

Umweltradioaktivität

Zu den Auswirkungen der Reaktorkatastrophe von Fukushima auf den Pazifik und die Nahrungsketten

Von Stephan Moldzio, Thomas Dersee, Dirk Zimmermann, Josef Lutz, Rolf Bertram, Anton Eisenhauer*

Die nukleare Katastrophe von Fukushima ist auch lange nach dem Erdbeben vom 11. März 2011 nicht unter Kontrolle. Große Mengen Radioaktivität werden nach wie vor freigesetzt, wodurch nicht nur weite Landstriche unbewohnbar gemacht werden, sondern auch die Luft und das Wasser des Pazifiks vor der Ostküste Japans betroffen sind. Die Informationspolitik der Betreibergesellschaft TEPCO und der japanischen Regierung sowie die dürftige Datenlage und fehlende Erfahrungswerte machen eine Einschätzung der Verbreitung und der Gefährdung durch die freigesetzte Radioaktivität nach wie vor sehr schwierig. Langfristige und weit reichende Auswirkungen können aber erwartet werden. Im Folgenden soll eine Einschätzung auf Grundlage der verfügbaren Informationen unterommen werden.

Die betroffene Region und ihre Bedeutung für die Fischerei

Nordöstlich der Reaktoren liegt im Zusammenfluss der beiden Meeresströmungen des warmen Kuroshio und des kalten Oyashio eines der fischreichsten Gebiete der Welt. Die dort aktive japanische Fischerei stellt die Hälfte der in Japan konsumierten Fischprodukte. Gefangen werden Sardinen, Thunfische, Seehechte, Lachse, Alaska-Seelachs, Makrelen, Eidech-

senfische, Meerbrassen, Krabben, Garnelen, Tintenfische. Hinzu kommen Venusmuscheln, Austern und Seetang sowie Produkte aus der überwiegend küstennahen Aquakultur. Letztere stellen gut ein Fünftel der gesamten Fischmenge.

Fisch ist ein Grundnahrungsmittel in Japan und lässt sich in seiner Bedeutung mit dem Reis vergleichen. Daher sind Fischfang und Fischverarbeitung ein wichtiger Wirtschaftsbereich für das Land. Japan ist weltweit der fünfgrößte Fischproduzent, der Pro-Kopf-Kopfverbrauch liegt bei über 60 Kilogramm Fisch im Jahr und ist damit fast viermal so hoch wie in Deutschland. Der hohe Fischkonsum führt dazu, dass Japan auch der weltweit größte Importeur von Fisch ist.

Entgegen der öffentlich vertretenen Einschätzung, die Radioaktivität würde sich durch die Meeresströmungen verdünnen und daher keine Gefahr darstellen, werden schon jetzt immer mehr zum Teil stark radioaktiv belastete

Fische angelandet. Vorerst betrifft dieses Problem hauptsächlich Japan. Das Land exportiert nur einen Bruchteil des gefangenen Fisches, so importierte Deutschland im vergangenen Jahr nur ca. 60,3 Tonnen aus Japan. Dem stehen Gesamtimporte von 900.000 Tonnen in Japan gegenüber. Ein anderer Blick ergibt sich, wenn der Pazifische Ozean betrachtet wird, der Japan umschließt und in dem nicht nur japanische Fischer fangen. Nach der vom Fischverband veröffentlichten Darstellung der FAO-Fanggebiete (Abb. 1) werden für das Japan umgebende FAO-Fanggebiet 61 die folgenden Fischarten ausgewiesen: Alaska-Seelachs (*Theragra chalcogramma*), Pazifischer Kabeljau (*Gadus macrocephalus*), pazifische Scholle (*Lepidopsetta spp.*), Seeteufel (*Lophius piscatorius*) und Wildlachs (*Oncorhynchus spp.*). Für das Fanggebiet 67 nennt die vorgenannte Quelle die folgenden Fische: Alaska-Seelachs (*Theragra chalcogramma*), Dornhai (*Squalus acanthias*), Hering (*Clupea harengus*), Pazifischer Kabeljau (*Gadus macrocephalus*), Makrele (*Scomber scombrus*), pazifische Scholle (*Lepidopsetta spp.*), Seehechte (*Merluccius spp.*), Seeteufel (*Lophius piscatorius*) und Wildlachs (*Oncorhynchus spp.*).¹ Japan züchtet ferner Algen, Muscheln und Fische auch in Aquakulturen. Der Anteil der Krebs- und Weichtiere an den für den Verzehr gedachten Importen betrug zwischen 26,8 (2009), 70,0 (2010) und 88,6 (2008) Prozent.

Wie groß ist die Gesamtmenge der freigesetzten Radioaktivität?

Wie viel Radioaktivität aus Fukushima-Daiichi bisher freigesetzt wurde, kann nur geschätzt werden. Die japanische Regierung hatte den Unfall am 12. März 2011 auf Level 4, am 18. März 2011 auf Level 5 und am 12. April 2011 schließlich auf Level 7

der INES-Skala eingestuft.

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) hatte bereits am 26. März 2011 auf Grundlage von Radioaktivitätsmessungen von weltweit 60 zertifizierten Stationen, die für die Kontrolle der Einhaltung des Atomteststop-Vertrages eingerichtet worden waren („CTBTO Messungen“) erklärt, dass die bis dahin aus den havarierten Atomreaktoren von Fukushima freigesetzten Radionuklidmengen von gleicher Größenordnung wie die aus Tschernobyl freigesetzten Mengen seien.² (Abb. 2)

Die Gesamtmenge des in den Brennstäben enthaltenen radioaktiven Jod-131 wurde von TEPCO auf 81 Millionen Terabecquerel ($\sim 810 \times 10^{17}$ Becquerel (Bq)) geschätzt. Die japanische Atomaufsichtsbehörde NISA schätzte am 13. April 2011, dass bis zu diesem Zeitpunkt ca. $1,30 \times 10^{17}$ Bq Jod-131 freigesetzt worden sind.³

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) schätzte aufgrund der CTBTO-Messungen während der ersten drei Tage des Unfalls die Quellstärke von Jod-131 allerdings auf etwa $1,0 \times 10^{17}$ Becquerel pro Tag.²

Oft wird die Reaktorkatastrophe von Fukushima mit der in Tschernobyl verglichen.

