergrund.

## Das Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi

Das Kernkraftwerk Fukushima I oder Fukushima-Daiichi besteht aus 6 Siedewasserreaktoren mit einer totalen elektrischen Nettoleistung von 4546 MW. Der Reaktor 1 hat eine elektrische Nettoleistung von 439 MW, die Reaktoren 2 bis 5 haben je 760 MW und Reaktor 6 liefert 1067 MW. Reaktor 1 wurde 1971 in Betrieb genommen, die Reaktoren 2 und 3 in den Jahren 1973 und 1974 und die Reaktoren 4 bis 6 in den Jahren 1978 und 1979. Der Reaktor 1 gehört mit Mihama 1 und Tsuruga 1 zu den ältesten noch in Betrieb stehenden Reaktoren Japans.

Das Kraftwerksgelände ist mit einer 5.7 m hohen Schutzmauer gegen Flutwellen geschützt. Die vier dicht nebeneinander stehenden Blöcke 1 bis 4 liegen 10 m über dem Meeresspiegel; die neueren Blöcke 5 und 6 dagegen 13 m.

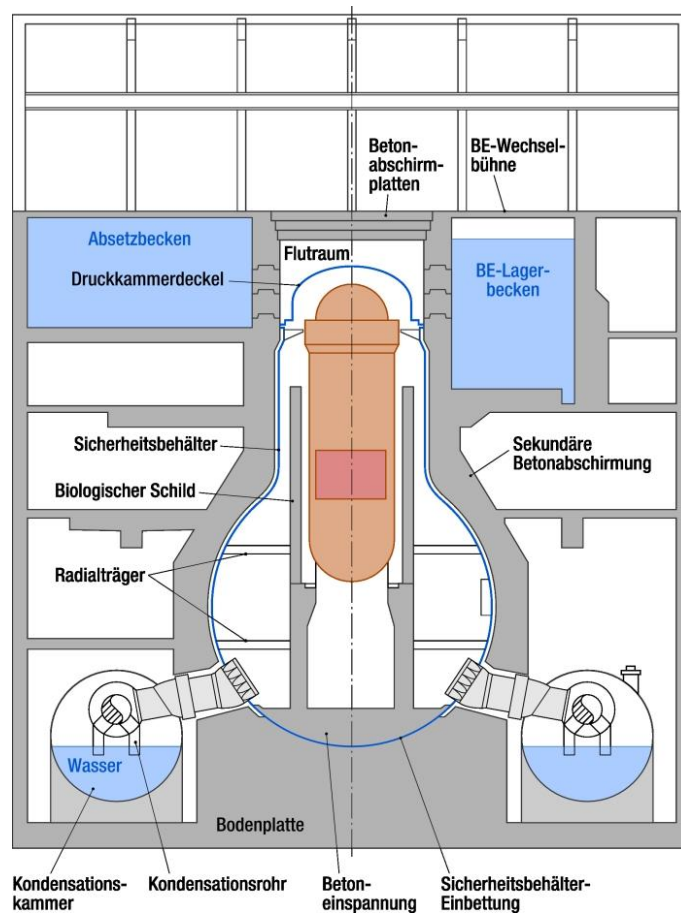


Archivbild: The Tokyo Electric Power Company

Im Vordergrund sind die Reaktorblöcke 1 bis 4 und rechts davon die Reaktorblöcke 5 und 6

Ein Reaktorblock besteht aus dem Reaktorgebäude, in dem sich das Containment befindet, einem Turbinengebäude und weiteren Hilfsanlagen für den Zu- und Abfluss des Kühlwassers, das dem Meer entnommen und in das Meer zurückgeleitet wird.

Der Sicherheitsbehälter (Containment, Drywell) umschließt den Reaktordruckbehälter. Im Fall eines Lecks strömt der Dampf in das Containment und von dort in das Wasser der torusförmigen Kondensationskammer (Wetwell), wodurch infolge der Kondensation des Dampfes der Druck reduziert wird. Bei einer gewollten Druckentlastung des Reaktordruckbehälters strömt Dampf über eine Leitung direkt in das Wasser der Kondensationskammer. Neben dem Sicherheitsbehälter befindet sich das Brennelement-Lagerbecken, das auch Abklingbecken genannt wird.



Querschnitt durch das Reaktorgebäude

Quelle: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), [www.grs.de](http://www.grs.de)

Im Turbinengebäude befinden sich die Turbinen und die Generatoren zur Stromerzeugung und zudem im Untergeschoss die Notstrom-Dieselmotoren. Diese relativ schwach geschützte Lage der Notstromversorgung war ein entscheidender Faktor für den Unfallablauf. In allen anderen japanischen Kraftwerken befinden sich die Notstromdiesel im Reaktorgebäude.

Zur Zeit des Erdbebens waren die Blöcke 4 bis 6 wegen Wartungsarbeiten ausser Betrieb. In den Reaktoren 5 und 6 waren bereits wieder die Brennelemente eingesetzt, hingegen lagerten die Brennelemente des Reaktors 4 im Abklingbecken.

## Chronik

Alle Zeitangaben sind in Ortszeit. Die MEZ ergibt sich aus der japanischen Ortszeit durch Subtraktion von 8 Stunden, während der mitteleuropäischen Sommerzeit vom 27. März 2011 03:00 Uhr bis 30. Oktober 2011 03:00 Uhr durch Subtraktion von 7 Stunden (da es in Japan keine Sommerzeit gibt). Die Chronik ist stark gekürzt.

