Gesundheitliche Auswirkungen der Atomkatastrophe von Fukushima

31. Juli, 2012

Dr. med Alex Rosen, Universitätskinderklinik Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	S. 2
Die Kernschmelzen	S. 3
Radioaktiver Ausstoß in die Atmosphäre	S. 4
Bodenkontamination	S. 6
Verseuchung des Meeres	S. 8
Kontamination von Lebensmitteln und Trinkwasser	S. 9
Fallbeispiel – das Dorf litate	S. 11
Auswirkungen auf die Gesundheit	S. 12
Berechnung der Strahlendosis	S. 14
Abschätzung der gesundheitlichen Folgen	S. 15
Besondere Gefährdung der Kinder	S. 17
Ausblick	S. 19
Schlussfolgerungen	S. 20
Abkürzungsverzeichnis	S. 22
Quellenangaben	S. 23

Zusammenfassung

Das Erdbeben von Tōhoku im März 2011 führte zu mehreren atomaren Kernschmelzen in den Reaktoren des Atomkraftwerks Fukushima Dai-ichi im Norden Japans. Der radioaktive Ausstoß der brennenden Atomkraftwerke verursachte eine Kontamination der gesamten Region. Die Mehrheit des radioaktiven Niederschlags ereignete sich über dem Nordpazifik und führte zur größten, jemals gemessenen radioaktiven Kontamination der Weltmeere durch ein einzelnes Ereignis. Proben von Meeresboden und -wasser, sowie von Meerestieren zeigten hohe Werte von radioaktiven Isotopen. In der gesamten nördlichen Hemisphäre wurden erhöhte Strahlenwerte aufgezeichnet. Der radioaktive Niederschlag verseuchte zudem große Gebiete des östlichen japanischen Festlands, inklusive der Metropole Tokio. Innerhalb eines Umkreis von 20 km mussten 200.000 Menschen ihre Wohnungen verlassen. Außerhalb dieser Evakuierungszone verseuchte der radioaktive Niederschlag mehr als 870 km² Land mit 70.000 Einwohnern, die nicht sofort evakuiert wurden. Diese Einwohner wurden schädlichen Radioisotopen ausgesetzt und haben nun ein erhöhtes Risiko für Krebs und andere strahlungsinduzierte Erkrankungen. Viele Menschen leben heute noch in Gebieten mit erhöhter Strahlenkontamination. Lebensmittel, Milch und Trinkwasser wurden ebenfalls verseucht, was zu einer internen Strahlungsexposition führte. Am stärksten betroffen sind Kinder, da sie anfälliger für Strahlenschäden sind. Vorläufige Untersuchungen haben bereits eine interne radioaktive Kontamination mit Jod-131 und Cäsium-137 bei Kindern erwiesen. Es ist noch zu früh, die gesundheitlichen Auswirkungen der atomaren Katastrophe zuverlässig beurteilen zu können. Unter Berücksichtigung der Studien an Tschernobylüberlebenden und der Ergebnisse des BEIR VII-Berichts, werden Wissenschaftler die Möglichkeit haben, die Folgen der Katastrophe einzuschätzen, sobald das wahre Ausmaß der radioaktiven Emissionen und Niederschläge sowie der daraus resultierenden regional unterschiedlichen Strahlenbelastungen genauer bekannt sind. Im großen Maßstab durchgeführte epidemiologische Studien sind notwendig, um den Opfern der Katastrophe gerecht werden zu können. Die Behauptung von Wissenschaftlern der Atomindustrie, dass keine Gesundheitsfolgen zu erwarten seien, ist unwissenschaftlich und unmoralisch.

Die Kernschmelzen

Am 11. März 2011 ereignete sich vor der Küste Nordostjapans ein Erdbeben der Größenordnung 9,0 auf der Richterskala. Das sogenannte Tōhoku-Erdbeben führte zu einem Tsunami, der an der Nordostküste Japans weitere Zerstörungen anrichtete. Mehr als 15.000 Menschen starben als direkte Folge des Erdbebens und des Tsunamis, mehr als 500.000 Menschen mussten evakuiert werden.¹ Das Atomkraftwerk Fukushima Dai-ichi wurde durch das Erdbeben stark beschädigt.² Die Stromversorgung zum Kühlsystem wurde unterbrochen, so dass es zum Schmelzen der Uranbrennstäben in den Reaktorkernen 1 bis 3 kam. Der folgende Tsunami erschwerte die Situation zusätzlich. Die verantwortliche Betreiberfirma TEPCO begann damit, Dampf aus den Reaktoren abzulassen, um eine größere Explosion durch ansteigenden Druck im Inneren der Reaktoren zu verhindern. Der abgelassene Dampf trug radioaktive Partikel in die Atmosphäre.

Als deutlich wurde, dass möglicherweise eine Kernschmelze in den Reaktorkernen stattfand, wurde eine Evakuierungszone im Umkreis von 20 km um das Atomkraftwerk verkündet und 200.000 Menschen aufgefordert, ihre Häuser zu verlassen.³ Während mit der Evakuierung begonnen wurde, führten mehrere Explosionen zur Zerstörung der Reaktoren 1, 2 und 3 und verursachten ein Feuer im Abklingbecken des Reaktors 4. Um die Reaktorkerne abzukühlen, traf TEPCO die umstrittene Entscheidung, Meerwasser in das Becken zu pumpen. Diese Maßnahme konnte jedoch einen weiteren Temperaturanstieg nicht verhindern, da die Brennstäbe bereits freigelegt waren. Laut TEPCO schmolzen alle Brennstäbe im Reaktor 1, 57% der Brennstäbe in Reaktor 2 und 63% der Brennstäbe im Reaktor 3.⁴ Als weitere Folge flossen große Mengen von radioaktiv kontaminiertem Wasser in Grundwasserreservoirs und ins offene Meer.

Am 25. März wurden Bewohner in einem Umkreis von 30 km um das Atomkraftwerk gebeten, freiwillig ihre Häuser und die kontaminierte Region zu verlassen. Am 12. April wurden die Fukushima-Kernschmelzen zum Atomunfall der Stufe 7 erklärt, der höchsten Stufe auf der Internationalen Bewertungsskala für Nukleare Ereignisse (INES), die bislang nur von der Tschernobylkatastrophe erreicht worden war.

In ihrem offiziellen Bericht vom Juni 2012 kommt die unabhängige Untersuchungskommission des japanischen Parlaments zu dem Schluss, dass es sich bei der Atomkatastrophe von Fukushima weniger um die Folge einer Naturkatastrophe, als vielmehr um ein "Unglück von Menschenhand" handelte:

"Die Kommission stellt fest, dass sich die Situation zunehmend verschlechterte, da das Krisenmanagement des Kantei [Büro des japanischen Premierministers], der Aufsichtsbehörden und anderer verantwortlicher Institutionen nicht richtig funktionierte. (...) Die Verwirrung der Anwohner über die Evakuierung hatte ihre Ursache in der Fahrlässigkeit der Aufsichtsbehörden und des jahrelangen Versagens in der Implementation ausreichender Maßnahmen für den Fall eines Atomunglücks, sowie der Untätigkeit vorheriger Regierungen und Aufsichtsbehörden bezüglich eines Krisenmanagements. Das Krisenmanagementsystem des Kantei und der Aufsichtsbehörden sollte die öffentliche Gesundheit und Sicherheit schützen, versagte jedch in dieser Funktion. (...) Die Regierung und die Aufsichtsbehörden widmen sich weiterhin nicht vollständig dem Schutz der öffentlichen Sicherheit und Gesundheit; (...) Sie haben durch ihr Handeln nicht dazu beigetragen, die Gesundheit der Anwohner zu schützen und ihr Wohlergehen wiederherzustellen."⁵

Auch wird in dem parlamentarischen Bericht die Theorie der Atomwirtschaft in Frage gestellt, dass der Tsunami für die Atomkatastrophe von Fukushima verantwortlich war: "TEPCO urteilte vorschnell, dass der Tsunami die Ursache für die atomare Katastrophe gewesen sei und das Erdbeben keinen Schaden verursacht hatte. Wir

glauben, dass die Möglichkeit existiert, dass das Erdbeben sicherheitsrelevante Strukturen der Kraftwerke beschädigte.“⁶ Eine umfangreiche Untersuchung der deutschen IPPNW,⁷ sowie die atmosphärischen Daten der NILU⁸ konnten diesen Verdacht bestätigen und aufzeigen, dass es bereits vor Eintreffen des Tsunamis zu einem relevantem Strahlungsausstritt kam. Da Erdbeben relativ häufige Ereignisse sind und viele Atomkraftwerke, vor allem in Japan, in seismisch aktiven Regionen stehen, liegt es selbstverständlich im Interesse der Atomwirtschaft, die Aufmerksamkeit von dieser Ursache abzulenken und auf den viel selteneren und exotisch klingenderen “massiven Tsunami” zu richten.

Radioaktiver Ausstoß in die Atmosphäre

Die vier großen Explosionen, das Feuer im Abklingbecken von Reaktor 4, der Rauch, das Verdampfen des Kühlwassers und das bewusste Entlüften der unter Druck stehenden Reaktoren führten zum kontinuierlichen Ausstoß von radioaktiven Isotopen in die Atmosphäre. Messungen von Radioaktivität außerhalb des Atomkraftwerkes ergaben einen Maximalwert von 10,85 mSv/h, dem 38.000-fachen der normalen Hintergrundstrahlung. Die gezielten Druckentlastungen der Reaktorblöcke 2 und 3 am 16. März führten zur weiteren Freisetzung von Radioaktivität in die Luft in ähnlicher Größenordnung.⁹ Eine Woche nach dem Erdbeben erreichte die Dosis radioaktiver Strahlung außerhalb des Atomkraftwerks ein Niveau von 1.930 µSv/h, also etwa dem 6.000-fachen der normalen Hintergrundstrahlung.¹⁰

Die österreichische Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) berechnete an Hand der Daten von Messstationen, die für den Kernwaffenteststopp-Vertrag eingerichtet wurden, die Menge an Radioaktivität, die in der Zeit zwischen dem 12. und 14. März freigesetzt wurde: 360-390 PBq Jod-131 und etwa 50 PBq Cäsium-137. Der Ausstoß von Jod-131 in diesen drei Tagen entsprach somit etwa 20% der Menge des gesamten Jod-131 Ausstoßes von Tschernobyl (1.760 PBq), während die Menge von Cäsium-137 bei 60% des gesamten Ausstoßes von Tschernobyl (85 PBq) lag.¹¹

Eine Studie des Norwegischen Instituts für Luftforschung (Norsk Institutt for luftforskning - NILU) zeigte zudem, dass in der Zeit vom 12. bis zum 19. März etwa 16.700 PBq Xenon-133 durch das Atomkraftwerk Fukushima ausgestoßen wurde (250% der in Tschernobyl ausgestoßenen Menge). Dies stellt die größte Freisetzung von radioaktivem Xenon in der Geschichte der Menschheit dar. Xenon-131 ist ein radioaktives Gas mit einer Halbwertszeit von 5,2 Tagen, welches Beta- und Gammastrahlung emittiert und bei Inhalation gesundheitliche Schäden verursachen kann. Zusätzlich berechneten die NILU-Wissenschaftler, dass im Zeitraum vom 12. bis zum 19. März etwa 35,8 PBq Cäsium-137 durch das Fukushima Atomkraftwerk ausgestoßen wurde (42% des gesamten Ausstoßes in Tschernobyl). Die Studie ergab ebenfalls, dass radioaktive Emissionen bereits unmittelbar nach dem Erdbeben und noch vor der Beschädigung des Kraftwerks durch den Tsunami gemessen wurden, so dass das Erdbeben allein bereits erheblichen Schaden in den Reaktoren angerichtet haben muss. Der NILU-Bericht besagt, dass das Feuer im Abklingbecken des Reaktors 4 den größten Anteil der Emmission radioaktiver Isotope beisteuerte.¹²