Einige wesentliche Unterschiede zu Tschernobyl:

1. Es gibt mehrere Kernschmelzen. In den Abklingbecken lagern die Brennstäbe zum Teil unter freiem Himmel.
2. Unter Berücksichtigung der Brennelemente in den Abklingbecken ist das nukleare Inventar in Fukushima circa 120 mal so groß wie in Tschernobyl.⁴
3. In Tschernobyl wurde durch den Graphitbrand ein großer Teil des radioaktiven Inventars ausgeblasen. In Fukushima wird die Kernschmelze noch über viele Jahre weiter bestehen. In der

* Stephan Moldzio, Dipl. biol., Meeresbiologe, Braunschweig
 Thomas Dersee, Dipl.-Ing., Strahlentelex, Schöneiche bei Berlin
 Dirk Zimmermann, Dipl.-Agrarbiologe, Hamburg
 Prof. Dr.-Ing. Josef Lutz, Professor für Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit, TU Chemnitz
 Prof. Dr. rer. nat. Rolf Bertram, i. R., ehem. Professor für Physikalische Chemie, TU Braunschweig
 Prof. Dr. rer. nat. Anton Eisenhauer, Professor für Marine Umweltgeologie, Kiel
 Kontakt: Dipl. biol. Stephan Moldzio, Eschenburgstr. 6, 38106 Braunschweig, moldzi@aol.com

Kernschmelze läuft die Kettenreaktion mit den Brennstoffen (Uran, Plutonium) unter ständiger Freisetzung von Neutronen weiter.

4. Die Bevölkerungsdichte in dieser Region Japans ist etwa 15mal höher als in der Ukraine.

5. Ein Großteil der Radioaktivität entweicht in Fukushima über das Kühlwasser direkt ins Meer, verteilt sich dort über die Meeresströmungen, mit unvorhersehbaren Folgen für den Pazifik, die Nahrungsketten und damit auch für den Menschen. Äußerst fischreiche Bestände vor der Nordostküste Japans sind betroffen, eine Ausbreitung auf z.B. Seelachs in der Beringsee liegt im Bereich des Möglichen.

Eines kann mit Bestimmtheit gesagt werden: Eine so große Freisetzung von Radioaktivität ins Meer hat es nach unserer Kenntnis bisher noch nicht gegeben.

Welche radioaktiven Substanzen wurden freigesetzt?

In der Kernschmelze entstehen durch die unkontrolliert ablaufenden Kernreaktionen eine Reihe von radioaktiven Zerfallsprodukten sowie durch die Aufnahme von thermischen Neutronen durch das Uran-238 das alpha-Teilchen emittierende und daher extrem gefährliche Plutonium-239.

In der Tabelle 1 ist eine Auswahl von den etwa 50 Isotopen aufgeführt, die in Kernreaktoren entstehen.

Weitere Radionuklide sind u.a.: Cäsium-136, Barium-140, Lanthan-140, Cerium-144, Arsen-74, Chlor-38, Yttrium-91, Silber-110, Uran und Neptunium-Isotope.

Die japanische Atomaufsichtsbehörde NISA berichtete am 12. Juni 2011, dass bei einer Grundwasserprobe um Reaktor 2, genommen am 18. Mai 2011, hohe Strontium-Werte gemessen wurden: 19.000 Bq/l Strontium-89 und 63.000 Bq/l Strontium-90.

Das spricht dafür, dass mindestens ein Kern den Sicherheitsbehälter durchgeschmolzen hat und nun direkten Kontakt zum Grundwasser und zur Biosphäre hat.

In Meerwasser-Proben nahe der Einlassöffnung des Kraftwerks wurde der Grenzwert an radioaktivem Strontium um das 240fache überschritten. Die NISA führte dies auf Leckagen von hochradioaktivem Wasser zurück.⁵

Das in den Brennstäben der Fukushima-Reaktoren vorhandene Plutonium besteht je nach Abbranddauer bis zu 12 Prozent aus Plutonium-241, bei den verwendeten MOX-

| Radionuklid | Halbwertszeit | Zerfallsart | Zerfallsprodukte |
|---------------|---------------|---------------------|---|
| H-3 (Tritium) | 13,32 Jahre | β^- | He-3 (stabil) |
| I-131 | 8,02 Tage | β^- | Xe-131 (stabil) |
| I-134 | 52,5 Minuten | β^- | Xe-134 (stabil) |
| Cs-137 | 30,17 Jahre | β^- | Ba-137 (stabil) |
| Cs-134 | 2,06 Jahre | β^- | Ba-134 (stabil) |
| Xe-133 | 5,25 Tage | β^- | Cs-133 (stabil) |
| Kr-85 | 10,76 Jahre | β^- | Rb-85 (stabil) |
| Sr-90 | 28,78 Jahre | β^- | Y-90 \rightarrow Zr-90 (stabil) |
| Sr-89 | 50,53 Tage | β^- | Y-89 (stabil) |
| Te-129m | 33,6 Tage | β^- | I-129 \rightarrow Xe-129 (stabil) |
| Fe-55 | 2,73 Jahre | K-Einfang, γ | Mn-55 (stabil) |
| Pu-238 | 87,7 Jahre | α | U-234 \rightarrow Th-230 \rightarrow ... |
| Pu-239 | 24110 Jahre | α | Uran-235 \rightarrow Th-231 \rightarrow ... |
| Pu-241 | 14,35 Jahre | β^- | Am-241 \rightarrow ... |
| Am-241 | 432,3 Jahre | α | Np-237 \rightarrow ... |

Tabelle 1: Halbwertszeiten, Zerfallsarten und Zerfallsprodukte einiger ausgewählter Radionuklide

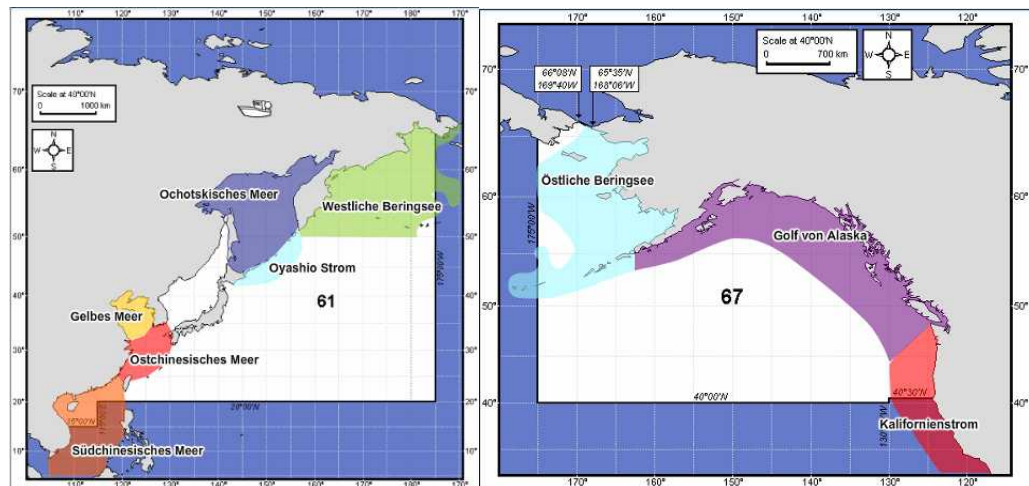


Abbildung 1: Die von der nuklearen Katastrophe von Fukushima am stärksten betroffenen Fischfanggebiete 61 und 67 im Nordpazifik. Quelle: FAO (IV-2000): FAO-Fanggebiete, Fisch-Informationszentrum e.V., www.fischverband.de/faokarte