### 11. März 2011

**14:47** Als die Primärwellen des Erdbebens das Kraftwerksgelände erreichen, erfolgt ordnungsgemäss eine Schnellabschaltung der Reaktoren 1 bis 3. Die Reaktoren 4 bis 6 sind ausser Betrieb. Obwohl die durch das Erdbeben verursachten Beschleunigungen die Werte, auf die das Kraftwerk ausgelegt war, um bis zu 26% überschreiten, gibt es im Kraftwerk keine gravierenden Schäden.

**14:48** Die Steuerstäbe sind voll eingefahren, und die Kettenreaktion ist gestoppt. Die Sicherheitsbehälter sind verschlossen. Die Reaktoren werden durch die Kondensationskammern gekühlt, und von dort wird die Nachwärme durch elektrisch betriebene Kühlwasserpumpen ins Meer abgeführt.

Die externe Stromversorgung fällt infolge der Erdbebenschäden aus. 12 der 13 Notstrom-Dieselmotoren starten ordnungsgemäss.

**15:27** Die erste der vom Erdbeben verursachten Tsunamiwellen trifft beim Kraftwerk Fukushima I ein. Die Wellen haben Höhen von maximal 13 bis 15 Metern. Einige der hinter der 5.7 m hohen Schutzmauer liegenden Meerwasserpumpen werden zerstört, womit die Meerwasserkühlung teilweise ausfällt. Das Wasser dringt in die Turbinengebäude ein und überschwemmt die Notstromaggregate.

**15:41** Alle Notstromgeneratoren und damit die ganze Wechselstromversorgung fallen aus. Die Leit- und Steuerungstechnik kann während 8 Stunden durch Notstrombatterien weiter versorgt werden. Während dieser Zeit funktioniert auch noch die Ansteuerung der dampfbetriebenen Notfall-Kühlwasserpumpen. Die Abführung der Wärme ins Meer ist jedoch nicht mehr möglich, und die Kondensationskammern beginnen sich zu erhitzen.

**17:07** Das dampfbetriebene Kühlsystem von Reaktor 1 ist ausgefallen, da die Notstrombatterien infolge der Überflutung versagen. Es werden mobile Stromgeneratoren angefordert.

**ca. 21:00** Infolge der beschädigten und von Trümmern überdeckten Strassen erreichen die ersten mobilen Generatoren erst nach 21 Uhr das Kraftwerk. Sie können jedoch nicht angeschlossen werden, da die Anschlusspunkte sich im überfluteten Untergeschoss befinden und die Kabel zu kurz sind. Es werden zusätzliche Kabel angefordert.

Die Bevölkerung in einem Radius von 3 km um den Reaktorblock 1 wird evakuiert. Die Bewohner in einem Radius von 10 km sollen ihre Häuser nicht mehr verlassen.

### 12. März 2011

Der Druck im Sicherheitsbehälter des Reaktors 1 ist auf 600 Kilopascal (kPa)<sup>4</sup> angestiegen und hat damit den zulässigen Wert von 400 kPa weit überschritten. In Reaktor 1 ist vermutlich bereits so viel Wasser verdampft, dass die Brennstäbe teilweise oder ganz frei liegen. Der überhitzte Zirkon der Brennstoff-Hüllrohre reagiert chemisch mit dem Wasserdampf, wobei sich Wasserstoff bildet. Die Hüllen der Brennstäbe werden undicht, und schliesslich beginnen die Stäbe zu schmelzen.

Eine Druckentlastung des Sicherheitsbehälters 1 ist zunächst nicht möglich, weil die elektrisch betätigten Ventile sich nicht öffnen lassen. Der Druck steigt auf 840 kPa und sinkt dann auf 650 kPa und bleibt auf diesem Wert. Vermutlich hat die Dichtung beim Deckel des Sicherheitsbehälters nachgegeben. Zusammen mit dem Dampf entweichen der Wasserstoff und radioaktive Stoffe in das Reaktorgebäude. Auf dem Gelände steigt die Intensität der Strahlung an.

Aus dem Druckbehälter von Reaktor 1 wird kontrolliert Dampf in den Sicherheitsbehälter abgeblasen. An der Druckentlastung des Sicherheitsbehälters 1 wird gearbeitet, und schliesslich werden mehrere Druckentlastungen erfolgreich durchgeführt.

**15:36** Im Reaktorgebäude 1 kommt es zu einer Wasserstoffexplosion. Das Dach des Gebäudes (eine Stahlkonstruktion) wird zerstört, der Sicherheitsbehälter bleibt jedoch unbeschädigt.

**17:00** Die Notstrombatterien von Block 3 sind nach 26 Stunden (statt 8!) erschöpft. Das Notkühlsystem beginnt zu versagen, und der Wasserstand im Reaktor fällt.

**20:00** Das Notkühlsystem von Block 2 fällt aus, aber der Wasserstand im Reaktor bleibt stabil.

**20:20** Als Notmassnahme wird über die Feuerlöschleitung in Reaktor 1 Meerwasser eingespritzt. Dadurch wird der Reaktor beschädigt, da Kernreaktoren nur mit (speziell behandeltem) Süsswasser gekühlt werden dürfen. Später wird dem Meerwasser Borsäure zugemischt, um eine mögliche unkontrollierte Kettenreaktion zu verhindern (Neutronen werden von Bor stark absorbiert).

**20:41** Erste Druckentlastung des Sicherheitsbehälters 3.

Am westlichen Kraftwerkszaun überschreitet die Strahlungsdosisleistung den zulässigen Grenzwert von 0.5 mSv/h und erreicht 1.0 mSv/h<sup>5</sup>. Der Evakuierungsradius wird auf 20 km erhöht.