In ihrem Bericht an die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) stellt die japanische Regierung fest, dass die Gesamtmenge an radioaktiven Isotopen, welche durch Fukushima in die Atmosphäre gelangten, 840 PBq betrug. Die Berechnungen der japanischen Regierung zeigten ähnliche Zahlen bezüglich des Ausstoßes von Jod-131, Cäsium-137 und Xenon-133 wie die des ZAMG und des NILU. Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgelisteten Stoffen Jod-131, Cäsium-137, Strontium, Plutonium und Xenon-133, wurde eine große Anzahl weiterer radioaktiver Isotope ausgestoßen: Cäsium-134, Barium-140, Tellur-127m, Tellur-129m, Tellur-131m, Tellur-132, Ruthenium-103, Ruthenium-106, Zirkonium-95, Cer-141, Cer-144, Neptunium-239, Yttrium-91, Praseodymium-143, Neodymium-147, Curium-242, Jod-132, Jod-133, Jod-135, Antimony-129 und Molybdän-99.¹³

Tabelle 1: Geschätzte Menge des Gesamtausstoßes

Radioactive Isotope	Value	Period of time	Reference
Jod-131	360-390 PBq 319 PBq	12. - 14. März 12. - 15. März	ZAMG ¹⁴ TEPCO ¹⁵
Cäsium-137	50 PBq 35,8 PBq 30,3 PBq	12. - 14. März 12. März – 20. April 12. - 15. März	ZAMG ¹⁶ NILU ¹⁷ TEPCO ¹⁸
Strontium-89/90	4,24 PBq	12. - 15. März	TEPCO ¹⁹
Plutonium-238/239/240/241	2.500.000 MBq	12. - 15. März	TEPCO ²⁰
Xenon-133	16.700 PBq 22.300 PBq	12. März – 20. April 12. - 15. März	NILU ²¹ TEPCO ²²

Die Radioisotope wurden durch Windströmungen in Form von radioaktiven Wolken fortbewegt - ähnlich wie bei der Atomkatastrophe von Tschernobyl. Laut NILU gelangten schätzungsweise 79% der Gesamtmenge an Cäsium-137 durch Niederschläge in den Nordpazifik. Circa 19% des Cäsium-137 (6,4 Millionen MBq) gingen über der östlichen Honshu-Insel als Regen oder Schnee nieder.²³ Während der Westen Japans durch seine Gebirgsketten geschützt war, wurden große Gebiete im Nordosten der Honshu-Insel, einschließlich der Hauptstadtregion um Tokio, durch radioaktive Niederschläge kontaminiert. Eine radioaktive Wolke verursachte eine Kontaminationsschneise mit einer Länge von über 40 km und einer Breite von etwa 20 km, und beinhaltete einige besonders stark betroffene Gebiete, in denen der Niederschlag am höchsten war.²⁴ Die restlichen 2% des Cäsium-137 gingen weiter östlich nieder, als die radioaktive Wolke am 15. März Nordamerika und am 22. März Europa erreichte.²⁵ Drei Wochen nach dem Erdbeben zeigten alle Messstationen in der nördlichen Hemisphäre erhöhte atmosphärische Strahlenwerte. Mitte April begannen die Messwerte zu fallen, als die radioaktiven Partikel über Land und Wasser niedergegangen waren.²⁶ Doch auch nach einem Jahr, ist die Freisetzung von radioaktiven Isotopen noch nicht unter Kontrolle. Laut eines TEPCO-Statusberichts vom 27. Januar 2012, wurde die Emission von radioaktivem Cäsium in der Atmosphäre weiterhin auf 60 MBq pro Stunde geschätzt, oder 1.440 MBq pro Tag.²⁷

Bodenkontamination

Der radioaktive Niederschlag von Fukushima enthielt verschiedene Isotope mit unterschiedlichen Eigenschaften. Im Juni und Juli 2011 führte das Japanische Ministerium für Wissenschaft und Technologie (MEXT) Bodenuntersuchungen an 100 Standorten innerhalb eines Umkreises von 80 km um das Atomkraftwerk Fukushima durch. In der gesamten Präfektur wurde eine Kontamination mit diversen radioaktiven Substanzen festgestellt. Die Liste der radioaktiven Isotope, die während der Kernschmelzen freigesetzt wurden, umfasst über 30 Einzelsubstanzen (siehe vorheriges Kapitel). Für die Gesundheit des Menschen am relevantesten sind die folgenden:

- **Strontium-90:** Dieses Isotop hat eine physikalischen Halbwertszeit von 28 Jahren und emittiert Betastrahlung. Es wird nach der Einnahme ähnlich wie Kalzium verstoffwechselt, so dass es vom Knochengewebe aufgenommen wird, wo es über viele Jahrzehnte verbleiben kann (50 Jahre biologische Halbwertszeit). Vom Knochen aus verstrahlt Strontium das sensible, blutproduzierende Knochenmark und kann somit Leukämien und andere maligne Erkrankungen verursachen.²⁸ Die von MEXT durchgeführten Untersuchungen fanden Strontium-90 in Konzentrationen zwischen 1,8 und 32 Bq/kg an Orten außerhalb der 30-km-Evakuierungszone, wie zum Beispiel in Nishigou, Motomiya, Ootama oder Ono.²⁹
- **Jod-131:** Das Radioisotop Jod-131 hat eine relativ kurze Halbwertszeit von 8 Tagen. Nach Einnahme mit der Nahrung verhält es sich wie normales Jod und wird von der Schilddrüse aufgenommen. Dort zerstört es bis zum endgültigen Zerfall das Schilddrüsengewebe durch Beta- und Gammastrahlen und verursacht Schilddrüsenkrebs, insbesondere bei Kindern.³⁰ Im Norden Japans wurde radioaktives Jod in Milch, Trinkwasser und Gemüse gefunden (mehr dazu im späteren Abschnitt über Lebensmittel und Trinkwasser). Laut der IAEO, wurden am 22. und 23. März bis zu 36.000 Bq/m² Jod-131 gemessen.³¹ Bodenproben in den Gemeinden Nishigou, Izumizaki, Ootama, Shirakawa, Nihonmatsu, Date, Iwaki, Iitate, Ono, Minamisoma und Tamura zeigten Jod-131 Konzentrationen zwischen 2.000 und 117.000 Bq/kg. In der Gemeinde Ono, 40 km südwestlich von Fukushima Dai-ichi, fanden MEXT-Wissenschaftler bis zu 7.440 Bq/kg Jod-131 in Regenwasserproben.³² Im Juni 2011 fand man nach wie vor Jod-131 Konzentrationen über 200 Bq/kg in den meisten der obengenannten Gemeinden, mit maximalen Konzentrationen von 1.300 und 1.100 Bq/kg in Namie beziehungsweise Iitate.³³ Da die Halbwertszeit von Jod-131 lediglich 8 Tage beträgt, können Messungen in dieser Höhe, 90 Tage nach dem ursprünglichen Niederschlag am 15. März, entweder eine extrem hohe anfängliche Bodenkontamination bedeuten, oder weitere Kontaminationen der Region mit Jod-131 während dieser Zeit.
- **Cäsium-137:** Das Radioisotop Cäsium-137 hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren. Es wird nach der Einnahme ähnlich wie Kalium verstoffwechselt und somit relativ gleichmäßig im Körper verteilt. Cäsium ist vorwiegend ein Betastrahler, sein Zerfallsprodukt Barium-137m produziert jedoch auch Gammastrahlen. Es kann in praktisch jedem Organ solide Tumore verursachen. Cäsium-137 hat eine biologische Halbwertszeit von 70 Tagen und wird, ähnlich wie Kalium, über den Urin ausgeschieden. Folglich akkumuliert es in der Harnblase, wo es zur Verstrahlung der angrenzenden Gebärmutter und, im Falle einer Schwangerschaft, auch des Fötus führen kann.³⁴ In einem ausführlichen Bericht vom Mai 2011 stellt das französische Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (IRSN) fest, dass ca. 874 km² außerhalb der 20-km-Evakuierungszone mit radioaktivem Cäsium kontaminiert wurden. Das IRSN schätzt die Konzentration auf mehr

als 600.000 Bq/m², ähnlich wie in der Evakuierungszone um das Atomkraftwerk von Tschernobyl. In Japan erreichten Bodenproben Cäsiumwerte von bis zu 30.000.000 Bq/m² in der radioaktiven Schneise nordwestlich des havarierten Kraftwerks und bis zu 10.000.000 Bq/m² in den benachbarten Präfekturen.³⁵ Im April 2011 wurden von den MEXT-Wissenschaftlern in den Gemeinden Iitate, Kawamata, Name, Katsurao und Nihonmatsu 30 Bodenproben zwischen 30.000 und 220.000 Bq/kg Cäsium-137 gefunden.³⁶ Sogar noch höhere Werte mit bis zu 420.000 Bq/kg wurden im August 2011 gemessen.³⁷ Gemäß IAEO erreichten Cäsium-137-Ablagerungen am 22. und 23. März in Tokyo 340 Bq/m².³⁸ Hohe Konzentrationen radioaktiven Cäsiums wurden auch in Rindfleisch, Reis, Milch, Fisch, Trinkwasser und anderen Nahrungsmitteln festgestellt (mehr dazu im späteren Abschnitt über Lebensmittel und Trinkwasser).

Tabelle 2: Halbwertszeit radioaktiver Isotope³⁹

Isotop	Physikalische HWZ	Biologische HWZ	Effektive HWZ
Jod-131	8 Tage	80 Tage	7,3 Tage
Cäsium-137	30 Jahre	70 Tage	70 Tage
Strontium-90	28 Jahre	50 Jahre	18 Jahre

Verseuchung des Meeres

Zur Kühlung der Reaktoren wurden enorme Wassermengen benötigt. Es fielen somit auch große Mengen von radioaktivem Abwasser an, welche seit Beginn der Katastrophe ununterbrochen ins Meer abgelassen werden, in den Boden und die Grundwasserdepots versickern, oder in die Atmosphäre verdunsten. Laut des offiziellen Berichts der japanischen Regierung ließ TEPCO im Zeitraum vom 4. bis 10. April absichtlich 10.393 Tonnen radioaktives Wasser in den Ozean ab.⁴⁰ Nach einer ersten Schätzung von TEPCO betrug die Gesamtradioaktivität des ins Meer geleiteten Abwassers 4,7 PBq. Wissenschaftler der Japanischen Atomenergiebehörde (JAEA) und der Universität von Kyoto schätzten die Gesamtmenge auf 15 PBq, da der radioaktive Niederschlag bei der Schätzung durch TEPCO ignoriert wurde.⁴¹ Berechnungen der IRSN zufolge ist sogar eine Gesamtmenge von 27 PBq zu erwarten.⁴² Ungeachtet auf welche der Berechnungen man sich schließlich einigen wird, stellt der die Katastrophe von Fukushima die höchste jemals gemessene radioaktive Verseuchung der Weltmeere dar.⁴³ ⁴⁴ Nach einem umfassenden Berichts der IAEO gilt die Katastrophe von Fukushima, gemeinsam mit den oberirdischen Atomwaffentests, dem radioaktivem Niederschlag von Tschernobyl und den radioaktiven Emissionen von nuklearen Wiederaufbereitungsanlagen wie Sellafield oder La Hague, bereits als eine der Hauptursachen radioaktiver Verseuchung der Weltmeere.⁴⁵

Messungen des Meerwassers in der Nähe des Atomkraftwerks Fukushima, durchgeführt von der IAEO und der deutschen Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), zeigten Konzentrationen von radioaktivem Jod von 130.000 Bq/l, während Konzentrationen von radioaktivem Cäsium bis zu 63.000 Bq/l festgestellt wurden.⁴⁶ ⁴⁷ In der Gegend um das Atomkraftwerk beliefen sich die Cäsiumwerte in Bodenproben auf 910 Bq/kg.⁴⁸ Nach Angaben des Japanischen Atomindustrieforums (JAIF), lag der Wert für Jod-131 im Meer in der Nähe des Reaktors 2 7,5 Millionen mal höher als es die Sicherheitsobergrenze erlaubt.⁴⁹ Die Konzentration von Cäsium-137, 28 km vor der Küste, war wesentlich höher, als die im Meer gemessenen Werte nach Tschernobyl.⁵⁰ Selbst 60 km von der japanischen Küste entfernt erreichten Strahlungsmessungen 100 Bq/l, sowohl an der Wasseroberfläche, also auch in tiefem Wasser.⁵¹ Im Juli 2011 waren Cäsium-137 Messungen in den Küstengewässern vor Japan weiterhin mehr als 10.000 mal höher als korrespondierende Messungen aus dem Jahr 2010.⁵²