Brennelementen kann der Anteil wesentlich größer sein. Plutonium-241 ist ein Betastrahler und wandelt sich mit einer Halbwertszeit von 12,9 Jahren zu Americium-241 um. Mit dem Mengenzuwachs von Americium-241 auf Kosten der Menge von Plutonium-241 steigt die Alpha-Aktivität (in Bq gemessen) innerhalb von 15 Jahren um das 300fache an. Americium-241 ist einer der energiereichsten Alphastrahler (5,4 MeV) mit einer Halbwertszeit von 432 Jahren. Von Organismen aufgenommen ist die Radiotoxizität von Americium-241 je nach Ablageort im Körper um bis zu 3 Größenordnungen größer als von Plutonium.⁶

Wie ist das Mengenverhältnis zwischen den verschiedenen freigesetzten Radionukliden?

Cäsium-134, Cäsium-137 und Jod-131 sind relativ einfach nachzuweisen und werden deshalb als Leitnuklide verwendet. Für die anderen radioaktiven Substanzen gibt es keine flächendeckenden Messungen, weshalb deren Mengen aus einem bestimmten Verhältnis von freigesetzten Radionukliden geschätzt werden muss.

Das Aktivitätsverhältnis (Bq) der verschiedenen in Fukushima freigesetzten Radionuklide kann aus vielen Einzelmessungen nur ge-

schätzt werden. „Den bisher veröffentlichten Messergebnissen aus Japan zufolge liegen Cäsium-137 und Cäsium-134 in ungefähr gleichen Anteilen im Fallout vor. Die Höhe des Gehalts an Strontium-90 und Plutonium-239 ist fraglich, ausreichende derartige Messergebnisse werden nicht so schnell erhältlich sein.“⁷

Generell ist die Messung von alpha-Strahlern wie Plutonium kompliziert und dauert etwa 3 Wochen. Erst Anfang April wurden einzelne Ergebnisse für Plutonium und Strontium für Mitte März genommene Proben veröffentlicht.

Das japanische Wissenschafts-

ministerium MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) veröffentlichte erst Anfang April einzelne Ergebnisse für Plutonium und Strontium für Mitte März genommene Proben und seitdem auch nicht wieder.⁸

Bei den oberirdischen Atom-bombentests betrug das Verhältnis zwischen Plutonium-239/-240, Cäsium-137, Strontium-90 und Tritium: **1 : 52 : 36 : 9375**

Bei den Emissionen durch die WAA Sellafield betrug das Verhältnis zwischen Plutonium-239/-240, Cäsium-137, Strontium-90 und Tritium: **1 : 59 : 9 : 26**⁹

Nach 2 Jahren Brenndauer beträgt in den Brennstäben das Verhältnis zwischen Plutonium-239, Cäsium-137, Cäsium-134, Strontium-90 üblicherweise: **1 : 200 : 50 : 150**⁷

In der Vergangenheit sind bereits zahlreiche radioaktive Quellen in die Weltmeere eingeflossen:

- Fallout der oberirdischen Atomtests seit den 1950er Jahren
- Fallout von Tschernobyl
- versenkter Atom-müll, versenkte Atom-U-Boote
- Einleitung flüssigen Atom-mülls durch die Atomfabriken (WAA) Sellafield und La Hague
- Radioaktivität durch diverse „Störfälle“ an AKWs
- Radioaktivität durch AKWs im „Normalbetrieb“
- Freisetzung „natürlicher Radioaktivität“ bei der Förderung von Öl und Gas

Nach Fukushima sind die Messwerte im Ozean um das Kraftwerk um mehrere Größenordnungen höher, als nach dem Super-GAU von Tschernobyl im Schwarzen Meer und in der Ostsee. Die Aktivität von Cäsium-137 wird für die vergleichende Bewertung als Leitnuclid benutzt. Um die Auswirkungen von Fukushima in der Zukunft abschätzen zu können, bemühen sich Wissenschaftler des Ozeanographischen Instituts

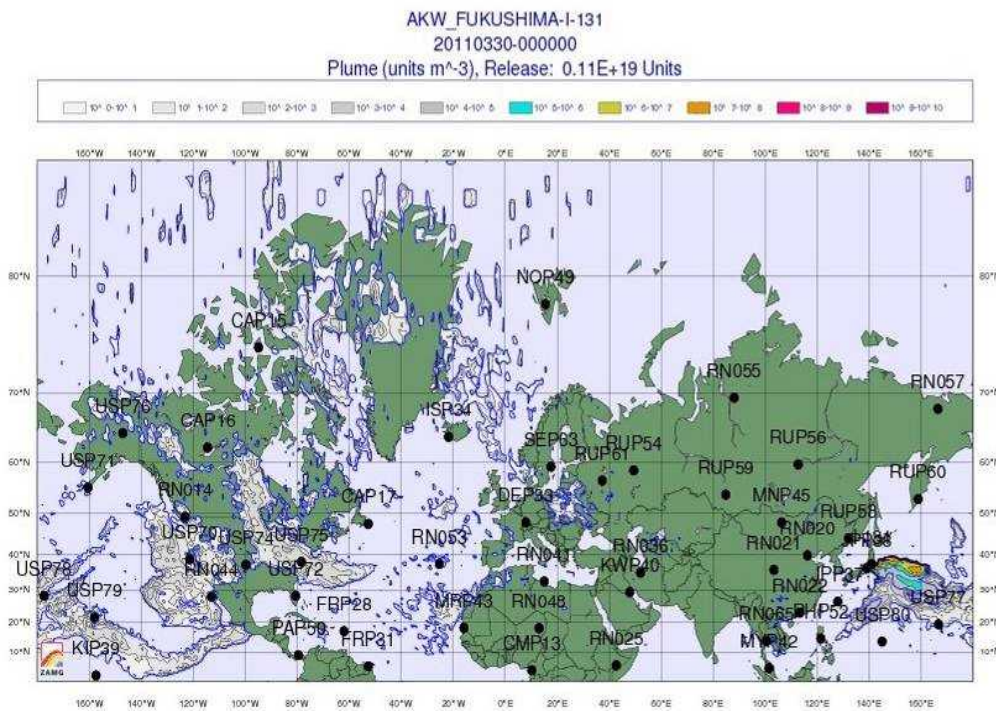


Abbildung 2: Globale Verbreitung der radioaktiven Rauchfahne am 30.3.2011, ausgehend von Fukushima-Daiichi. Nachweis von Jod-131 durch weltweit 60 Messstationen. Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2011): www.zamg.ac.at/aktuell/index.php?seite=6&artikel=ZAMG_2011-04-03GMT10:11