### 13. März 2011

**02:44** Das Hauptnotkühlsystem von Reaktor 3 fällt endgültig aus. Es wird versucht, ein Reservesystem in Betrieb zu nehmen.

**05:10** Alle Notkühlsysteme von Reaktor 3 haben jetzt versagt. Die Brennstäbe sind nur noch teilweise von Wasser bedeckt und werden sehr heiss und beginnen möglicherweise zu schmelzen. Die Hüllrohre bersten, und es bilden sich grosse Mengen von Wasserstoff.

Druckentlastung von Reaktor 3. Über die Feuerlöschleitung wird erst Süsswasser und später Meerwasser in den Reaktor 3 eingespritzt. Die mobilen Generatoren können an die Blöcke 1 und 2 angeschlossen werden.

An Kraftwerkszaun steigt die Strahlung auf 1.2 mSv/h, sinkt aber wieder ab auf 0.07 mSv/h.

### 14. März 2011

Im Abklingbecken von Block 4 ist die Temperatur auf 84°C gestiegen und liegt damit weit über dem normalen Wert von 40°C. Im Sicherheitsbehälter 3 steigt der Druck bis auf 400 kPa und stabilisiert sich auf diesem Wert. Das Gemisch aus Dampf, Wasserstoff und radioaktiven Partikeln entweicht in das Reaktorgebäude.

<sup>4</sup> 100 kPa = 1 bar = 1.02 atü

<sup>5</sup> Sv = Sievert, mSv = Millisievert = 0.001 Sievert, mSv/h = Millisievert pro Stunde. Siehe Anhang.

**11:01** Im Reaktorgebäude 3 ereignet sich eine heftige Wasserstoffexplosion.

Die Ausblasklappe des Reaktorgebäudes 2 wird geöffnet, damit Wasserstoff ausströmen kann. Damit soll eine Explosion vermieden werden. Reaktor 2 wird druckentlastet und es wird Meerwasser eingespeist.

#### **15. März 2011**

**06:00** Explosion im Bereich des Reaktorgebäudes 4. Am 16. Mai wird vermutet, dass Wasserstoff aus Block 3 durch verbundene Druckentlastungsrohre infolge beschädigter Ventile nach Block 4 gelangte.

**06:10** Druckabfall in der Kondensationskammer des Sicherheitsbehälters 2 nach ungewöhnlichem Geräusch. Kondensationskammer wahrscheinlich beschädigt durch Explosion. Ursache unklar.

**09:38** Brand im Abklingbecken des Reaktorgebäudes 4.

**11:00** Tepco berichtet, der Brand in Block 4 sei von alleine erloschen. Die Nachrichtenagentur Jiji Press meldet dagegen, das Feuer sei von Angehörigen der US-Armee gelöscht worden.

Am Kraftwerkszaun wird vorübergehend eine Strahlungsdosisleistung von 12 mSv/h erreicht. Am Reaktorblock 3 werden 400 mSv/h gemessen.

#### **16. März 2011**

Es wird daran gearbeitet, von einer benachbarten Hochspannungsleitung eine neue Stromleitung zum Kraftwerk zu legen, in der Hoffnung, dass trotz der Schäden einzelne Kühlsysteme wieder in Betrieb genommen werden können.

Aus den Blöcken 1 und 3 steigen grössere Mengen Dampf auf. Die Strahlung steigt sehr stark an und erreicht am Kraftwerkszaun Werte bis 10 mSv/h. Die Arbeiter werden vorübergehend evakuiert. Nach dem Rückgang der Strahlung werden die Arbeiten an den Blöcken 3 und 4 wieder aufgenommen. Es wird eine neue Zufahrtstrasse zu Block 4 gebaut, damit das Abklingbecken mit Wasserwerfern gekühlt werden kann.

Das Wasser in den Abklingbecken der Blöcke 5 und 6 hat sich auf 63 beziehungsweise 60°C erhitzt, weit über den normalen Wert von 40°C. In den beiden Reaktoren ist die Wassertemperatur über den normalen Wert von 100°C auf 196 beziehungsweise 150°C gestiegen.

Der Überdruck in der Kondensationskammer 2 fällt auf Null.

#### **17. März 2011**

Aus Hubschraubern wird Wasser auf Reaktorblock 3 abgeworfen. Sodann wird versucht, mit Wasserwerfern das Abklingbecken von Block 3 zu kühlen.

Südkorea und Frankreich liefern 52 beziehungsweise 95 Tonnen Bor[säure].

#### **18. März 2011**

In die Dächer der Reaktorgebäude 5 und 6 werden Löcher angebracht, damit eventuell vorhandener Wasserstoff entweichen kann.

Es wird weiter Wasser auf Block 3 gesprüht. 30 Löschfahrzeuge der Feuerwehr von Tokyo stehen am Kraftwerk bereit, um bei den Wassersprüheinsätzen zu helfen.

Ein Notstrom-Dieselmotor von Block 6 wird wieder in Betrieb genommen. Damit werden Teile des Kühlsystems des Abklingbeckens versorgt.

#### **19. März 2011**

Ein zweiter Dieselmotor von Block 6 wird in Betrieb genommen und versorgt das Kühlsystem des Abklingbeckens von Block 5.

Die neu verlegte, 1,5 km lange Stromleitung ist beim Notstromtransformator von Block 2 angekommen.

In das Abklingbecken von Block 2 wird Meerwasser eingespritzt.

#### **20. März 2011**

Die Abklingbecken 3 und 4 werden mit Wasserwerfern gekühlt. Die Temperaturen in den Abklingbecken 5 und 6 sind wieder auf den normalen Wert von 40°C zurückgegangen.