Die Gewässer nordöstlich des Atomkraftwerks Fukushima zählen zu den wichtigsten Fischfanggebieten der Welt. Etwa die Hälfte des japanischen Fischfangs kommt aus diesem Gebiet. Fische und andere Meerestiere in der Präfektur Ibaraki zeigten erhöhte Werte radioaktiver Isotope und mussten wie radioaktiver Abfall behandelt werden (mehr dazu im Abschnitt über Lebensmittel und Trinkwasser).⁵³ ⁵⁴ Es wird oft behauptet, der Verdünnungseffekt vermindere die Auswirkungen durch den ins Meer abgelassenen, radioaktiven Abfall auf Umwelt und die Nahrungskette. Es muss jedoch bedacht werden, dass die radioaktiven Partikel durch Verdünnung nicht verschwinden, sondern sich lediglich über ein größeres Gebiet verteilen. Dies ist aus zwei Gründen gefährlich: Durch die Verbreitung radioaktiver Kontamination im Pazifischen Ozean sind mehr Menschen potentiell betroffen, da es keinen sicheren minimalen Grenzwert für Radioaktivität gibt.⁵⁵ Sogar die kleinste Menge kann, mit Wasser und Nahrung aufgenommen, Krebs im menschlichen Organismus verursachen. Zweitens kommt es durch die trophische Kaskade zu einer Ansammlung von Radioaktivität in Fischen, welche höher in der Nahrungskette stehen und dann von Menschen verzehrt werden. Zum Beispiel stieg das Niveau von radioaktivem Cäsium in Seebarschen, gefangen im nördlichen Pazifik, von März bis September 2011 kontinuierlich an, mit einer maximalen Kontamination von 670 Bq/kg am 15. September.⁵⁶

Kontamination von Lebensmitteln und Trinkwasser

Wie bereits erwähnt, gibt es keinen sicheren unteren Grenzwert für Radioaktivität bei Nahrungsmitteln und Trinkwasser. Potenziell können sogar geringste Mengen zu Genmutationen und Krebs führen.⁵⁷ Laut Schätzungen der GRS wird eine Person durch die Aufnahme von Nahrungsmitteln und Trinkwasser normalerweise ungefähr 0,3 mSv an interner Strahlung pro Jahr ausgesetzt. Um übermäßigen Gesundheitsrisiken vorzubeugen, sollte dies als das zulässige radioaktive Niveau durch Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme betrachtet werden. Um dieses Niveau nicht zu überschreiten, sollte die radioaktive Menge Cäsium-137 8 Bq/kg in Milch und Babynahrung sowie 16 Bq/kg in allen anderen Nahrungsmitteln nicht übersteigen. Radioaktives Jod, mit seiner kurzen Halbwertszeit, sollte in Lebensmitteln überhaupt nicht auftauchen.⁵⁸ In Japan beträgt das zugelassene Niveau von radioaktivem Cäsium allerdings 200 Bq/kg in Milch und Babynahrung und 500 Bq/kg in allen anderen Nahrungsmitteln. Für radioaktives Jod beträgt das zugelassene Niveau 300 Bq/kg für Milch und Babynahrung und 2.000 Bq/kg für Gemüse.^{59 60}

Die Kernschmelzen von Fukushima verursachten eine bedeutende Verseuchung von Nahrungsmitteln und Trinkwasser in Japan. Laut der IAEO ergaben eine Woche nach dem Erdbeben nahezu alle Gemüse- und Milchproben in Ibaraki und Fukushima Werte von Jod-131 und Cäsium-137, die selbst die hohen japanischen Grenzwerte für Nahrungsmittel und Trinkwasser übertrafen.⁶¹ In den Monaten nach der Katastrophe wurden noch höhere Kontaminationen in gewissen Lebensmitteln gefunden:

- **Obst und Gemüse:** Außerhalb der Evakuierungszone in der Präfektur Fukushima fand sich in der MEXT-Untersuchung eine Woche nach dem Erdbeben verseuchtes Gemüse in den Gemeinden Iitate, Kawamata, Tamura, Ono, Minamisoma, Iwaki, Tsukidate, Nihonmatsu, Sirakawa, Sukagawa, Ootama, Izumizaki und Saigou, einige mit Konzentrationen von Jod-131 in Höhe von 2.540.000 Bq/kg und von Cäsium-137 in Höhe von 2.650.000 Bq/kg. Einen Monat nach den Kernschmelzen wurden in einigen Regionen nach wie vor Jod-131 Konzentrationen über 100.000 Bq/kg und Cäsium-137 Konzentrationen über 900.000 Bq/kg festgestellt.⁶² In der Präfektur Ibaraki, ca. 100 km südlich des Atomkraftwerks von Fukushima, fand die Regierung Spinat mit Konzentrationen von radioaktivem Jod von bis zu 54.100 Bq/kg und radioaktivem Cäsium von bis zu 1.931 Bq/kg. Neben Spinat enthielten andere Gemüseproben ebenfalls Radioisotope, vor allem Senfpflanzen mit 1.200 Bq/kg Jod-131, Petersilie mit 12.000 Bq/kg Jod-131 und 110 Bq/kg Cäsium-137 und Shiitake-Pilze mit 8.000 Bq/kg Cäsium-137. Geringere Radioaktivität wurden in Salat, Zwiebeln, Tomaten, Erdbeeren, Weizen und Gerste gefunden.⁶³
- **Milch:** Am 20. März warnte die IAEO zum ersten Mal vor Milch aus der Präfektur Fukushima, da sie signifikante Mengen von radioaktivem Jod-131 und Cäsium 137 enthielt.⁶⁴
- **Rindfleisch:** Der Rindfleischvertrieb ist weiterhin beschränkt, da die Mengen von radioaktiven Isotopen in Rindfleisch aus den Präfekturen Fukushima, Toshigi, Mizagi, Iwate immer noch die Grenzwerte überschreiten.⁶⁵
- **Reis:** Laut der Präfekturregierung Fukushimas wurde im Bezirk Onami und in der Stadt Date verseuchter Reis mit Cäsiumkonzentrationen von bis zu 1.050 Bq/kg gefunden.⁶⁶

- **Trinkwasser:** Die IAEA warnte, dass die Grenzwerte von Jod-131 in Trinkwasserproben überschritten wurden, die vom 17. bis 23. März in den Präfekturen Fukushima, Ibaraki, Tochigi, Gunma, Chiba und Saitama gesammelt wurden.⁶⁷ Sogar in nördlichen Bezirken Tokios enthielt Leitungswasser bis zu 210 Bq/l Jod-131.⁶⁸
- **Fisch und Meeresfrüchte:** In Fischen und Meeresfrüchten die in der Nähe des Atomkraftwerks Fukushima Dai-ichi gefangen wurden, fand man Konzentrationen von radioaktivem Cäsium zwischen 500 und 1.000 Bq/kg.⁶⁹ Im April 2011 wurde durch das Fischereiministerium Fukushimas radioaktives Jod und Cäsium in Sandaalen gemessen, jeweils mit einer Aktivität von bis zu 12.000 Bq/kg.⁷⁰ Das unabhängige französische Labor für Radioaktivität ACRO ermittelte Werte von über 10.000 Bq/kg in Algen außerhalb der 20-km-Evakuierungszone. Eine Probe zeigte sogar Messwerte von 127.000 Bq/kg Jod-131, 800 Bq/kg Cäsium-134 und 840 Bq/kg Cäsium-137.⁷¹
- **Tee:** Nach Aussage der Präfekturregierung von Shizuoka, ca. 400 km von Fukushima entfernt, wurden Teeblätter gefunden, welche mit 679 Bq/kg radioaktivem Cäsium-137 verseucht waren. Im Juni 2011 wurde aus Japan stammender, radioaktiv belasteter Grüner Tee in Frankreich entdeckt.⁷²

Fallbeispiel – Das Dorf litate

Das Dorf litate ist ein Beispiel für die Folgen von radioaktivem Niederschlag auf eine typische japanische Wohngegend. Die Explosion von Reaktor 2 und das brennende Abklingbecken des Reaktors 4 führten am 15. März 2011 zu einem massiven Ausstoß von Radioisotopen, welche durch die vorherrschenden Winde ca. 40 km Richtung Nordwesten getragen wurden. Der radioaktive Niederschlag ereignete sich über dem Dorf litate um 18:00 Uhr des selben Tages. Da das Dorf außerhalb der 20-km-Evakuierungszone liegt, wurden keine Evakuierungsmaßnahmen getroffen.⁷³

Zwei Wochen nach dem radioaktiven Niederschlag fanden Forscher des Japanischen Wissenschaftsministeriums (MEXT), der Universität Hiroshima und der Universität Kyoto Dosisleistungen von 2-3 $\mu\text{Sv/h}$ in Staubproben aus Gebäuden und zwischen 2-44 $\mu\text{Sv/h}$ im Freien.^{74 75} Ein Kind in litate wäre somit, wenn es 8 Stunden im Freien und 16 Stunden in Gebäuden verbringt, 0,4 mSv am Tag ausgesetzt – dem 100-fachen der normalen Hintergrundstrahlung in Japan.⁷⁶ Selbst 5 Monate nach dem Niederschlag wurde radioaktive Strahlung von 16 $\mu\text{Sv/h}$ in Staubproben aus litate gemessen.⁷⁷ Bodenproben aus litate zeigten Cäsiumkonzentrationen von bis zu 227.000 Bq/kg, Strontium-90-Konzentrationen von 32 Bq/kg und Jod-131 Konzentrationen bis zu 1.170.000 Bq/kg. Wissenschaftler berechneten für die 90 Tage nach dem radioaktiven Niederschlag eine individuelle Expositionsdosis im Freien von 30-95 mSv, abhängig von Bewegungsmuster und Gewohnheiten.⁷⁸ Dies macht das 80 bis 260-fache der natürlichen Hintergrundstrahlung aus und entspricht 1.500-4.750 Thorax-Röntgenuntersuchungen über drei Monaten (ein Thorax-Röntgen entspricht einer Dosis von ca. 0,02 mSv)⁷⁹ Solch ein hohes Niveau ist besonders gefährlich für schwangere Frauen, Kinder und Menschen mit einem geschwächten Immunsystem, die anfälliger für die Entwicklung von Krebserkrankungen sind.

Eine weitere Strahlungsquelle für die Bewohner litates stellte das Inhalieren von radioaktivem Staub und die Einnahme von kontaminiertem Essen und Trinken dar. Proben der japanischen Regierung zeigten, dass Gemüse aus litate hoch kontaminiert war, mit mehr als 2.500.000 Bq/kg Jod-131 und mehr als 2.600.000 Bq/kg Cäsium-137.⁸⁰ Es wurde Trinkwasser mit einer Belastung von 965 Bq/l gefunden.⁸¹ Erst am 12. April verfügte die Regierung, dass litate und vier Nachbarortschaften evakuiert werden sollten. Ende Mai war die Evakuierung größtenteils abgeschlossen – mehr als sechs Wochen nach dem initialen radioaktiven Niederschlag. Bis jetzt gibt es noch keine veröffentlichten epidemiologischen Studien über die gesundheitlichen Folgen der in litate lebenden Bevölkerung (Geburtenstatistik, Morbidität, etc.).