| | Pu-239, -240 | Cs-137 | Sr-90 | H-3 |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Atomwaffentests bis in die 70er | 11,84*10 ¹⁵ | 617,9*10 ¹⁵ | 425,5*10 ¹⁵ | 111000*10 ¹⁵ |
| Verhältnis Pu:Cs:Sr:T | 1 | 52 | 36 | 9375 |
| WAA Sellafield, 1957-1978 | 0,518*10 ¹⁵ | 30,7*10 ¹⁵ | 4,81*10 ¹⁵ | 13,69*10 ¹⁵ |
| Verhältnis Pu:Cs:Sr:T | 1 | 59 | 9 | 26 |

Tabelle 2: Inventar der Weltmeere an künstlichen Radionukliden durch Atomwaffentests und die WAA Sellafield. Quelle: Needler, G.T., Templeton, W.L. (1981): Oceanus, Vol. 24, S. 62

Woods Hole, die Hintergrundaktivität von Cäsium-137 im Pazifik und Atlantik zum jetzigen Zeitpunkt zu erfassen.¹⁰

Welche Messungen sind bisher für den Pazifik erfolgt?

Die Radioaktivität im Pazifik wird von TEPCO und vom japanischen Wissenschaftsministerium MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) gemessen. Ein „Meeres-Experte der IAEA aus Monaco“ hat die japanischen Behörden JAMESTEC, MEXT, MOE, MOFA unterwiesen.¹² Die Unabhängigkeit der Messungen steht damit in Frage.

Von zahlreichen Verbänden und Organisationen wurde die Informationspolitik der japanischen Behörden und des Betreibers TEPCO kritisiert

und unabhängige und umfassendere Messungen gefordert.

Im Informationsmaterial der Offenen Akademie zur Einschätzung der nuklearen Katastrophe in Japan heißt es: „Sofort müssen flächendeckend Messungen der radioaktiven Belastung in ganz Japan erfolgen, die öffentlich zugänglich gemacht werden und von unabhängigen Organisationen kontrolliert werden müssen. Dies gilt auch für die notwendigen systematischen Messungen der Strahlenbelastung im Pazifik. Die Verharmlosung der Entwicklung und Desinformation durch die japanische Regierung und durch TEPCO muss sofort eingestellt werden!“¹¹

Von der IAEA wurden am 12. April 2011, 19. April 2011 und am 1. Juni 2011 drei spärliche Berichte über die

Messungen im Pazifik veröffentlicht. Der Bericht der IAEA vom 19. April 2011 fasst die Daten von TEPCO und MEXT zusammen:¹²

Es werden nur Jod-131 und Cäsium-134 und -137 gemessen, keine anderen Radionuklide, wie etwa Strontium-90 oder Plutonium-Isotope.

Das MEXT hat seit dem 23. März 2011 acht Messpunkte 30 Kilometer offshore entlang der Küste („MEXT 1-8“) eingerichtet. Ende März/Anfang April wurden 4 weitere Messpunkte ergänzt (MEXT A, B, 9 und 10), die sich circa 40 Kilometer nördlich, bzw. südlich des Kraftwerks befinden, in etwa 10 Kilometer, bzw. 20 Kilometer Entfernung zur Küste. Ende April wurden die Messpunkte SI-S4 eingerichtet. Ab dem 23. März 2011

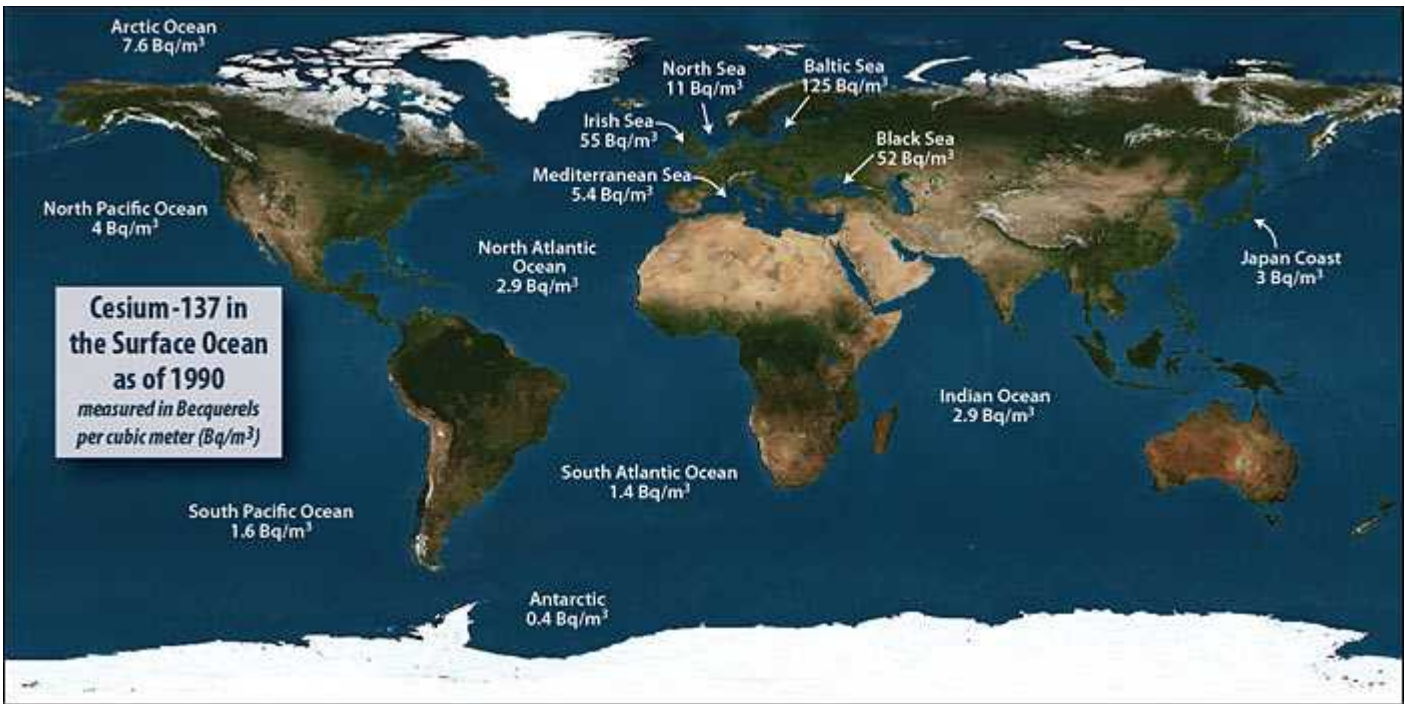


Abbildung 3: **Aktivität von Cäsium-137 (Bq/m³) in den Weltmeeren im Jahre 1990.** Quelle: Woods Hole Oceanographic Institution, National Science Foundation, Press Release 11-100, 18.5.2011, www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=119577&org=NSF&from=news