Die Reaktorblöcke 2, 5 und 6 werden wieder ans Stromnetz angeschlossen.

Die Reaktoren 5 und 6 sind im stabilen, abgeschalteten Zustand („cold shutdown“).

#### **21. März 2011**

Aus dem Reaktorblock 3 steigt vorübergehend grauer und dann schwarzer Rauch auf. Die Ursache dafür scheint nicht bekannt zu sein. Die Strahlung an der westlichen Geländegrenze steigt um einen Faktor Zehn auf 2 mSv/h. Die Arbeiter werden vorübergehend zurückgezogen.

**22. März 2011**

Auch Reaktorblock 4 ist wieder ans Stromnetz angeschlossen. In Block 2 wird am Anschluss einzelner elektrischer Systeme gearbeitet.

Das Abklingbecken 4 wird ab jetzt mit einer Autobetonpumpe gekühlt. Diese pumpt täglich rund 150 Tonnen Wasser auf das Reaktorgebäude.

Im Kontrollraum des Reaktors 3 ist die Beleuchtung wieder in Betrieb.

**23. März 2011**

In Reaktor 1 wird Wasser durch eine reguläre Leitung statt durch die Feuerlöschleitung eingespeist. Die Temperatur erreicht jedoch vorübergehend 400°C.

**24. März 2011**

Die Beleuchtung im Kontrollraum von Block 1 ist wieder in Betrieb.

Die Kühlung des zentralen Abklingbeckens neben Block 3 und 4 wird wieder in Betrieb gesetzt.

**25. März 2011**

Die Kühlung der Reaktoren 1 und 3 wird von Meerwasser auf Süswasser umgestellt, um Salzablagerungen und Korrosionen in den Reaktordruckbehältern zu vermeiden. Das Wasser wird mit Hilfe von Schleppkähnen der amerikanischen Marine herbeigeschafft.

Das Abklingbecken 4 wird nun über eine reguläre Kühlleitung gekühlt.

**26. März 2011**

Auch Reaktor 2 wird mit Süswasser gekühlt, und die Beleuchtung im Kontrollraum des Reaktors ist in Betrieb.

**27. März 2011**

Die Temperatur im zentralen Abklingbecken ist auf den normalen Wert von unter 40°C zurückgegangen. Das Abklingbecken 3 wird nun mit einer Autobetonpumpe gekühlt.

**29. März 2011**

Der Kontrollraum von Reaktorblock 4 ist wieder beleuchtet.

Die Abklingbecken 2 und 3 werden mit Süswasser gekühlt.

**30. März 2011**

Am südlichen Wasserauslass erreicht die Kontamination des Meerwassers einen Höchstwert von 180'000 Bq/l Iod-131 und 47'000 Bq/l Caesium-137<sup>6</sup>

**31. März 2011**

Eine Autobetonpumpe sprüht 90 Tonnen Wasser auf das Abklingbecken 1.

Bis Ende März haben 11 Arbeiter eine Strahlungs-dosis zwischen 100 und 150 mSv erhalten. Acht Arbeiter haben Dosen zwischen 150 und 200 mSv und zwei Arbeiter haben Dosen zwischen 200 und 250 mSv erhalten. Der Grenzwert in Notfallsituationen war 100 mSv. Er wurde am 15. März auf 250 mSv heraufgesetzt (250 mSv ist die maximal zulässige Dosis im Katastrophenfall, siehe Anhang).

**April 2011**

Durch die behelfsmässigen Kühlaktionen haben sich in den Untergeschossen der Turbinengebäude 1 bis 4 grosse Mengen radioaktiv kontaminierten Wassers angesammelt. Deshalb können die Kühlkreisläufe der Reaktoren und Abklingbecken nicht wieder in Gang gesetzt werden. Die behelfsmässige Kühlung wird fortgesetzt. Die Reaktoren kühlen sich allmählich ab, aber Reaktor 1 ist immer noch instabil.

Aus einem ca. 20 cm langen Riss in einem Kabelschacht in Reaktorblock 2 fliesst stark radioaktives Wasser ins Meer. Ein erster Versuch, das Leck mit Beton abzudichten, misslingt. Nachdem ein zweiter Versuch mit einem anderen Dichtungsmittel ebenfalls fehlschlägt, gelingt es schliesslich, das Leck mit Wasserglas abzudichten.

In das Sicherheitsgebäude 1 wird Stickstoff eingeleitet, um eine Wasserstoffexplosion zu verhindern.

Aus dem Abfalllager wird schwach radioaktives Wasser ins Meer gepumpt, um Platz für das stark radioaktive Wasser in den Turbinengebäuden zu schaffen.

Vor den Wassereinflüssen der Blöcke 1 bis 4 werden Schlammwälle aufgeschüttet, um den Austritt von kontaminiertem Wasser ins Meer einzudämmen. Vor dem Wassereinfluss von Block 2 wird zusätzlich eine Stahlwand gebaut.

<sup>6</sup> Bq = Becquerel, Bq/l = Becquerel pro Liter. Siehe Anhang.



Aus den Untergeschossen der Turbinengebäude wird radioaktives Wasser abgepumpt. Auf dem Kraftwerksgelände sollen Speichertanks für radioaktives Wasser errichtet werden. Mit einer Anlage von Areva sollen ab Anfang Juni pro Tag 1200 Tonnen Wasser chemisch dekontaminiert werden.