Auswirkungen auf die Gesundheit

Wenn man die Auswirkungen auf die Gesundheit durch die Fukushima-Katastrophe diskutiert, ist es zunächst wichtig, zwischen verschiedenen Gruppen mit unterschiedlichen Risikokonstellationen zu unterscheiden:

- **Angestellte, Rettungs- und Aufräumarbeiter:** Am akutesten durch hohe Strahlung betroffen waren die Arbeiter und das Notfallpersonal in und um das havarierte Atomkraftwerk. Auf Grund von Messungen des Japanischen Atomindustrieforums JAIF erreichten Strahlungswerte im Inneren des Kraftwerks bis zu 1.000 mSv/h. Ein solches Niveau ist tödlich für Menschen, die ihm mehr als ein paar Stunden ausgesetzt sind.⁸²
⁸³ Während die anfänglichen Emissionen in die Atmosphäre allmählich nachließen, kam es im Verlauf weiterhin zu massivem Strahlungsaustritt auf der Anlage, insbesondere durch die Ausspülung von kontaminiertem Kühlwasser, welches bis heute kontinuierlich in das Kraftwerk gepumpt wird. Am 1. August, fünf Monate nach dem Erdbeben, wurden extreme Dosisleistungen bis zu 10 Sv/h auf dem Gelände des Atomkraftwerks festgestellt. Dies gefährdete die Aufräumarbeiter.⁸⁴ Nach Angaben des Japanischen Atomindustrieforums waren seit März 8.300 Arbeiter für die Rettungs- und Aufräumarbeiten im Einsatz. Im Juli verkündete TEPCO, dass 111 Arbeiter Strahlung von mehr als 100 mSv ausgesetzt worden waren, einige mit 678 mSv.⁸⁵ Ein Artikel in Nature spricht sogar von 167 Arbeitern, die Dosen von mehr als 100 mSv erhalten haben. Berichte, dass einige Firmen ihre Mitarbeiter dazu anhielten, persönliche Dosimeter mit Blei abzuschirmen um die Expositionswerte künstlich niedrig zu halten, legen nahe, dass die tatsächliche Zahl deutlich höher liegt. Es wurden keinerlei Auswirkungen durch die Nahrungsaufnahme oder das Einatmen von Radioisotopen berücksichtigt, die im weiteren Verlauf zu Krankheiten führen könnten, wie man sie bei den Liquidatoren nach der Tschernobylkatastrophe fand.⁸⁶ Sechs Arbeiter sind im letzten Jahr gestorben – nähere Angaben zur Ursache dieser Todesfälle sind nicht zu finden.⁸⁷
- **Einwohner der kontaminierten Gebieten:** Nachdem klar wurde, dass im Atomkraftwerk von Fukushima mehrere Kernschmelzen im Gange waren, befahl die Regierung 200.000 Menschen, ihre Häuser zu verlassen, da ein Gebiet von ca. 600 km² rund um das Atomkraftwerk für unbewohnbar deklariert wurde.⁸⁸ Rund 70.000 Menschen, darunter 9.500 Kinder, wohnten auch noch zwei Monate nach Beginn der Katastrophe in hochkontaminierten Gebieten außerhalb der Evakuierungszone.⁸⁹ Die IAEA maß außerhalb der 20-km-Evakuierungszone Ortsdosisleistungen zwischen 16 und 115 µSv/h.⁹⁰ In einer konservativen Hochrechnung der IAEA wurde die Gesamt-Betastrahlung in einem Gebiet 30 bis 32 km vom Atomkraftwerk entfernt mit 3.800.000-4.900.000 Bq/m beziffert.⁹¹ MEXT-Wissenschaftler bestätigten diese Berechnungen durch eigene Bodenuntersuchungen im April 2011: die aufgezeichneten Dosisraten in mehreren Städten der betroffenen Region zeigten über 2 µSv/h in Nihonmatsu, Tamura, Souma, Minamisoma und Date, über 5 µSv/h in Fukushima Stadt und Katsurao, über 10 µSv/h in Kawamata und Hirono, über 50 µSv/h in Namie und über 100 µSv/h in Iitate.⁹² ⁹³ Im August 2011, vier Monate nach dem Unglück, fanden MEXT-Wissenschaftler bis zu 34 µSv/h in Namie, bis zu 16 µSv/h in Iitate und bis zu 17,5 µSv/h in Katsurao.⁹⁴

Das IRSN prognostizierte, dass die externe Strahlenexposition der 70.000 Menschen, die in den kontaminierten Gebieten außerhalb der 20 Km Evakuierungszone leben, bis zu 200 mSv im ersten Jahr und bis zu 4 Sv im Laufe des Lebens erreichen kann. Nicht enthalten ist hierbei innere Strahlung durch Radionuklid-Inkorporation über Nahrung, Luft oder Wasser. Die kollektive externe Strahlendosis, der diese Bevölkerung

über Jahre ausgesetzt sein wird, wurde mit 4.400 Personen-Sievert beziffert. Dies macht etwa 60% der kollektiven Dosis aus, der die Bevölkerung in den hochkontaminierten Gebieten um Tschernobyl ausgesetzt war. Die IRSN schloss, dass nur die Evakuierung der Menschen aus diesen Gebieten zu einer entscheidenden Reduktion der Strahlenexposition führen könne.⁹⁵ Vom MEXT im April 2011 veröffentlichte Daten scheinen diese Berechnungen zu bestätigen. Die MEXT-Wissenschaftler prognostizieren darin eine Jahresdosis von bis zu 235,4 mSv pro Person in Katsurao, 15,6 mSv in Minamisoma und mehr als 10 mSv in Fukushima City und Koriyama, beide mehr als 55 km vom Atomkraftwerk entfernt.⁹⁶ Die natürliche Hintergrundstrahlung in Japan beträgt 1,48 mSv pro Jahr.⁹⁷ Im April 2011 berechnete das Japanische Gesundheitsministerium, dass die Bevölkerung in diesen Städten im erste Jahr nach der Katastrophe mehr als dem 6 bis 160-fachen der normale Hintergrundstrahlung ausgesetzt sein würde. Im Mai 2012 erschien der erste Bericht der WHO, der effektive Strahlungsdosen zwischen 1-50 mSv für die Bewohner der Präfektur Fukushimas und 0,1-10 mSv für Nachbarpräfekturen für das erste Jahr nach der Katastrophe berechnete.⁹⁸ Bei diesen Berechnungen wurde allerdings kein Unterschied zwischen Erwachsenen, Kindern und Säuglingen vermerkt. Auch basierten die Rechnungen auf weitaus niedrigeren radioaktiven Emissions- und Kontaminationsraten als die, die für die IRSN- oder MEXT-Berechnungen verwendet wurden. Die radioaktive Belastung durch Leitungswasser wurde ebensowenig mit einbezogen wie jene durch den Aufenthalt in der 20 km Zone rund um das Atomkraftwerk vor der Evakuierung. Zudem wurden die biophysiologicalen Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen bei der Dosisberechnung nicht berücksichtigt (siehe "Besondere Gefährdung der Kinder"). Die Nahrungsproben, die für den Bericht herangezogen werden, stellen eine sehr selektive Auswahl dar und imponieren durch signifikant niedrigere Strahlenwerte, als Veröffentlichungen des japanischen Wissenschaftsministeriums. Insgesamt stellen diese Prognosen somit wohl eine grobe Unterschätzung der tatsächlichen Strahlendosis dar.

In einer Pressemitteilung vom 23. März 2011 schätzte die Japanische Atomsicherheitskommission, dass die Schilddrüsendosis durch Inhalation von radioaktivem Jod-131 für einjährige Kinder zwischen 100 und 1000 mSv betragen würde.⁹⁹ Die WHO gab in ihrem Bericht vom 24. Mai 2012 eine zu erwartende individuelle Schilddrüsendosis für Bewohner der Präfektur Fukushima zwischen 10 and 200 mSv während des ersten Jahres der Katastrophe an, für die Bewohner des restlichen Landes Dosen zwischen 1 und 10 mSv, räumte allerdings auch ein, dass die Schilddrüsendosis in einigen Ortschaften wie Namie bis zu 200 mSv erreichen könnte.¹⁰⁰ Auch für diese Berechnungen wurden von der WHO weitaus niedrigere Emissions- und Kontaminationsraten herangezogen. Die Exposition der Bevölkerung aus der 20-km Zone bis zur Evakuierung wurde erst gar nicht berücksichtigt und der Effekt von radioaktivem Jod auf diese Bevölkerungsgruppe im WHO-Bericht ignoriert. Dabei ist die Berechnung der Schilddrüsendosis dieser Menschen besonders kritisch, da schützende Jodtabletten wider besseres Wissen nicht verteilt wurden.

- **Personen, die durch die Einnahme kontaminierter Nahrung betroffen sind:** Fukushima verursachte die größte radioaktive Kontamination der Weltmeere, die jemals aufgezeichnet wurde.^{101 102} Dies und die in großem Maßstab kontaminierte Ernte, die Strahlenbelastung des Grundwassers and die hohen zulässigen Mengen von Radioaktivität in Essen und Trinkwasser, hat im Laufe eines Jahres zur Aufnahme von Radionuklides wie Jod-131, Strontium-90 und Cäsium-137 geführt, und zwar nicht nur in Japan, sondern in praktisch allen Anrainerstaaten des Nordpazifiks und überall dort, wo kontaminierte Produkte auf Märkten oder in den Regalen der Supermärkte landeten. Wie bereits im Abschnitt über Lebensmittel und Trinkwasser be-

richtet, fanden Untersuchungen der MEXT einen Monat nach der Kernschmelze Gemüse, welches mit Jod-131 Konzentrationen über 100.000 Bq/kg und Cäsium-137 über 900.000 Bq/kg kontaminiert war. Die externe Strahlungs-dosis dieses Gemüses allein lag zwischen 10 und 30 $\mu\text{Sv/h}$.¹⁰³

Berechnung der Strahlendosis

Wenn man die Aktivität kennt (in Bq gemessen) und diese mit einem Dosiskoeffizienten multipliziert, ist es möglich die interne Strahlungs-dosis (in Sv gemessen) zu berechnen. 2010 veröffentlichte das Europäische Komitee für Strahlungsrisiken (ECRR) solche Dosiskoeffizienten, speziell für atomare Katastrophen, bei denen interne Strahlungsexposition durch die Aufnahme oder Inhalation eine große Rolle bei der Entwicklung von Krebserkrankungen spielen.¹⁰⁴ Mit Hilfe dieser Dosiskoeffizienten (im Folgenden detailliert aufgelistet) kann berechnet werden, dass die inneren Organe eines Erwachsenen, welcher 500g einer Nahrung aufnimmt, die mit 100.000 Bq/kg Jod-131 und 900.000 Bq/kg Cäsium-137 kontaminiert ist, etwa 34,8 mSv ausgesetzt sein würden. Wie oben erwähnt, beträgt die normale interne Exposition durch Nahrungsaufnahme 0,3 mSv pro Jahr.¹⁰⁵ Wenn man nur 500g dieser kontaminierten Nahrung zu sich nimmt, beträgt die interne Strahlenexposition also mehr als das 100-fache der normalen internen Exposition über ein ganzes Jahr. Für Kinder zwischen 1-14 Jahren wäre die interne Strahlungsexposition doppelt so hoch als bei Erwachsenen. Für Kleinkinder und Föten ist die Auswirkung radioaktiv kontaminierter Nahrung sogar noch schädlicher, wie die verschiedenen Dosiskoeffizienten in Tabelle 3 und die exemplarische Berechnung in Tabelle 4 zeigen.