Readings of Sea Area Monitoring at Post Out of Fukushima Dai-ichi NPP
Result of Radioactivity Concentration in the Sea (outer layer)

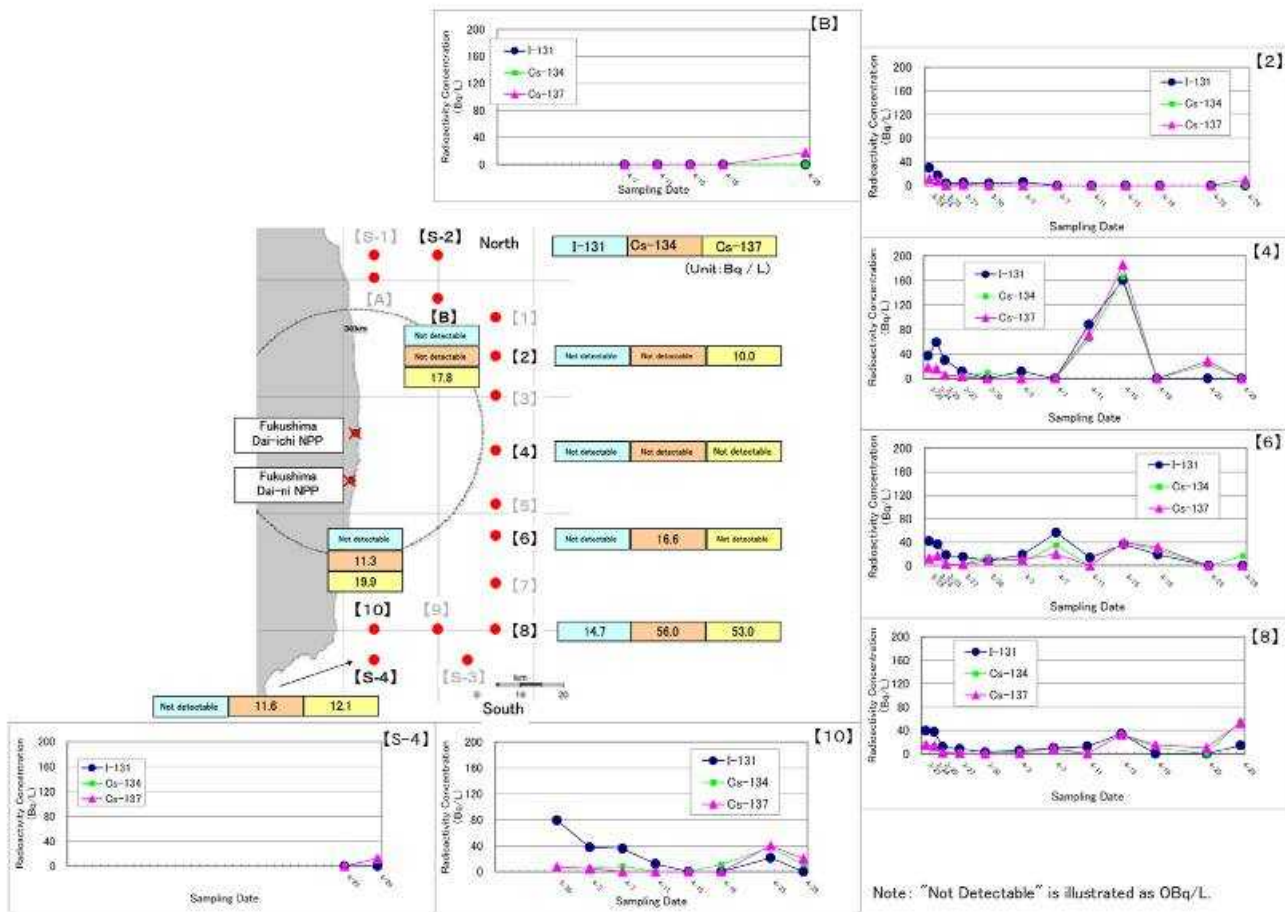


Abbildung 4: **Messpunkte des japanischen Wissenschaftsministerium (MEXT) um Fukushima-Daiichi im Pazifik. Messwerte von Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 in Bq/l im Oberflächenwasser.** Quelle: MEXT (2011): "Important Information from Japanese Government", www.eq.wide.ad.jp/files_en/110501ocean_en.pdf

wurde zunächst nur Oberflächenwasser beprobt, ab dem 30. März 2011 auch Wasser aus etwa 51 bis 172 Meter Tiefe, und seit dem 25. April 2011 auch Wasser aus mittlerer Tiefe (30 bis 95 Meter Tiefe).

Die Daten vom MEXT sind veröffentlicht unter http://eq.wide.ad.jp/monkasho_en/misc_en.html

Am 15. April 2011 wurden an „MEXT-4“ im Oberflächenwasser in 30 Kilometer Entfernung zur Küste folgende Maximalwerte gemessen:

160 Bq/l Jod-131, 160 Bq/l Cäsium-134 und 190 Bq/l Cäsium-137.¹³ (Abb. 4)

Es wurden bisher nur vereinzelt Messungen des Sediments durchgeführt. TEPCO-Mes-

sungen des Meeresbodens in 3 Kilometer Entfernung zur Küste vom 29. April 2011 ergaben Aktivitäten von 190 Bq/kg Jod-131; 1300 Bq/kg Cäsium-134 und 1400 Bq/kg Cäsium-137.¹⁴

Das MEXT hat um den 10. Mai 2011 und um den 26. Mai 2011 an jeweils 12 Messpunkten in ca. 20 bis 40 Kilometer Entfernung zur Küste Messungen durchgeführt, die Höchstwerte von 260 Bq/kg Cs-134, 320 Bq/kg Cs-137 und 140 Bq/kg Te-129 ergaben.¹⁵

TEPCO hat seit dem 21. März 2011 vier küstennahe Messpunkte vor Fukushima-Daiichi und Daini („TEPCO 1-4“) eingerichtet. Seit dem 5. April werden sechs weitere Messpunkte 15 Kilometer offshore

beprobt („TEPCO 5-10“). Die höchsten Werte wurden an TEPCO 1 und 2 gemessen: In 330 Meter Entfernung zum Abflussrohr der Blöcke 1 bis 4, bzw. 30 Meter vom Abflussrohr der Blöcke 5 und 6 entfernt (Abb. 5).