Das Teil des Kraftwerksgeländes wird mit Kunstharz besprüht, um den radioaktiven Staub zu binden. Mit ferngesteuerten Spezialfahrzeugen werden radioaktive Explosionstrümmer vom Gelände des Kraftwerks weggeräumt. Es gibt „Hot Spots“ mit Strahlungen bis zu 900 mSv/h.

### Mai 2011

Die Temperatur von Reaktor 1 ist immer noch nicht unter Kontrolle. Um ihn besser zu kühlen, werden der Reaktor-druckbehälter und das Sicherheitsgebäude teilweise mit Wasser aufgefüllt.

Im Reaktorgebäude 1 wird ein Luftfiltersystem installiert, damit in diesem Gebäude dauerhaft gearbeitet werden kann. Es soll ein neues Kühlsystem mit einem geschlossenen Kreislauf gebaut werden, dessen Wärme über einen zusätzlich errichteten Kühlturm abgeführt werden soll.

Es wird festgestellt, dass im Reaktor 1 der Bereich, in dem sich die Brennelemente befanden, nicht mehr von Wasser bedeckt ist, und dass vermutlich sowohl der Druckbehälter als auch der Sicherheitsbehälter undicht sind. Vermutlich kam es sowohl in Reaktor 1 als auch in den Reaktoren 2 und 3 zu einer Kernschmelze.

Nachdem in Reaktor 3 die Temperatur vorübergehend ansteigt, wird die eingeleitete Wassermenge erhöht, worauf die Temperatur wieder sinkt.

Auch in die Sicherheitsbehälter 2 und 3 soll Stickstoff eingeleitet werden.

Das Reaktorgebäude 1 soll mit einer neuen Hülle umschlossen werden.

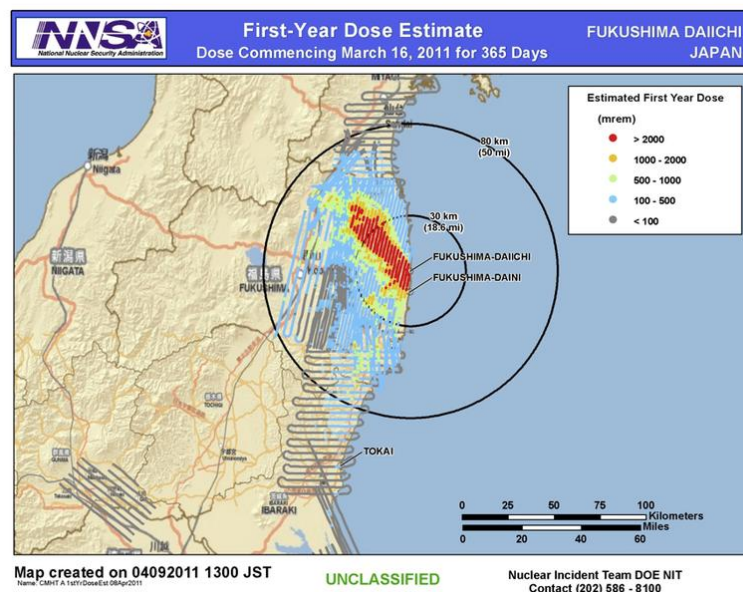
Beim Transportieren von Material wird ein 60-jähriger Arbeiter bewusstlos und stirbt, vermutlich an einem Herzinfarkt. Er ist *nicht* radioaktiv kontaminiert.

Niemand wurde Strahlungsdosen von mehr als 250 mSv ausgesetzt.

Zwei Arbeiter kamen durch das Erdbeben ums Leben, und zwei Arbeiter ertranken infolge des Tsunamis im Untergeschoss des Turbinengebäudes 4. Etwa 20 Personen wurden verletzt, hauptsächlich durch die Wasserstoffexplosionen. Stand: 26.05.2011

## Strahlenbelastungen

Für den zeitlichen Verlauf der Dosisleistungen<sup>7</sup> an den vielen Messstellen auf dem Kraftwerksgelände und in der Umgebung muss auf die Quellen verwiesen werden. Einen Überblick über die total zu erwartenden Strahlenbelastungen gibt das folgende Bild (100 mrem = 1 mSv<sup>6</sup>).



<sup>7</sup> Siehe Anhang.



## Mängel in der Auslegung und beim Betrieb des Kernkraftwerks Fukushima I

Das Kernkraftwerk Fukushima I hat den Sicherheitsbehälter Mark I von General Electric. Dieser hat nach Meinung verschiedener Experten ein unzureichendes System zur Vermeidung eines unzulässigen Druckaufbaus. Drei Ingenieure von General Electric kündigten, weil sie Sicherheitsbedenken zu Mark I hatten. Einer davon verlangte einen Baustop für Mark I und kündigte, als GE diesen ablehnte. Seines Wissens seien jedoch die von ihm gefundenen Design-Mängel bei Fukushima I berücksichtigt worden. Der Sicherheitsbehälter sei keine direkte Ursache des Unfalls, aber er sei im Fall eines Unfalls weniger „tolerant“. Die amerikanische Nuclear Regulatory Commission (NRC) stellte 1985 fest, dass der Mark I in den ersten Stunden nach einer Kernschmelze versagen würde. Darauf wurden in alle Mark I-Behälter ein Ventilsystem eingebaut, mit dem (radioaktiver) Wasserdampf in die Atmosphäre abgeblasen werden kann.

Die Anordnung des Abklingbeckens direkt neben dem Sicherheitsbehälter wird kritisiert, da durch sie die Gefahr von Beschädigungen und radioaktiven Emissionen erheblich vergrößert werde.