Tabelle 3 – Dosiskoeffizienten nach Ingestion von Radionukliden in Sv/Bq, nach Alter sortiert¹⁰⁶

Isotope	Fetus	Child < 1 year	Child 1-14 years	Adult
Iodine-131	5.5×10^{-6}	5.5×10^{-7}	2.2×10^{-7}	1.1×10^{-7}
Caesium-137	3.2×10^{-6}	3.2×10^{-7}	1.3×10^{-7}	6.5×10^{-8}
Strontium-90	4.5×10^{-4}	4.5×10^{-5}	1.8×10^{-5}	9.0×10^{-6}

Tabelle 4: Beispielsrechnung für interne Strahlenexposition durch kontaminierte Nahrung bei Kindern:*

Probenart	Menge	Aktivität	Isotope	Säugling < 1 J	Kind 1-14 J
Fukushima Gemüse März 2011 ¹²	500g	2.540.000 Bq/kg	Jod-131	698,5 mSv	279,40 mSv
Fukushima Gemüse März 2011 ¹²	500g	2.650.000 Bq/kg	Cäsium-137	424 mSv	172,25 mSv
Fukushima Gemüse April 2011 ¹²	500g	100.000 Bq/kg	Jod-131	27,50 mSv	11 mSv
Fukushima Gemüse April 2011 ¹²	500g	900.000 Bq/kg	Cäsium-137	144 mSv	58,50 mSv
Ibaraki Spinat März 2011 ¹³	500g	54.100 Bq/kg	Jod-131	14,88 mSv	5,95 mSv
Ibaraki Spinat März 2011 ¹³	500g	1.931 Bq/kg	Cäsium-137	0,31 mSv	0,13 mSv
Fukushima Reis, November 2011 ¹⁶	500g	1.050 Bq/kg	Cäsium-137	0,17 mSv	0,07 mSv
Leitungswasser in Iitate 20. März 2011 ¹	1 l	965 Bq/l	Jod-131	0,53 mSv	0,21 mSv
Leitungswasser in Tokyo 23. März 2011 ¹⁶	1 l	210 Bq/l	Jod-131	0,12 mSv	0,05 mSv
Seebarsch, im September 2011 gefangen ¹⁷	500g	670 Bq/kg	Cäsium-137	0,11 mSv	0,04 mSv

* Die durchschnittliche Jahresdosis von interne Strahlenexposition durch Lebensmittel beträgt 0,3 mSv, also ca. 0,0008 mSv pro Tag. All diese Berechnungen liegen deutlich über dieser Tagesdosis.

Abschätzung der gesundheitlichen Folgen

Das „Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR)“ der US-amerikanischen Akademie der Wissenschaften veröffentlichte in seinem Bericht „Health risks from exposure to low levels ionizing radiation (BEIR-VII)“ ein Modell zur Berechnung des Krebsrisikos, auch bekannt als linear no-threshold Modell. Unter Berücksichtigung der Auswirkungen von ionisierender Strahlung im menschlichen Gewebe berechnete das BEIR-Komitee, dass 1 Sv bei einem von 10 Menschen eine Krebserkrankung verursacht, 100 mSv bei einem von 100 und 10 mSv bei einem von 1000 und so weiter.¹⁰⁷ Diese Rechnungsbeispiele machen klar, dass jede auch noch so kleine Strahlendosis statistisch gesehen zu einem erhöhten Risiko führt, eine Krebserkrankung zu entwickeln. Eine niedriggradige Bestrahlung eines großen Kollektivs kann somit zu einer ähnlich hohen Krebsinzidenz führen wie die hochgradige Bestrahlung eines kleinen Kollektivs. Wissenschaftlich oder politisch definierte Grenzwerte grenzen somit nicht Strahlendosen ohne Risiko von solchen mit Risiko ab, sondern lediglich Dosen, bei denen ein „akzeptables Risiko“ besteht von Dosen, bei denen das Risiko nicht mehr als akzeptabel gilt. Die Grenze „akzeptabler Risiken“ wird dabei von jeder Gesellschaft unterschiedlich bewertet. Ein Beispiel aus einem anderen Bereich kann dies illustrieren: in manchen Ländern oder Familien mag das Fahrradfahren ohne Helm als akzeptables Risiko gelten und somit erlaubt sein, andere Länder oder Individuen können es jedoch als nicht akzeptabel definieren und das Fahren ohne Helm verbieten. Es ist dabei wichtig, sich vor Augen zu führen, dass Strahlengrenzwerte vor allem politisch und weniger wissenschaftlich-medizinisch definiert werden.

Studien nach Tschernobyl haben gezeigt, dass nach einem Atomunfall die interne Niedrigstrahlung von unter 100 mSv nach Aufnahme von radioaktiven Isotopen jedoch der relevantere Expositionsweg sein kann.^{108 109} Die strahlenden Partikel verbleiben im Körper, beschädigen innere Organe und können viele Jahre nach der ursprünglichen Exposition zur Krebsentwicklung führen. Nach der Katastrophe von Tschernobyl veröffentlichte das „International Journal of Cancer“ eine Studie, welche 41.000 zusätzliche Krebsfälle und mehr als 15.000 zusätzliche Todesfälle infolge des radioaktiven Niederschlags berechnete.¹¹⁰ Fehlbildungen, genetische Mutationen, Unfruchtbarkeit und Totgeburten stiegen nach der nuklearen Katastrophe 1986 ebenfalls signifikant an. Zusätzlich zeigen zahlreiche Studien der letzten Jahre eine signifikante Steigerung der Inzidenz von Nicht-Krebs Erkrankungen in der betroffenen Bevölkerung, vor allem bei den überlebenden „Liquidatoren“, den Aufräumarbeitern von Tschernobyl.¹¹¹ Mehr als 100.000 der ursprünglich etwa 800.000 Liquidatoren sind bereits verstorben, im Durchschnitt im Alter von 43 Jahren.¹¹²

Das linear-no-threshold Modell, welches bei der Berechnung der Krebsinzidenzen nach Tschernobyl zum Tragen kam, könnte auch genutzt werden, um die Anzahl von Krebserkrankungen unter der vom Fallout von Fukushima betroffenen Bevölkerung zu prognostizieren. Für die 70.000 Menschen in der hochkontaminierten Region außerhalb der Evakuierungszone berechnete das IRSN eine Gesamtdosis von bis zu 200 mSv im ersten Jahr nach der Katastrophe. Angenommen, dass all diese Menschen im Laufe des ersten Jahres in der Region geblieben wären, läge das Krebsrisiko nach einer groben Schätzung mit dem BEIR Modell bei 2%. In diesem Beispiel würde man erwarten, dass allein in dieser Bevölkerungsgruppe und innerhalb des ersten Jahres zusätzlich etwa 1.400 Menschen auf Grund der Strahlung an Krebs erkranken; und dies berücksichtigt noch nicht die Folgen von innerer Strahlung durch die Ingestion oder Inhalation von radioaktiven Partikeln. Außerdem berücksichtigt dieses Modell nicht die höhere Empfänglichkeit von Strahlung bei Kindern und Menschen mit Immundefekten. Die evakuierte Bevölkerung aus der 20-km Zone ist dabei ebensowenig mit einberechnet wie die übrigen knapp 2 Millionen Einwoh-

ner der Präfektur Fukushima, die ja gemäß der WHO-Studie eine Strahlendosis von 1-50 mSv im ersten Jahr erhalten hätten.¹¹³ Da noch keine Schätzungen hinsichtlich des vollständigen Umfangs innerer Strahlungsexposition durch Ingestion und Inhalation existieren, und da weiterhin Strahlung aus dem Atomkraftwerk Fukushima austritt, sind Berechnungen von zu erwartenden Krebs- oder Todesfällen zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. So kam es zwischen dem 26. März und dem 30. September 2011 laut TEPCO zum weiteren Ausstoß von 11 PBq Jod-131 und 7 PB radioaktiven Cäsiums.¹¹⁴ Die Reaktoren 1-3 müssen auch weiterhin mit ca. 535.200 Litern Wasser pro Tag gekühlt werden, von dem ein nicht zu vernachlässigender Anteil radioaktiv verseucht ins Grundwasser versickert oder in die Atmosphäre verdampft.¹¹⁵ So lag die Emission von radioaktivem Cäsium in die Atmosphäre laut TEPCO Ende Januar 2012 weiterhin bei 1.440 MBq pro Tag.¹¹⁶

Umso bedenklicher sind die Äußerungen des Strahlenrisiko- und Gesundheitsberaters Shunichi Yamashita, der behauptet, dass bei Strahlendosen von bis zu 100 mSv pro Jahr die Rate an Krebsfällen "statistisch nicht signifikant" sei.¹¹⁷ Was für einig statistisch nicht signifikant ist, kann für andere Menschen existentiell sein. Bei einer Dosis von 100 mSv erkrankt etwa eine Person von 100, also 1% der Bevölkerung, zusätzlich an einer Krebserkrankung. Dies als "statistisch nicht signifikant" zu bezeichnen ist bewusste Irreführung. An Stelle solcher falschen Sicherheitsversprechungen wird eine gesamtgesellschaftliche Debatte benötigt, welches Risiko als „akzeptabel“ gelten kann. Wenn Herr Yamashita und die japanischen Behörden ein zusätzliches Krebsrisiko von 1% als akzeptabel bezeichnen, sollten sie das explizit so sagen und nicht hinter Vergleichen mit Referenzwerten für Kraftwerksarbeiter verstecken. Ein Kind ist kein Kraftwerksarbeiter und hat sich nicht aktiv dafür entschieden, mit radioaktiven Substanzen zu hantieren. Kein Arzt würde bewusst eine unnötige Röntgenuntersuchung durchführen, erst recht nicht bei einem Kind oder einer Schwangeren, auch wenn ein Röntgenbild des Oberkörpers "nur" 0,02 mSv an Strahlendosis verursacht. Mit dem Wissen, dass Strahleneffekte stochastischer Natur sind, ist jede gesparte Strahlenexposition eine Reduktion des Krebsrisikos. Eine Exposition von 100 mSv im Jahr, wie von Herrn Yamashita vorgeschlagen, kame etwa 500 Röntgenuntersuchungen gleich – eine Anzahl, die kein Radiologe als "statistisch nicht signifikantes" Risiko für die Gesundheit bezeichnen würde. So schreibt auch der unabhängige Untersuchungsausschuss des japanischen Parlaments in seinem offiziellen Bericht zur Atomkatastrophe:

„Es gibt keinen generell akzeptierten unteren Schwellenwert für Langzeitschäden durch Niedrigdosis-Strahlung. Der Internationale Konsens ist, dass das Risiko proportional zur Dosis steigt. Die Auswirkungen von Strahlung auf die Gesundheit kann von Person zu Person variieren und hängt mit dem Alter, der individuellen Strahlenempfindlichkeit und anderen, teils unbekannt, Faktoren zusammen. Nach dem Unglück erklärte die Regierung einseitig einen Dosis-Grenzwert ohne der Bevölkerung genauere Informationen zu geben, oder Antworten auf Fragen wie: Was ist eine akzeptable Strahlendosis bezüglich der Langzeiteffekte? Wie unterscheiden sich die Folgen von Strahlung für verschiedene Individuen? Wie können sich Menschen vor radioaktiven Substanzen schützen?“¹¹⁸

Besondere Gefährdung der Kinder

Wie bereits erwähnt, sieht man die größten Auswirkungen von Strahlung auf die Gesundheit bei Kindern. Kinder sind schon auf Grund ihrer Gewohnheiten mehr Strahlung ausgesetzt als Erwachsene: sie verbringen generell mehr Zeit außerhalb des Hauses, spielen auf dem Boden, buddeln in Sandkästen, plantschen im Matsch oder bauen Sandburgen am Strand. Kleinkinder neigen zusätzlich dazu, alles in den Mund zu stecken, vor allem Dinge, die sie auf dem Boden finden. Im Mai 2011 veröffentlichte das MEXT eine Liste von Bodenmessungen aus Kindergärten, Schulen und Kindertagesstätten. An keinem der untersuchten Orte ergaben die Messungen Jod-131 Werte unter 1.200 Bq/kg. Die höchsten Messwerte wurden bei einer Grundschule in der Stadt Date gefunden: 6.800 Bq/kg Jod-131.¹¹⁹ In Bezug auf Cäsium-137 lagen Bodenkonzentrationen zwischen 620 Bq/kg und 9.900 Bq/kg.⁸ Die kindliche Physiologie führt zusätzlich dazu, dass Kinder eine größere Empfindlichkeit für Strahlenschäden haben. Relativ zum Körpergewicht haben sie eine größere relative Hautoberfläche, die zudem durchlässiger für Strahlen ist als bei Erwachsenen. Ihr höheres Atemvolumen führt zur vermehrten Aufnahme inhalativer Schadstoffe bei Kindern. Ihr Gewebe hat einen intensiveren Stoffwechsel, ihre Zellen haben eine höhere Mitoserate. Deshalb ist das Risiko einer Erbgutmutation mit Entstehung einer Krebserkrankung statistisch größer als bei Erwachsenen. Da das kindliche Immunsystem noch nicht ausgereift ist und Zellheilungsmechanismen noch unzureichend funktionieren, kann sich das kindliche Gewebe auch schlechter gegen Mutationen wehren. In der Gebärmutter empfängt das ungeborene Kind radioaktive Isotope durch die Nabelvene und kann von radioaktivem Cäsium der Harnblase bestrahlt werden. Radioaktive Isotope wie Jod-131 werden auch durch die Muttermilch übertragen. Nach der Fukushima-Katastrophe erhöhte die japanische Regierung am 19. April 2011 den zulässigen Höchstwert radioaktiver Exposition bei Kindern auf 3,8 µSv/h, was etwa 20 mSv pro Jahr ausmachen würde.¹²⁰ Nach Protesten von Elternorganisationen, Wissenschaftlern und Ärzten wurden am 27. Mai die neuen Richtlinien von der japanischen Regierung wieder aufgehoben, Dosimeter wurden an alle Schüler in der Region verteilt. Man ist zum international üblichen Höchstwert von 1 mSv pro Jahr zurückgekehrt.¹²¹