Im Bericht der IAEA wird verkündet, dass die Messwerte an TEPCO 5-10 für Jod-131, bzw. Cs-137 „unter 0,5 kBq/l“ liegen und an TEPCO 1-4 „unter 20 kBq/l nach dem 9. April“.¹²

Tatsächlich waren die Werte vor dem 9. April 2011 noch weitaus höher, mit Maximalwerten von 180.000 Bq/l für Jod-131 (30. März 2011, TEPCO-1, 330 Meter entfernt von Abflussrohr Blöcke 1 bis 4) und 66.000 Bq/l für Cäsium-137 (7. April 2011,

TEPCO-2, 30 Meter entfernt von Abflussrohr Blöcke 5 und 6).

Die Messwerte von TEPCO und MEXT zeigen, dass das Meer um Fukushima-Daiichi hochgradig kontaminiert ist.

TEPCO und MEXT gehen davon aus - wenn keine weitere Radioaktivität freigesetzt wird - dass die Messwerte an den 30 Kilometer offshore gelegenen Mess-Stationen durch Verdünnung in tiefere Wasserschichten und durch Ozeanströmungen weiter sinken werden.

Die freigesetzte Aktivität löslicher Radionuklide wie Jod oder Cäsium wird sich also mit der Zeit in Abhängigkeit von den Meeresströmungen weiträumig verteilen. Wenn an bestimmten Messpunkten

Concentrations in sea water near discharge point of TEPCO 1-4

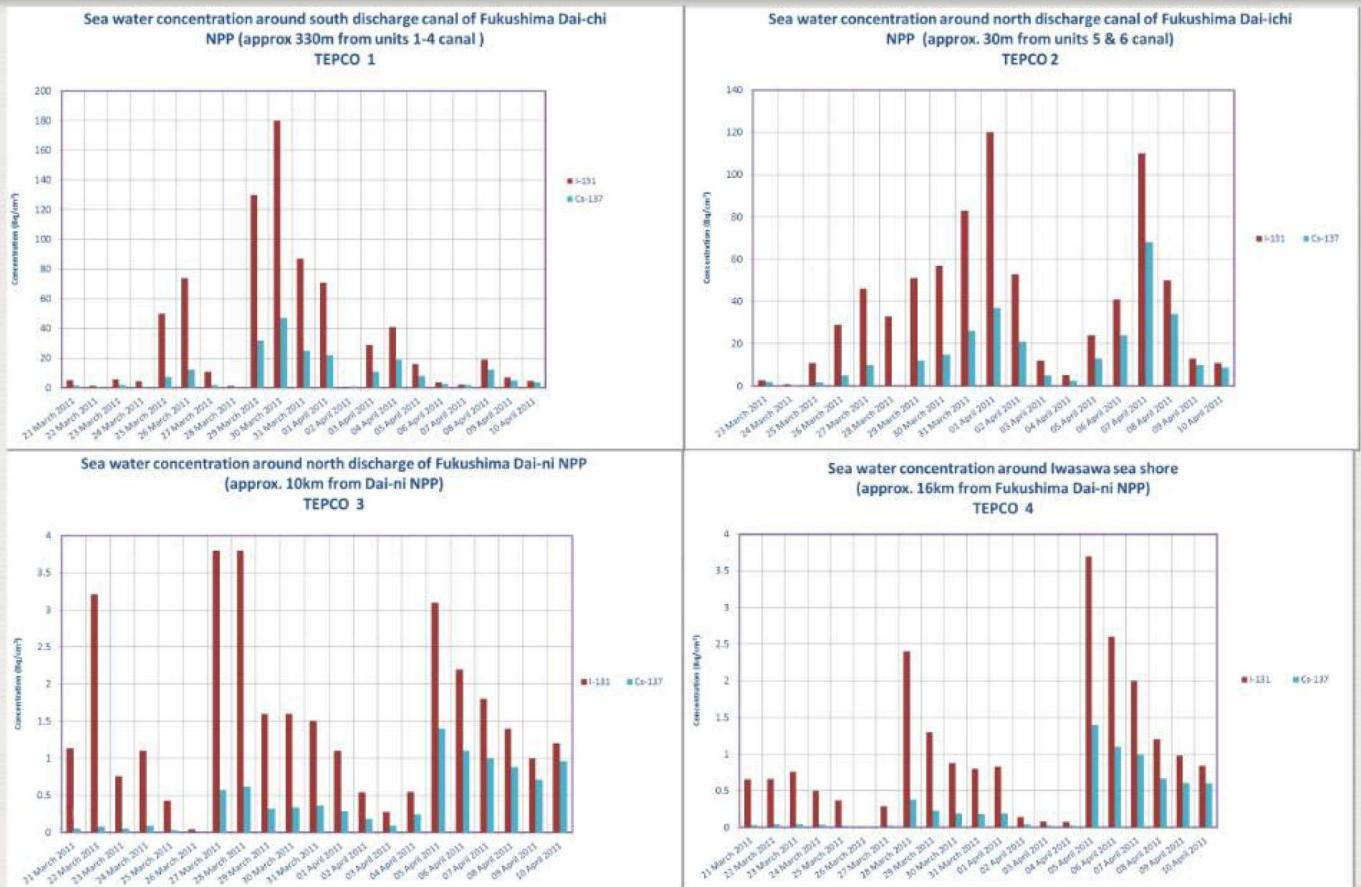


Abbildung 5: Messwerte von TEPCO für Jod-131 (jeweils linke Säule) und Cäsium-137 (jeweils rechte Säule) an den Messpunkten TEPCO 1-4 vor der japanischen Pazifik-Küste vom 21. März bis 10. April 2011 in Bq/cm³. Quelle: MEXT (2011): "Important Information from Japanese Government", www.eq.wide.ad.jp/files_en/110501ocean_en.pdf

zeitweise kein Jod oder Cäsium nachweisbar ist, liegt das wahrscheinlich daran, dass die beprobte Wassermasse gänzlich von außerhalb stammt und mit radioaktiven Substanzen noch nicht in Kontakt gekommen ist. Die Verteilung hängt von den Meeresströmungen ab und diese ändern sich laufend.