Im Kraftwerk Fukushima I waren die Notstromgeneratoren im Untergeschoss der Turbinengebäude angeordnet und dadurch nicht vor Überflutung geschützt. Deshalb wurden sie ebenso wie die Kühlwasserpumpen durch den Tsunami überschwemmt und fielen aus.

Bereits 1990 warnte die NRC vor dem Ausfall der Notstromgeneratoren und Kühlsysteme in erdbebengefährdeten Kraftwerken. Obwohl die japanische Nuclear and Industrial Safety Agency

(NISA) 2004 diesen Bericht zitierte, reagierte die Betreiberfirma von Fukushima I, die Tokyo Electric Power Company (Tepco), nicht auf diese Warnung. Als in den 1970er und 1980er Jahren der Erdbebenschutz der Reaktorgebäude verbessert wurde, verzichtete Tepco auf die Verlegung der Notstromgeneratoren und der Kühlwasserpumpen, weil im Reaktorgebäude nicht genügend Platz dafür vorhanden war. Aus Kostengründen und möglicherweise, um keine Fehlentscheidungen eingestehen zu müssen, seien die erforderlichen Umbauarbeiten nicht vorgenommen worden.

Nach dem Erdbeben vom 16. Juli 2007, das eine Stärke von 6.6 hatte, wurde bei Fukushima I eine Schutzmauer von 5.7 m Höhe gegen Tsunamis gebaut.

Ein Abgeordneter der Präfektur Fukushima im Nationalparlament hatte den Firmenvorstand wiederholt vor der Tsunamigefahr gewarnt. Auch der Leiter des Erdbebenforschungszentrums hatte vor einem verheerenden Tsunami wie jener aus dem Jahre 869 gewarnt. Alle diese Warnungen wurden jedoch nicht beachtet.

Im Jahr 2002 stellte sich heraus, dass während 16 Jahren Reparaturberichte über Tepcos Kernkraftwerke gefälscht und sicherheitsrelevante Vorfälle verschwiegen worden waren. Der Vorstand von Tepco wurde ersetzt, und alle Tepco-KKW wurden abgeschaltet und drei Wochen lang überprüft. Auch nach dem Vorstandswechsel wurden mehrere Vorfälle verschwiegen. Am 25. Mai 2008 versagten bei einem Test im Reaktorblock 6 mehrere Notkühlsysteme, was als Stufe 1 auf der INES-Skala<sup>8</sup> bewertet wurde.

Am 1. März 2011 wies die NISA der Tepco grosse Mängel bei Wartung und Inspektion nach. Seit elf Jahren waren 33 Geräte und Maschinen, darunter Kühlpumpen und Dieselgeneratoren, nicht sorgfältig kontrolliert worden. Die NISA setzte der Tepco eine Frist bis 2. Juni 2011, um einen Korrekturplan auszuarbeiten.

## Fazit

Zur Zeit können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

Die Nuklearkatastrophe von Fukushima ist *nicht* auf das vielzitierte „Restrisiko“ zurückzuführen, sondern auf die erwähnten Mängel und Unterlassungen.

---

<sup>8</sup> Siehe z.B. Bulletin Nr. 54

Das Versagen der Nachkühlung der Reaktoren wurde nicht durch das Erdbeben, sondern durch den Tsunami verursacht. Trotz des Tsunami funktionierte aber die Notkühlung anfänglich noch einwandfrei.

Bei richtigen baulichen Massnahmen gegen das an sich bekannte Tsunami-Risiko wäre es nicht zu einem Unfall gekommen. In den letzten 513 Jahren kam es an den japanischen Küsten zu 16 Tsunamis mit maximalen Wellenhöhen von mehr als 10 m, d.h. im Mittel ist etwa alle 30 Jahre ein Tsunami mit Wellenhöhen von mehr als 10 m zu erwarten.

Die detaillierte Analyse des Unfallverlaufs und der Folgen wird noch viel Zeit beanspruchen. Nur die Medien wissen jeweils stets sofort, wer oder was schuld war. Wenn die Experten nach sorgfältigen Untersuchungen zu neuen Erkenntnissen kommen und diese mitteilen, wird ihnen schnell unterstellt, sie hätten vorher etwas verschwiegen. Kernfachleute werden von manchen Medien ohnehin als nicht glaubwürdig betrachtet. Als vertrauenswürdig gelten nur „unabhängige“ Wissenschaftler wie z.B. Politologen, Soziologen, Psychologen, Philosophen oder Theologen.

## **Fukushima I im Vergleich zu schweizerischen und deutschen Kernkraftwerken**

In der Schweiz und in Deutschland ist nicht mit Erdbeben der Stärke 9 zu rechnen und es gibt keine Tsunamis an den KKW-Standorten.

Die schweizerischen und die deutschen Kernkraftwerken haben erdbeben- und überschwemmungssichere Notstromaggregate.

Die schweizerischen und die deutschen Kernkraftwerke verfügen über Rekombinatoren, die austretenden Wasserstoff katalytisch oder mit Glühzählern oxidieren, so dass es nicht zu einer Wasserstoffexplosion kommen kann. Die Reaktoren von Fukushima I hatten keine Rekombinatoren.

Generell:

In der Schweiz müssen alle Kernkraftwerke alle 10 Jahre dem ENSI (früher der HSK) einen nach den neuesten Anforderungen und Erkenntnissen überarbeiteten Sicherheitsbericht einreichen. Bei dieser Gelegenheit werden neue Erkenntnisse zu den seinerzeit gemachten Gefährdungsannahmen wie Erdbeben, Überflutung, Terrorangriffe, Human Failure etc. detailliert untersucht und je nach Ergebnis Nach- und Umrüstungen verbindlich und mit einem Termin für die Erledigung festgeschrieben. International gemachte Erfahrungen, neuere und aussagekräftigere Beurteilungsmethoden und Berechnungsmodelle finden dabei ebenfalls Anwendung.