Jod-131 ist einer der bedeutendsten Faktoren für die Entwicklung einer Krebserkrankung bei Kindern nach einem Atomunfall. Die Aufnahme von radioaktivem Jod kann durch eine rechtzeitige prophylaktische Einnahme von Jodtabletten verhindert werden. Obwohl den Gemeinden und Evakuierungszentren während der ersten Tage der Katastrophe Jodtabletten ausgehändigt worden waren, wurde die Einnahme nie offiziell empfohlen. Der offizielle Bericht der WHO bestätigte im Mai 2012 noch einmal, dass Jodtabletten von der Bevölkerung nicht eingenommen wurden.^{122 123} Dies führte laut WHO-Bericht zu einer erhöhten Schilddrüsendosis in der betroffenen Bevölkerung und könnte in Zukunft zu einer großen Anzahl von Schilddrüsenkrebserkrankungen führen, wie Erfahrungen aus Tschernobyl zeigen. Der Bericht der unabhängigen Untersuchungskommission des japanischen Parlaments stellte hierzu im Juni 2012 fest:

“Obwohl der positive Effekt einer rechtzeitigen Verabreichung von Jodtabletten vollständig bekannt war, waren die Kommandozentrale für nukleare Notfälle in und die Regierung der Präfektur nicht in der Lage, die Öffentlichkeit richtig zu beraten.”¹²⁴

Erste Studien über die Auswirkung von radioaktivem Jod-131 an der Schilddrüse von Kindern wurden bereits durchgeführt. Ende März 2011 testete eine Gruppe Wissenschaftler um Professor Satoshi Tashiro der Universität Hiroshima 1.149 Kinder im Alter von 0 bis 15 Jahren aus Iwaki, Kawamata und Iitate. 44,6% der 1.080 validen Ergebnisse zeigten eine radioaktive Kontamination von bis zu 35 mSv in den Schilddrüsen der Kinder. Die Ergebnisse der Studie wurden am 13. August 2011 vor der Japanischen Pädiatriegesellschaft präsentiert, bis jetzt jedoch noch nicht veröffentlicht.¹²⁵ Im Oktober 2011 hatte die Universität Fukushima mit Schilddrüsenuntersuchungen der 360.000 Kinder begonnen, die in den betroffenen Regionen leben. Die Universität hofft, alle Erstuntersuchungen Ende 2014 abgeschlossen zu haben. Gemäß einer Verlautbarung des Japanischen Atomindustrieforums werden die betroffenen Kinder bis zu ihrem 20. Lebensjahr zweimal im Jahr zu einem Check-up verpflichtet, sowie alle 5 Jahre nach ihrem 20. Lebensjahr bis zum Ende ihres Lebens.¹²⁶

Am 26. April 2012 veröffentlichte die Regierung der Präfektur Fukushima die ersten Ergebnisse des "Resident Health Management Survey", im Rahmen dessen Ultraschalluntersuchungen an Schilddrüsen von 38.114 Kindern zwischen 0 und 18 Jahren durchgeführt worden waren. Bei 184 Kindern (0,5%), wurden Schilddrüsenknoten von mehr als 5 mm und bei 202 Kindern (0,5%) von unter 5 mm gefunden. Schilddrüsenzysten wurden bei 13.398 Kindern (35,1%) gefunden. Diese Befunde sind ausgesprochen untypisch für ein pädiatrisches Kollektiv.¹²⁷ Eine vergleichbare Ultraschallstudie an Kindern aus Nagasaki aus dem Jahr 2000 zeigte nur bei 2 von 250 Kindern (0,8%) Schilddrüsenzysten und keine Knoten. Eine weitere Ultraschallstudie an Kindern aus der durch Tschernobyl-Fallout betroffenen Region Gomel in Weißrussland zeigte allerdings eine ähnlich hohe Rate an Schilddrüsenknoten wie in Fukushima: 342 von 19.660 Kindern (1,74%).¹²⁸ Während Zysten oder Knoten nicht zwangsläufig Krebsvorstufen sind, stellt die Häufung solcher Anomalien in einer pädiatrischen Bevölkerung jedoch ein ungewöhnliches Ereignis dar, das weitere Untersuchungen veranlassen sollte, vor allem mit der Frage, ob ionisierende Strahlung die Ursache für die erhöhte Rate an Schilddrüsenanomalien in Gomel und Fukushima darstellt. Der Autor der Fukushimastudie, Shunichi Yamashita, empfiehlt jedoch, dass 99,5% der an der Studie beteiligten Kinder in den nächsten Jahren keine weiteren Untersuchungen erhalten sollten.¹²⁹

Radioaktives Cäsium ist eine weitere Substanz, die eine Gesundheitsgefahr für Kinder darstellt. In einer umfangreichen Urinuntersuchung, die im November 2011 an 1.500 Kindern aus Minamisoma durchgeführt wurde, fand man Cäsiumkonzentrationen von 20-30 Bq/l, und im Falle eines einjährigen Jungen sogar 187 Bq/l.¹³⁰ Diese Messungen erlauben keine Hochrechnungen der tatsächlichen internen Strahlungsexposition, zeigen jedoch, dass eine gewisse Menge an radioaktivem Cäsium aufgenommen und im Körper verblieben sein muss, um acht Monate nach der Katastrophe noch in Urinproben aufzutauchen.

Ausblick

Bis heute wurde noch keine einzige epidemiologische Studie über die Gesundheitskonsequenzen der Fukushima-Katastrophe in einer Fachzeitschrift mit Peer-Review veröffentlicht. Außer den wenigen, oben zitierten Studien gibt es noch keine wissenschaftlichen Daten, um festzustellen, in welchem Umfang die Bevölkerung tatsächlich betroffen sein wird. Letztlich ist es nicht möglich, auf Grund der vorhandenen Daten eine valide Schätzung der Gesundheitsfolgen der Atomkatastrophe vorzunehmen. Auch die lang erwartete Studie der WHO zum Ausmaß der Strahlenexposition, die im Mai 2012 veröffentlicht wurde, blieb hinter den Erwartungen der Wissenschaft zurück: Die Auswahl der Lebensmittelproben in dem Bericht ist fragwürdig, da sich die zitierten Strahlenwerte signifikant von denen des japanischen Wissenschaftsministeriums unterscheiden. Dies führt zu einer selektiven Unterschätzung der inneren Strahlenexposition. Auch die Schätzungen der Strahlenemissionen aus dem havarierten Kraftwerk liegen deutlich unterhalb der Werte, die von unabhängigen Forschungsinstitutionen und TEPCO selbst angegeben wurden. Der wohl kritischste Punkt in dem Bericht ist jedoch die Tatsache, dass sich das Expertengremium, welches verantwortlich für die Erstellung des Berichts war, vor allem aus MitarbeiterInnen der IAEO und nationaler Atomregulationsbehörden zusammensetzt, denen enge Beziehungen zur Atomwirtschaft nachgesagt werden.** Atomkritische Stimmen kommen in dem WHO-Bericht dagegen nicht zu Wort. Statt einen unabhängigen, wissenschaftlich-medizinischen Bericht zu erstellen, hat die WHO somit ihren Namen für einen Bericht der Atomlobby hergegeben, deren Interesse es ist, die Auswirkungen der Atomkatastrophe herunterzuspielen. Dringend benötigt werden jedoch unabhängige und umfangreiche epidemiologische Studien, um die Folgen der Niedrigstrahlung besser zu verstehen und um das Ausmaß der gesundheitlichen Folgen in den kommenden Jahrzehnten und für kommende Generationen einschätzen zu können. Benötigt werden Untersuchungen, die gänzlich frei sind vom Verdacht der Einflussnahme der Atomindustrie und der Atomregulationsbehörden, deren mangelndes Sicherheitsbewusstsein zu der Katastrophe von Fukushima maßgeblich beigetragen hat und die sich nun ebenso verantworten müssen wie TEPCO und die Politiker, die die Profitgier der Atomwirtschaft mit laxen Sicherheitsstandards und staatlicher Unterstützung jahrelang bedient haben. So kommt der Untersuchungsausschuss des japanischen Parlaments zu folgendem Schluss:

“Japans Regulationsbehörden müssen aufhören, internationale Sicherheitsstandards zu ignorieren (...). Ihre Unabhängigkeit von der Politik, den Ministerien, deren Aufgabe die Förderung der Atomenergie war, und den Betreibern war eine Farce. Sie waren unfähig und ihnen fehlten die Expertise und die Leistungsbereitschaft um die Sicherheit der Atomenergie zu gewährleisten.”¹³¹

Wie auch in Tschernobyl, wird die Akte Fukushima in den kommenden Jahrzehnten nicht abgeschlossen werden. Während kurzlebige Radioisotope wie Jod-131 innerhalb von wenigen Monaten unter ein kritisches Niveau fallen, werden langlebige Substanzen wie Cäsium-137 oder Strontium-90 weiterhin radioaktivität sein und Menschenleben über mehrere Jahrzehnte gefährden. Mehr als die Hälfte der bei der Tschernobyl-Katastrophe 1986 emittierten Menge an Cäsium-137 strahlt weiter, da die Halbwertszeit von 30 Jahren noch nicht erreicht ist. Es ist außerdem notwendig, die Latenzzeit von malignen Erkrankungen zu berücksichtigen, um ein vollständiges Bild der gesundheitlichen Folgen zu erhalten. In Anbetracht der Opfer dieser Katastrophe ist die Behauptung von japanischen Regierungsberatern, der Atomindustrie und die IAEO, die atomare Katastrophe werde sehr wenige bis gar keine Folgen auf die Gesundheit der Menschen haben, nicht nur unwissenschaftlich, sondern zutiefst unmoralisch.

**
**Nach §1.3 und §3.1 des „Agreement Between the International Atomic Energy Agency and the World Health Organization“ hat sich die WHO verpflichtet, ohne die Zustimmung der IAEO keine wissenschaftlichen Artikel zu veröffentlichen.
<http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/agreements-with-other-inter-en.pdf> eingesehen werden.