Weitere Messwerte an Land:

- In Regenwasser in Ono, 40 Kilometer südwestlich von Fukushima-Daiichi wurden Spitzenwerte von 7.400 Bq/kg Jod-131 und 800 Bq/kg Cäsium-137 gemessen.¹⁶

- In Bodenproben in Iitate, 40 Kilometer nordwestlich von Fukushima-Daiichi wurden Spitzenwerte von 1.170.000 Bq/kg Jod-131 und 227.000 Bq/kg Cäsium-137 gemessen.¹⁶

- Spinat aus Ibaraki, mehr als 100 Kilometer südlich von Fukushima-Daiichi: 54.000 Bq/kg Jod-131 und 1.900 Bq/kg Cäsium-137.¹⁶

- Blatt-Pflanzenproben aus Iitate, 40 Kilometer nordwestlich von Fukushima-Daiichi waren sogar noch weitaus mehr belastet: 2.540.000 Bq/kg Jod-131 und 2.870.000 Bq/kg Cäsium-137!¹⁶

- Sogar in 370 Kilometer Entfernung wurde der Grenzwert in Grünem Tee mit 679 Bq/kg Cäsium überschritten.¹⁷ Betroffene Chargen wurden exportiert, die eingeleitete Rückrufaktion kam zu spät, so dass sich Mitte Juni mit 1038 Becquerel pro Kilogramm belastete Ware in Frankreich fand.

- Ein Großteil im Nordosten Japans angelandeter küstennah gefangener Fische und Meeresfrüchte ist nennenswert radioaktiv belastet.

Bei dem Verzehr von lediglich 100 Gramm oben genannten Spinats würde der Grenzwert für die Organdosis der Schilddrüse (0,9 mSv/Jahr), beson-

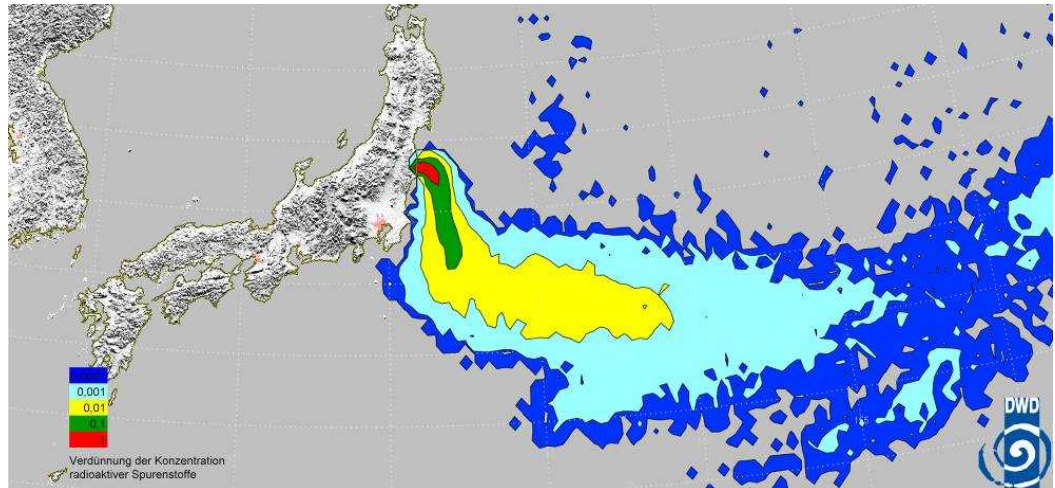


Abbildung 6: **Simulierte Verdünnung der Konzentration löslicher, radioaktiver Spurenstoffe ausgehend von Fukushima-Daiichi im Pazifik.** Quelle: Pressemitteilung DWD Deutscher Wetterdienst, 23.3.2011,

(http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_result_page&gsbSearchDocId=976882)

ders bei Kleinkindern, um ein Mehrfaches überschritten.⁷

Ausgehend von den Bodenmessungen (Bq/kg) wurde von der IAEA die abgelagerte Gesamt-Aktivität (Bq/m²) in 25 bis 58 Kilometer Entfernung zu Fukushima-Daiichi hochgerechnet: Diese wird für Jod-131 mit 200.000 bis 25.000.000 Bq/m² und für Cäsium-137 mit 20.000 bis 3.700.000 Bq/m² angegeben.¹⁸

Insgesamt zeigen die Messwerte, in Abhängigkeit von Windrichtung und Niederschlägen, eine starke geographische Variabilität.

Wie verteilen sich die radioaktiven Substanzen um Japan und im Pazifik?

Die radioaktiven Stoffe verteilen sich in unterschiedlichem Maße weiträumig über Meeresströmungen, Winde, Niederschläge und über wandernde Lebewesen. Hier ist zu unterscheiden zwischen flüchtigen, leicht löslichen und gasförmigen Radionukliden, wie Jod-131, Cäsium-137, Cäsium-134, Strontium-90, Xenon-133 (Gas), Krypton-85 (Gas) und Tritium (Gas), und den sogenannten Transuranen, wie Plutonium, Neptunium, Americium und anderen radioaktiven Isotopen, die sich im Ozean wie andere Schwermetalle verhalten.

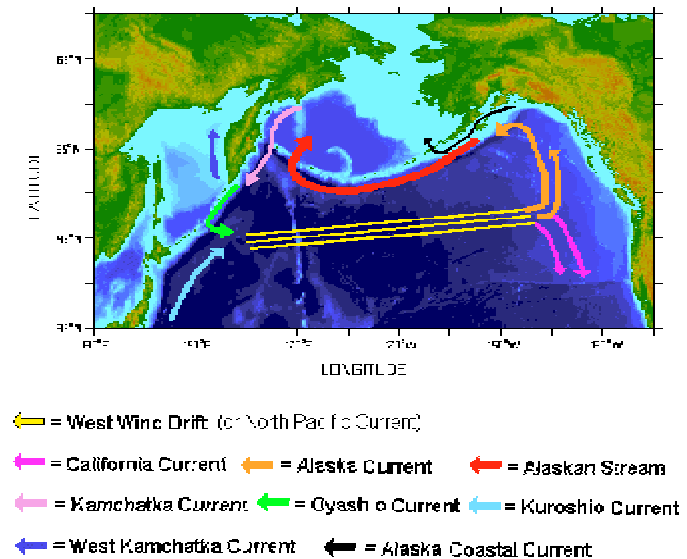


Abbildung 7: **Meeresströmungen im Nordpazifik.** Quelle: NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (2007): "North Pazifik Ocean Currents", (<http://www.pmel.noaa.gov/np/pages/seas/npmap4.html>)

Schwermetalle liegen im Wasser nur zu einem geringen Teil als freie Ionen vor. Der größte Teil ist an organische Substanzen gebunden („Komplexierung“). Schwermetalle reichern sich an suspendierten Partikeln an und werden relativ schnell ins Sediment verfrachtet. Die Aktivitäten im Sediment sind daher um das Vielfache höher als im Wasser. Da sich Metalle vor allem an Tonpartikeln und organischem Material anlagern, sind die Konzentrationen im Schlack deutlich höher als im Sand. Für eine vergleichende

Bewertung verschiedener Meeresgebiete müssen deshalb entweder vergleichbare Sedimente oder die Metallgehalte in definierten Korngrößenfraktionen herangezogen werden.¹⁹

Auch wenn die partikelreaktiven Radionuklide am Meeresboden sedimentieren, sind sie nicht einfach verschwunden, sondern belasten das Leben am Meeresboden und können durch Stürme und Meeresströmungen wieder aufgewirbelt und verbreitet werden.