Die Tatsache, dass Bernau, Gössen und Leibstadt eine zeitlich unbefristete Betriebsbewilligung haben und eine solche Mühleberg erst nach einem langen politischen Tauziehen gewährt wurde, ändert nichts daran, dass alle CH-Werke nach den selben Vorgaben überwacht werden. Das Ensi kann jederzeit, ohne einen formellen Regierungsbeschluss, den Weiterbetrieb jedes Werks mit sofortiger Wirkung verbieten, wenn die geforderten Schritte nicht oder nicht in genügendem Ausmass erfüllt werden. Umgekehrt können aber weder Ensi noch Regierung den Weiterbetrieb aus politischen oder anderen, nicht gesetzlich abgestützten Gründen verbieten, so lange die Sicherheit von Anlage oder Bevölkerung nicht offensichtlich gefährdet ist.

Ob ein vergleichbares Vorgehen in Japan üblich ist, muss heute bezweifelt werden. Die veralteten Erdbeben-Gefährdungskarten datieren aus den 1970-er Jahren; die Tsunami-Statistiken wurden offenbar nie hinterfragt und neu festgelegt. Wesentliche erkannte Schwachstellen des BWR wurden offenbar nicht zur Kenntnis genommen oder nur ungenügend korrigiert (zum Beispiel Containment Druckentlastung in Fukushima ohne Filter erstellt. Bei uns: Filtered Containment Venting seit den 1990-er Jahren nachgerüstet).

## **Anhang**

### **Erdbebenstärke**

Die Stärke eines Erdbebens kann durch die *Intensität* oder durch die *Magnitude* beschrieben werden.

Die Intensität wird durch römische Zahlen angegeben und beschreibt diejenigen lokalen Auswirkungen des Bebens auf Menschen, Tiere, Landschaft und Gebäude, die direkt ohne Verwendung von Instrumenten wahrgenommen werden können. Die Intensität kann durch die zwölfteilige Modifizierte Mercalliskala wiedergegeben werden. Die ursprüngliche Mercalliskala war nur zehnteilig. In Europa wird heute meistens die Europäische Makroseismische Skala oder Mercalli-Sieberg-Skala verwendet. Diese ist ebenfalls zwölfteilig.

Die Magnitude ist ein Mass für die beim Erdbeben freigesetzte Energie. Für ein Beben mit einer bestimmten Magnitude werden je nach Entfernung und Bodenbeschaffenheit verschiedene Intensitäten festgestellt. Es gibt mehrere Magnitudenskalen. Die wohl bekannteste Skala ist die *Richterskala*, die in den Medien meist mit der stereotypen Formulierung „...das Beben hatte die Stärke X auf der *nach oben offenen Richterskala*“ erwähnt wird. Aber genau das ist die Richterskala nicht: nach oben offen. Auf Grund der Messmethode steigen die Werte mit wachsender Erdbebenstärke nicht über 6.5 an, die Richterskala hört bei 6.5 auf. Nur die Medien kennen Erdbeben, die auf der Richterskala höhere Werte haben. Wenn die Medien von einem Beben mit der Stärke 8 auf der „nach oben offenen“ Richterskala berichten, so haben die Wissenschaftler in Wirklichkeit eine andere Magnitudenskala, nämlich die *Momentenmagnitude*, verwendet. Aber für die Medien gibt es eben nur die (nach oben offene!) Richterskala.

Der Wert der Richterskala ist definiert als der (Zehner-) Logarithmus der in Mikrometern gemessenen Auslenkung eines Standardseismometers in einem Abstand von 100 km vom Epizentrum.

Der Wert der Momentenmagnitude wird bestimmt als  $2/3 \cdot (\log M_0 - 9.1)$ , wobei das seismische Moment  $M_0$  durch  $M_0 = \mu A d$  definiert ist. Dabei ist  $\mu$  der Schermodul des Gesteins entlang der Bruchfläche,  $A$  der Flächeninhalt der Bruchfläche und  $d$  die mittlere Verschiebung entlang der Bruchfläche. Es gibt verschiedene Methoden, nach denen aus den Spektren der Seismogramme das seismische Moment bestimmt wird.

## Aktivität und Strahlendosis

Die *Aktivität* einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl radioaktiver Zerfälle pro Sekunde. Sie wird in *Becquerel* (Bq) angegeben. Die Einheit ist nach Antoine Henri Becquerel (siehe Bulletin Nr. 51) benannt. 1 Bq ist gleich 1 Zerfall pro Sekunde. Früher wurde die Einheit *Curie* (Ci) verwendet. Diese Einheit wurde nach Marie und Pierre Curie (siehe Bulletin Nr. 51) benannt. Es gilt folgende Umrechnung:  $1 \text{ Ci} = 3.70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Für die Messung ionisierender Strahlung<sup>9</sup> gibt es verschiedene Dosisgrößen. Die physikalische Wirkung der Strahlung wird durch die *Ionendosis* und die *Energiedosis* beschrieben. Die Energiedosis ist die pro Masseneinheit absorbierte Energie und wird in der Einheit *Gray* (Gy) gemessen. Es ist  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ <sup>10</sup>. Die biologische Wirkung der Strahlung wird mit der *Äquivalentdosis* berücksichtigt. Sie ergibt sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit einem *Qualitätsfaktor*, der durch die relative biologische Wirksamkeit der betreffenden Strahlenart bestimmt wird. Die Äquivalentdosis wird in *Sievert* (Sv) gemessen. Die Einheit Sievert tritt häufig mit verschiedenen Vorsätzen auf.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mSv} &= 0.001 \text{ Sv} && \text{Millisievert} \\ 1 \mu\text{Sv} &= 0.001 \text{ mSv} = 0.000001 \text{ Sv} && \text{Mikrosievert} \end{aligned}$$