Schlussfolgerungen:

- Der Schaden am Atomkraftwerk Fukushima Dai-ichi, welcher zur massiven Freisetzung radioaktiver Spaltprodukte führte, wurde hauptsächlich durch das Erdbeben der Größenordnung 9.0 verursacht. Weiterer Schaden entstand durch den darauf folgenden Tsunami. Eine Überhitzung der Brennelemente durch einen kompletten Stromausfall führte dann jeweils zu unabhängigen Kernschmelzen in den Reaktoren 1, 2 und 3, sowie im Abklingbecken des Reaktors 4.
- Durch die Explosionen in den Reaktoren 1-3 und im Abklingbecken des Reaktors 4, den Rauch aus dem daraus folgenden Feuer, die gezielte Entlüftung der Reaktoren, um den Druck zu verringern, sowie der Verdampfung enormer Mengen Kühlwassers kam es zum Ausstoß von mehr als 30 radioaktiven Isotopen in die Atmosphäre. Während Jod-131 und Cäsium-137 die relevantesten radioaktiven Isotope sind, wurden auch Strontium-90, Xenon-133, Plutonium-239 und mehr als zwei Duzend andere radioaktive Substanzen durch radioaktiven Niederschlag in der Region verteilt.
- Die gesamte Emission von Jod-131 in den ersten drei bis vier Tagen der Fukushima-Katastrophe entsprach etwa 20% des gesamten Ausstoßes von Tschernobyl. Die gesamte Emission von Cäsium-137 in den ersten drei bis vier Tagen der Fukushima-Katastrophe entsprach etwa 40-60% des gesamten Ausstoßes von Tschernobyl.
- Durch Rückfluss und das gezielte Ablassen des radioaktiven Abwassers aus dem Atomkraftwerk wurden und werden Meer- und Grundwasser radioaktiv verseucht. Mit dem Abfließen von radioaktivem Wasser mit einer Radioaktivität von etwa 15-27 PBq stellt die Fukushima-Katastrophe die größte singuläre radioaktive Kontamination der Weltmeere dar. Verdünnung und Dispersion könnte die Kontamination in der Umgebung um das Atomkraftwerk reduzieren, führen jedoch zu einer größeren Verteilung der langlebigen radioaktiven Isotope und somit zu einer Gefährdung einer noch größeren Bevölkerung.
- Radioaktiver Niederschlag erfolgte hauptsächlich über dem Nordpazifik (79%), etwa 19% des Niederschlags verseuchte die Osthälfte der Honshu Insel, das Stadtgebiet von Tokio mit eingeschlossen. Dies hinterließ ein mit radioaktiven Isotopen verseuchtes Gebiet von über 1.000 km².
- Etwa 200.000 Menschen waren gezwungen, ihre Häuser zu verlassen, als sie auf unbestimmte Zeit aus einem 20 km² großen Gebiet um das Atomkraftwerk evakuiert wurden.
- Etwa 70.000 Menschen verblieben in einem hochkontaminierten Gebiet von 870 km² Größe außerhalb der Evakuierungszone. Hier wurden die Menschen zum Teil externer Radioaktivität ausgesetzt, die 100 mal höher war als die normale Hintergrundstrahlung.
- Das Risiko des Entstehens von Krebs und anderen strahlungsbedingten Erkrankungen erhöht sich proportional zum Ausmaß der Strahlenexposition. Es existiert kein unterer Schwellenwert, da bereits die geringste Menge Radioaktivität zu einer Gewebsschädigung und zu Genmutationen führen kann.
- Radioaktive Verseuchung wurde in allen Obst- und Gemüsesorten aus der betroffenen Region festgestellt, sowie im Fleisch der Tiere, die auf dem verseuchten Land grasten. Radioaktivität wurde ebenfalls in Milch, Tee und Leitungswasser festgestellt, sogar im Stadtgebiet von Tokio. Das Essen von nur 500g verseuchtem Gemüse kann zu einer inneren Strahlenexposition führen, die mehr als das 100-fache der normalen Jahresmenge an radioaktiver Ingestion bei Erwachsenen beträgt, und mehr als das 200-fache der Jahresmenge bei Kindern.
- Im Nordpazifik gefangener Fisch und Meeresfrüchte sind zum Teil hoch kontaminiert, mit einer deutlichen Akkumulation von Radioaktivität in Tieren, die höher in der Nahrungskette stehen. Ausschwemmung und

Bioakkumulation werden für viele Jahre zu einer radioaktiven Vergiftung der Meeresflora- und fauna führen.

- Kinder sind am stärksten von Radioaktivität betroffen, da ihre Körper strahlenempfindlicher sind und sie durch ihre natürlichen Gewohnheiten einer größeren Dosis ausgesetzt werden. Indem die zulässige radioaktive Dosis auf 20 mSv erhöht und gleichzeitig Jodtabletten systematisch vorenthalten wurden, wurden die Kinder in der Präfektur Fukushima einer unnötig hohen Strahlendosis ausgesetzt.
- Es ist noch zu früh und es existieren noch zu wenig Daten, um das Ausmaß der gesundheitlichen Folgen durch die Atomkatastrophe adäquat einschätzen zu können. Umfangreiche epidemiologische Studien werden benötigt, um die Folgen und das Ausmaß der gesundheitlichen Konsequenzen für die Bevölkerung festzustellen. Es ist wichtig, dass diese Forschung von unabhängigen Forschungsgruppen durchgeführt wird, die keine Verbindungen zur Atomindustrie haben, wie dies beispielsweise bei TEPCO, der JAEA, der IAEO und diesen angegliederten Organisationen der Fall ist.
- Behauptungen von Wissenschaftlern der Atomindustrie, dass keine gesundheitlichen Folgen erwartet werden müssen, sind unwissenschaftlich und unmoralisch.

Abkürzungsverzeichnis:

Wissenschaftliche Einheiten:

- Bq Becquerel, SI Einheit für Radioaktivität
- MBq Megabecquerel (1×10^6 Becquerel)
- PBq Petabecquerel (1×10^{15} Becquerel)
- Sv Sievert, SI Einheit für Äquivalentdosis
- mSv Millisievert (1×10^{-3} Sievert)
- μ Sv Microsievert (1×10^{-6} Sievert)

Abkürzungen:

- BEIR National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation
- CTBT Comprehensive Test Ban Treaty
- ECRR European Committee on Radiation Risks
- GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
- GS Gesellschaft für Strahlenschutz
- IAEO Internationale Atomenergie-Organisation
- INES International Nuclear Event Scale
- IRSN Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- JAEA Japan Atomic Energy Agency
- MAFF Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
- MEXT Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
- NILU Norsk institutt for luftforskning
- TEPCO Tokyo Electric Power Company
- WHO World Health Organization
- ZAMG Österreichische Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamic

Quellen

- 1 "Damage Situation and Police Countermeasures associated with 2011 Tohoku district - off the Pacific Ocean Earthquake", Japanese National Policy Agency, April 15th, 2011
www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo_e.pdf
- 2 Paulitz, Henrik. "The Fukushima disaster - Part 1 - The course of events during the accident up until the reactor core meltdowns and conclusions relating to safety." IPPNW Germany, March 12th, 2012.
http://www.fukushima-disaster.de/fukushima_disaster_accident.pdf
- 3 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 12th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima120311.html
- 4 "TEPCO: Melted fuel ate into containment vessel", Earthquake Report No. 278 by the Japanese Atomic Information Forum, December 1st, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1322709070P.pdf
- 5 "The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission of the National Diet of Japan", page 18-19
http://naic.go.jp/wp-content/uploads/2012/07/NAIIC_report_lo_res2.pdf
- 6 "The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission of the National Diet of Japan", p. 19
http://naic.go.jp/wp-content/uploads/2012/07/NAIIC_report_lo_res2.pdf
- 7 Paulitz, Henrik. "The Fukushima disaster - Part 1 - The course of events during the accident up until the reactor core meltdowns and conclusions relating to safety." IPPNW Germany, March 12th, 2012.
http://www.fukushima-disaster.de/fukushima_disaster_accident.pdf
- 8 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html
- 9 TEPCO/NISA Fukushima Monitoring Data March 11th-18th, 2011
www.jca.apc.org/mihama/fukushima/monitoring/fukushima_monitoring.htm
- 10 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html
- 11 "Accident in the Japanese NPP Fukushima: Large emissions of Cesium-137 and Iodine-131", Austrian Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG), March 24th, 2011
www.zamg.ac.at/docs/aktuell/Japan2011-03-24_1600_E.pdf
- 12 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html
- 13 "Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant", June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html
- 14 "Accident in the Japanese NPP Fukushima: Large emissions of Cesium-137 and Iodine-131", Austrian Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG), March 24th, 2011
www.zamg.ac.at/docs/aktuell/Japan2011-03-24_1600_E.pdf
- 15 "Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant", June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html
- 16 "Accident in the Japanese NPP Fukushima: Large emissions of Cesium-137 and Iodine-131", Austrian Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG), March 24th, 2011
www.zamg.ac.at/docs/aktuell/Japan2011-03-24_1600_E.pdf
- 17 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html
- 18 "Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant", June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html
- 19 "Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant", June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

20 Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant”, June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

21 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html

22 “Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant”, June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

23 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html

24 MEXT, “Estimates of Integrated Dose at Each Continuous Monitoring Location based on Measured Values”, April 24th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110424map_1800rev2_en.pdf

25 Stohl A et al. „Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition“, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, 2011
www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html

26 „Spurenanalyse deutscher Messstellen und weiterer Spurenmessstellen weltweit.“ German Federal Office for Radiation Protection, August 23rd, 2011
www.bfs.de/en/ion/imis/spurenmessungen.html

27 TEPCO, “Current Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station”, January 27, 2012
www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_3.pdf

28 “Toxicological Profile Information”, Agency for Toxic Substances & Disease Registry
www.atsdr.cdc.gov

29 MEXT, “Readings of Radioactive strontium in land soil and plant of Fukushima Dai-ichi NPP”, April 29th, 2011
www.mext.go.jp/component/english/_icsFiles/afieldfile/2011/04/29/1305074_0412.pdf

30 “Toxicological Profile Information”, Agency for Toxic Substances & Disease Registry
www.atsdr.cdc.gov

31 Fukushima Nuclear Accident Update”, IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html

32 Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling”, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

33 Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), “Readings of soil monitoring”, August 7th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files/110806soil_1000.pdf

34 “Toxicological Profile Information”, Agency for Toxic Substances & Disease Registry
www.atsdr.cdc.gov

35 “Assessment on the 66th day of projected external doses for populations living in the North-West Fallout zone of the Fukushima nuclear accident”, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), May 23rd, 2011
www.irsn.fr/EN/news/Documents/IRSN-Fukushima-Report-DRPH-23052011.pdf

36 “Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling”, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

37 Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), “Readings of soil monitoring”, August 7th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files/110806soil_1000.pdf

38 “Fukushima Nuclear Accident Update”, IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html

39 “Table D-2 – Half-Lives of Some Radionuclides in Adult Body Organs” in “Toxicological Profile Information Appendix D. Overview of basic radioation physics, chemistry, and biology”, Agency for Toxic Substances & Disease Registry
www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159-a.pdf

40 Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant”, June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

41 Radioactive release into sea estimated triple”, Japanese Atomic Industrial Forum, Earthquake Report 199, September 9th, 2012
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1315542569P.pdf

42 IRSN, “Synthèse actualisée des connaissances relatives à l'impact sur le milieu marin des rejets radioactifs du site nucléaire accidenté de Fukushima Dai-ichi”, October 26th, 2011
www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI-Impact_accident_Fukushima_sur_milieu_marin_26102011.pdf

43 IRSN, “Synthèse actualisée des connaissances relatives à l'impact sur le milieu marin des rejets radioactifs du site nucléaire accidenté de Fukushima Dai-ichi”, October 26th, 2011
www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI-Impact_accident_Fukushima_sur_milieu_marin_26102011.pdf

44 “Researchers Assess Radioactivity Released to the Ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Facility” Woods Hole Oceanographic Institution, December 6th, 2011
www.whoi.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162

45 “Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) - Radionuclide levels in oceans and seas”, IAEA, Vienna, 2004
www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1429_web.pdf

46 “Fukushima Nuclear Accident Update”, IAEA, March 31st, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima310311.html

47 Weiss D. “Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP”, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin. October 31st, 2011
www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf

48 Weiss D. “Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP”, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin. October 31st, 2011
www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf

49 “TEPCO estimates 520-ton radioactive water into sea”, Earthquake Report No. 60 by the Japanese Atomic Industrial Forum, April 22nd, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1303469228P.pdf

50 “Researchers Assess Radioactivity Released to the Ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Facility” Woods Hole Oceanographic Institution, December 6th, 2011
www.whoi.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162

51 “Researchers Assess Radioactivity Released to the Ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Facility” Woods Hole Oceanographic Institution, December 6th, 2011
www.whoi.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162

52 Buesseler K et al. “Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity”, Environ Sci Technol. 2011 Dec 1;45(23):9931-5
www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22013920

53 Weiss D. “Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP”, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin. October 31st, 2011
www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf

54 “Results of the emergency monitoring inspections – provisional translation” Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), April 13th, 2011
www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/20110413_fukushima_kounago_en.pdf

55 BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation.” National Academies Press, Washington, 2006.
www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8