Die *Dosisleistung* ist die Strahlendosis pro Zeiteinheit. Die Dosisleistung wird meist pro Stunde (h) oder pro Jahr (a) angegeben.

$$\begin{aligned} 10 \text{ mSv/a} &= 1.14 \mu\text{Sv/h} && 1 \mu\text{Sv/h} = 8.76 \text{ mSv/a} \\ 100 \text{ mSv/a} &= 11.4 \mu\text{Sv/h} && 10 \mu\text{Sv/h} = 87.6 \text{ mSv/a} \end{aligned}$$

<sup>9</sup> Strahlung wird als ionisierend bezeichnet, wenn die Energie ihrer Quanten ausreicht, um Atome oder Moleküle zu ionisieren, d.h. Elektronen aus einem Atom oder Molekül herauszulösen. Nicht nur die Strahlen radioaktiver Substanzen sind ionisierend. Zum Beispiel wirken auch die Strahlen von Teilchenbeschleunigern, Röntgenröhren oder UV-Lampen ionisierend. Im Übrigen gibt es keine *radioaktiven Strahlen*, denn nicht die Strahlen sind radioaktiv, sondern die Substanzen, die *ionisierende* Strahlen aussenden.

<sup>10</sup> J/kg = Joule pro Kilogramm. Auf die Ionendosis wird hier nicht weiter eingegangen.

Selbstverständlich gilt die Umrechnung von  $\mu\text{Sv/h}$  in  $\text{mSv/a}$  nur, wenn die Strahlungsdosisleistung zeitlich konstant bleibt.

Die mittlere totale Strahlenbelastung in der Schweiz variiert zwischen 3.2 und 6.2  $\text{mSv/a}$  (siehe Bulletin Nr. 19). Für zusätzliche Strahlenbelastungen gelten folgende Grenzwerte:

- 1  $\text{mSv/a}$  für Personen der allgemeinen Bevölkerung
- 20  $\text{mSv/a}$  für beruflich strahlenexponierte volljährige Personen (keine schwangeren Frauen)
- 15  $\text{mSv}$  im normalen Feuerwehreinsatz
- 100  $\text{mSv}$  zur Lebensrettung, dieser Wert darf nur einmal pro Jahr aufgenommen werden
- 250  $\text{mSv}$  im Katastrophenfall, dieser Wert darf nur einmal im Leben aufgenommen werden

Diese Werte sollten aber mit der Strahlenbelastung der Bevölkerung in der iranischen Stadt Ramsar verglichen werden: 260  $\text{mSv/a}$ <sup>11</sup> – jedes Jahr!

Die durch ionisierende Strahlung bedingten Risiken sind in Bulletin Nr. 62 diskutiert.

Früher wurde die Einheit *rem* (roentgen equivalent man) verwendet. Es ist 1 Sv = 100 rem und 1  $\text{mSv}$  = 100 mrem .

## Quellen

Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk\\_Fukushima-Daiichi](http://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Fukushima-Daiichi)

Chroniken  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima)  
[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/Chronologie\\_der\\_Katastrophe\\_in\\_Japan\\_von\\_2011](http://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Katastrophe_in_Japan_von_2011)  
<http://fukushima.grs.de/>  
<http://www.vgb.org/tohoku.html>  
<http://www.nisa.meti.go.jp/english/>  
<http://www.iaea.org/newscenter/news/tsunamiupdate01.html>  
<http://www.jaif.or.jp/english/>  
<http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/index-e.html>  
[http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou\\_e.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e.pdf)  
<http://www.world-nuclear-news.org>  
<http://www.ensi.ch/>  
<http://www.nuklearforum.ch/130009948517-de-index.html>

Strahlenbelastung  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsbelastung\\_durch\\_die\\_Nuklearunf%C3%A4lle\\_von\\_Fukushima](http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsbelastung_durch_die_Nuklearunf%C3%A4lle_von_Fukushima)  
<http://fleep.com/earthquake/>

Analysen  
<http://www.pro-physik.de/Phy/leadArticle.do?laid=13838>  
<http://www.buerger-fuer-technik.de/KurzInfo330.pdf>  
<http://nws.chem.uu.nl/publica/Publicaties%202011/Fukushima.pdf>  
<http://paulseaman.eu/2011/03/reset-for-nuclear-power/#more-16462>  
[http://www.theregister.co.uk/2011/03/14/fukushiima\\_analysis](http://www.theregister.co.uk/2011/03/14/fukushiima_analysis)

---

<sup>11</sup> Chandrasekara Dissanayake nennt in seinem Artikel „Of Stones and Health: Medical geology in Sri Lanka“ (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/309/5736/883>) für Ramsar eine maximale Strahlenbelastung von bis 260  $\text{mGy/a}$ . In dem Buch „Strahlen und Strahlenschutz“ von Hans Kiefer und Winfried Koelzer wird als Maximalwert in Ramsar 450  $\text{mGy/a}$  angegeben. Für Gamma- und Röntgenstrahlen ist der Qualitätsfaktor gleich Eins, d.h. es gilt 1 Gy = 1 Sv. In Bulletin Nr. 19 wurde für Ramsar der Wert 450  $\text{mSv/a}$  gegeben.