- 56 Weiss D. "Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP", Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin. October 31st, 2011
www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf
- 57 "BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation." National Academies Press, Washington, 2006.
www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8
- 58 "Calculated Fatalities from Radiation", Study by the German Society for Radiation Protection and German IPPNW, Berlin, September 2011
http://foodwatch.de/foodwatch/content/e10/e42688/e44884/e44993/CalculatedFatalitiesfromRadiation_Reportfoodwatch-IPPNW2011-09-20_ger.pdf
- 59 "Notice No. 0317 Article 3 of the Department of Food Safety", Japanese Ministry of Health, Labor and Welfare, March 17, 2011
www.mhlw.go.jp/english/topics/foodsafety/dl/110318-1.pdf
- 60 "Calculated Fatalities from Radiation", Study by the German Society for Radiation Protection and German IPPNW, Berlin, September 2011
http://foodwatch.de/foodwatch/content/e10/e42688/e44884/e44993/CalculatedFatalitiesfromRadiation_Reportfoodwatch-IPPNW2011-09-20_ger.pdf
- 61 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html
- 62 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf
- 63 "Ibaraki Prefecture Agricultural Products Test Results", Ibaraki Prefectural Government, August 8th, 2011
www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/kokuko/en/links/agriculture_radiation.html
- 64 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 20th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html
- 65 TEPCO, "Current Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station", January 27, 2012
www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_3.pdf
- 66 "Cesium detected from more Fukushima rice", Earthquake Report No. 276 by the Japanese Atomic Information Forum, November 29th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1322541949P.pdf
- 67 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 20th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima200311.html
- 68 "Regarding the Limitation of Tap Water for Infants to Intake - Disaster Information 65th - Translation Edition", Multilingual Support Center for the Tohoku Earthquake out at Pacific Ocean, March 23rd, 2011
<http://eqinfojp.net/?p=2999>
- 69 Weiss D. "Contamination of water, sediments and biota of the Northern Pacific coastal area the vicinity of the Fukushima NPP", Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin. October 31st, 2011
www.eurosafe-forum.org/userfiles/2_2_%20paper_marine%20environment_Fukushima_20111031.pdf
- 70 "Results of the emergency monitoring inspections – provisional translation" Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), April 13th, 2011
www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/20110413_fukushima_kounago_en.pdf
- 71 "Analysis Report: Analysis of Matrices of the Marine Environment (Seaweeds)", ACRO Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité, May 22nd, 2011
www.acro.eu.org/RAP110522-GPJ-01.pdf
- 72 "Test Results for Radioactivity on Tea Produced in Shizuoka Prefecture", Shizuoka Prefectural Government, May 20th, 2011
www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-340/20110520_test_results_radio_activity.html
- 73 Imanaka T et al. "Interim Report on Radiation Survey in Iitate Village area conducted on March 28th and 29th" Iitate Village Area Radioactive Contamination Investigation Team, April 4th, 2011
www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/litate-interim-report110404.pdf

74 Imanaka T et al. "Interim Report on Radiation Survey in Iitate Village area conducted on March 28th and 29th" Iitate Village Area Radioactive Contamination Investigation Team, April 4th, 2011
www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/Iitate-interim-report110404.pdf

75 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

76 MEXT, "Annual doses per person received from nature and man-made source of radiation", May 4th, 2011
www.mext.go.jp/english/incident/_icsFiles/afieldfile/2011/05/04/1303717_01_1.pdf

77 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

78 Imanaka T et al. "Interim Report on Radiation Survey in Iitate Village area conducted on March 28th and 29th" Iitate Village Area Radioactive Contamination Investigation Team, April 4th, 2011
www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/Iitate-interim-report110404.pdf

79 "Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami", WHO, May 2012, p.52
http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf

80 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011

81 "WHO Situation Report No 24 - Focus on food safety and water quality", WHO Western Pacific Region, April 4th, 2011
www.wpro.who.int/NR/rdonlyres/C8F59957-A7B5-4008-B903-79A8BCC6F8DD/0/Sitrep24.pdf

82 "Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant", June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

83 "Status of Fukushima Daiichi nuclear power station", Earthquake Report No. 34 by the Japanese Atomic Industrial Forum, March 28th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1301366039P.pdf

84 "Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station", TEPCO Press Release, August 2nd, 2011
www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11080201-e.html

85 "Status of countermeasures for restoring from the accident at Fukushima Daiichi Unit 1 through 4", Japanese Atomic Industrial Forum, July 18th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1310961346P.pdf

86 Cardis E et al. "Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident." *Int. J. Cancer*: 119, 1224–1235 (2006)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijc.22037/pdf>

87 Interim Findings of Fukushima-Daiichi Assessment presented at the Annual Meeting of UNSCEAR 23. Mai, 2012
<http://www.unis.unvienna.org/unis/pressrels/2012/unisous144.html>

88 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 12th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima120311.html

89 "Assessment on the 66th day of projected external doses for populations living in the North-West Fallout zone of the Fukushima nuclear accident", Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), May 23rd, 2011
www.irsn.fr/EN/news/Documents/IRSN-Fukushima-Report-DRPH-23052011.pdf

90 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html

91 "Fukushima Nuclear Accident Update", IAEA, March 24th, 2011
www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima240311.html

92 Imanaka T et al. "Interim Report on Radiation Survey in Iitate Village area conducted on March 28th and 29th" Iitate Village Area Radioactive Contamination Investigation Team, April 4th, 2011
www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/Iitate-interim-report110404.pdf

93 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

94 Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), "Readings of soil monitoring", August 7th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files/110806soil_1000.pdf

95 "Assessment on the 66th day of projected external doses for populations living in the North-West
Fallout zone of the Fukushima nuclear accident", Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
(IRSN), May 23rd, 2011
www.irsn.fr/EN/news/Documents/IRSN-Fukushima-Report-DRPH-23052011.pdf

96 MEXT, "Estimates of Integrated Dose at Each Continuous Monitoring Location based on
Measured Values", April 24th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110424map_1800rev2_en.pdf

97 MEXT, "Annual doses per person received from nature and man-made source of radiation", 4.5.11,
www.mext.go.jp/english/incident/___icsFiles/afieldfile/2011/05/04/1303717_01_1.pdf

98 WHO, „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earth
quake and Tsunami“. May 23rd, 2012
http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf

99 Nuclear Safety Commission, "A trial calculation using the System for Predicting Environmental
Emergency Dose Information (SPEEDI) network system", March 23rd, 2011
www.nsc.go.jp/NSCenglish/geje/2011%200323%20press.pdf

100 WHO, „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan
Earthquake and Tsunami“. May 23rd, 2012, S. 46-47
http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf

101 IRSN, "Synthèse actualisée des connaissances relatives à l'impact sur le milieu marin des rejets ra-
dioactifs du site nucléaire accidenté de Fukushima Dai-ichi", October 26th, 2011
[www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI-
Impact_accident_Fukushima_sur_milieu_marin_26102011.pdf](http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI-Impact_accident_Fukushima_sur_milieu_marin_26102011.pdf)

102 "Researchers Assess Radioactivity Released to the Ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear
Power Facility" Woods Hole Oceanographic Institution, December 6th, 2011
www.whoi.edu/page.do?pid=7545&tid=282&cid=123049&ct=162

103 "Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling", Ministry of
Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), April 18th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf

104 ECRR, "2010 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk - The Health
Effects of Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation. Annex A: Dose coefficients for the main iso-
topes of radiological interest", Brussels, 2010
www.euradcom.org/2011/ecrr2010.pdf

105 "Calculated Fatalities from Radiation", Study by the German Society for Radiation Protection and
German IPPNW, Berlin, September 2011
[http://foodwatch.de/foodwatch/content/e10/e42688/e44884/e44993/CalculatedFatalities
fromRadiation_Reportfoodwatch-IPPNW2011-09-20_ger.pdf](http://foodwatch.de/foodwatch/content/e10/e42688/e44884/e44993/CalculatedFatalities
fromRadiation_Reportfoodwatch-IPPNW2011-09-20_ger.pdf)

106 ECRR, "2010 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk - The Health
Effects of Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation. Annex A: Dose coefficients for the main iso-
topes of radiological interest", Brussels, 2010
www.euradcom.org/2011/ecrr2010.pdf

107 "BEIR VII report, phase 2: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation."
National Academies Press, Washington, 2006.
www.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=8

108 ECRR, "2010 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk - The Health
Effects of Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation. Annex A: Dose coefficients for the
main isotopes of radiological interest", Brussels, 2010
www.euradcom.org/2011/ecrr2010.pdf

109 Yablokov A et al. "Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environ-
ment", Annals of the New York Academy of Sciences Volume 1181, December 2009
<http://bit.ly/mo29TZ>

110 Cardis E et al. "Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl
accident." Int. J. Cancer: 119, 1224–1235 (2006)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijc.22037/pdf>

111 Yablokov A et al. "Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environ-
ment", Annals of the New York Academy of Sciences Volume 1181, December 2009
<http://bit.ly/mo29TZ>

112 IPPNW, GFS: "Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl: 25 Jahre nach der Reaktorkatstrophe"
http://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Tschernobyl_Studie_2011_web.pdf

113 WHO, „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earth
quake and Tsunami“. May 23rd, 2012
http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf

114 IAEA. „Fukushima Daiichi Status Report, 31 May 2012“
<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/statusreport310512.pdf>

115 IAEA. „Fukushima Daiichi Status Report, 31 May 2012“
<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/statusreport310512.pdf>

116 TEPCO, “Current Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station”, January 27, 2012
www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_3.pdf

117 Meyer, Cordula. 'People Are Suffering from Radiophobia' SPIEGEL August 19th 2011.
[http://www.spiegel.de/international/world/studying-the-fukushima-aftermath-people-are-suffering-](http://www.spiegel.de/international/world/studying-the-fukushima-aftermath-people-are-suffering-fromradiophobia-a-780810.html)
[fromradiophobia-a-780810.html](http://www.spiegel.de/international/world/studying-the-fukushima-aftermath-people-are-suffering-fromradiophobia-a-780810.html)

118 The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission of
the National Diet of Japan
http://naic.go.jp/wp-content/uploads/2012/07/NAIIC_report_lo_res2.pdf

119 MEXT, “Calculation Results and Basis regarding Internal Exposure - Studied in Summarizing the
“Tentative Approach”, May 12th, 2011
http://eq.wide.ad.jp/files_en/110512release1_en.pdf

120 “Notification of interim policy regarding decisions on whether to utilize school buildings and outdoor
areas within Fukushima Prefecture” MEXT, April 19th, 2011
www.mext.go.jp/english/incident/1306613.htm

121 MEXT, “Immediate Measures toward Reducing the Radiation Doses that Pupils and Others Receive
at Schools, etc. in Fukushima Prefecture”, May 27th, 2011
http://radioactivity.mext.go.jp/en/important_information/0001

122 WHO, „Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan
Earthquake and Tsunami“. May 23rd, 2012, p.49
http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf

123 “Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Acci-
dent at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Plant”, June 2011
www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

124 “The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation
Commission of the National Diet of Japan”, p. 39
http://naic.go.jp/wp-content/uploads/2012/07/NAIIC_report_lo_res2.pdf

125 “Radiation effect on children's thyroid glands”, Earthquake Report No. 173 by the Japanese Atomic
Industrial Forum, August 14th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1313293033P.pdf

126 “Thyroid checkups begin for Fukushima children”, Earthquake Report No. 230 by the Japaese
Atomic Information Forum, October 10th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1318217190P.pdf

127 “Resident Health Management Survey” of Fukushima Prefecture”, April 26th, 2012
<http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/240125shiryuu.pdf>

128 Ishigaki, Katsu et al. “Urinary iodine levels and thyroid diseases in children; comparison between
Nagasaki and Chernobyl”. Endocrine Journal 2001, 48 (5), 591-595
<https://docs.google.com/file/d/0B6kP2w038jEAAQkIDRIpNdk5RN2s/edit?pli=1>

129 “Resident Health Management Survey” of Fukushima Prefecture”, April 26th, 2012
<http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/240125shiryuu.pdf>

130 “Radioactivity in Fukushima children's urine”, Earthquake Report No. 256 by the Japanese Atomic In-
dustrial Forum, November 5th, 2011
www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1320469975P.pdf

131 “The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission
of the National Diet of Japan”, p. 20
http://naic.go.jp/wp-content/uploads/2012/07/NAIIC_report_lo_res2.pdf