Ein Teil der an sedimentierten Partikel anhaftenden Radio-

nuklide kann durch Störungen des Sorptionsgleichgewichts z.B. durch Temperatur-, Druck- oder Strömungsveränderungen desorbiert und in die biologischen Kreisläufe zurückgeführt werden. Diese Grenzflächenprozesse unter dem Einfluss ionisierender Strahlung sind bisher kaum untersucht worden.

Entscheidend an der Verteilung radioaktiver Substanzen im Pazifik werden die vorherrschenden Meeresströmungen sein. Vor der Westküste Japans treffen sich zwei Strömungen: Der aus dem Süden nach Norden fließende warme Kuroshio (dt. „Schwarze Strömung“, auch „Japanstrom“ genannt) stößt auf den kalten und weniger salzhaltigen südwärts gerichteten Oyashio (dt. „Elternstrom“). Beide Strömungen bilden zusammen den Nordpazifikstrom (nordpazifische Westwinddrift). Dieser überquert den Pazifik und teilt sich vor der Küste Amerikas in einen nördlichen (Alaska-Strom) und einen südlichen Strang (Kalifornienstrom). Der nördliche Strang gelangt in die fischreiche Beringsee, Einflüsse aus Fukushima können dort jedoch erst mit einem bestimmten zeitlichen Abstand (mind. ein Jahr) erwartet werden (Abb. 7).

Die Radioaktivität kann auch durch Lebewesen z.B. Fische verbreitet werden.

Ein Teil der Radionuklide, der sich langfristig, z.B. am Tiefseeboden ablagert, ist den biologischen Kreisläufen im Wesentlichen entzogen und wird in den geologischen Kreislauf eingehen.

Ein tatsächlicher Abbau, also die Umwandlung der Radionuklide in stabile, nicht-radioaktive Elemente findet ausschließlich über den radioaktiven Zerfall bei einer bestimmten Halbwertszeit statt. Diese Halbwertszeit, in der die Hälfte der Ausgangsmenge zerfallen ist, beträgt z.B. bei Jod-131 acht Tage, bei Cäsium-137 etwa 30 Jahre und bei Plutonium-239 24.110 Jahre.

Durch die Tatsache, dass sich radioaktive Schwermetalle an Partikel anlagern und sedimentieren, haben sie die größte Auswirkung auf die Lebensgemeinschaften am und im Meeresboden (benthisches Leben): Meeresalgen, Würmer, Muscheln, Schnecken, Krebstiere, demersale Fische. Aber auch Fische des Freiwassers ernähren sich von am Boden lebenden Tieren. Durch die Fischerei schließlich wird ein Teil der Radioaktivität auf dem Teller der Menschen landen, mit dem Menschen als Endkonsumenten.

Wie reichern sich die radioaktiven Substanzen in den Nahrungsketten an?

Die in die biologischen Kreisläufe gelangten löslichen radioaktiven Substanzen, wie Cäsium und Jod gehen über alle Nahrungsketten. Weil sie durch die Organismen nicht oder nur eingeschränkt ausgeschieden werden können, reichern sie sich durch die „trophische Kaskade“ in den Nahrungsketten von unten nach oben hin an. Die biologische Wirkung, Anreicherung, Ausscheidung muss für die verschiedenen Radionuklide einzeln betrachtet werden, da sie sich durch ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften unterschiedlich im Meer verteilen und eine unterschiedliche biologische Wirkung haben.

Wie reichern sich die radioaktiven Substanzen in den Nahrungsketten an?

Die Anreicherung in Fischen und anderen Meeresbewohnern hängt dabei im Wesentlichen von der so genannten biologischen Halbwertszeit ab, welche die radioaktive Halbwertszeit überlagert. Die biologische Halbwertszeit gibt an, in welchem Zeitraum die Anfangskonzentration eines Stoffes um die Hälfte reduziert wird und ist abhängig von Alter, Geschlecht und gesundheitlichem Zustand. Die vom einzelnen Individuum er-

folgreich ausgeschiedenen Radionuklide sind jedoch immer noch vorhanden und können abermals Eingang in die Nahrungskette finden. Es ist auch zu beachten, dass sich die biologische Halbwertszeit auf eine bestimmte Anfangskonzentration bezieht. Wenn fortwährend z.B. über die Nahrung neue Radionuklide aufgenommen werden, kann es trotz Ausscheidung im Ergebnis zu einer weiteren Anreicherung kommen. Eine relativ kurze biologische Halbwertszeit haben gut lösliche radioaktive Elemente und Isotope, während die partikelreaktiven Elemente wie Plutonium oder andere Transurane sehr lange, wenn nicht sogar für immer im Körper verbleiben.

Insgesamt können die schädlichen Auswirkungen wegen dieses Zeitfaktors sehr lange verborgen bleiben. Mit Höchstwerten ist mittelfristig bei Organismen an der Spitze der Nahrungskette zu rechnen. Das sind z.B. Tunfische und andere Raubfische, Haie, Wale, Robben, Meeresschildkröten, Meeresvögel - und natürlich der Mensch. Radioaktives Jod, Cäsium, oder Strontium werden beispielsweise direkt im Organismus eingebaut und reichern sich in bestimmten Organen an.

Plutonium, Neptunium und andere Transurane verhalten sich wie andere Schwermetalle. Sie reichern sich im Organismus an, da sie kaum ausgeschieden werden können.

„Marine Organismen tendieren dazu, Schadstoffe in ihrem Gewebe anzureichern, dieser Prozess wird Bioakkumulation genannt. Diese Schadstoffanreicherung geschieht entweder durch passive Adsorption von Schadstoffen aus dem Seewasser oder durch aktive Aufnahme gefolgt von Speicherung im Gewebe oder Hardteilen, als Ergebnis der Nicht-Ausscheidung. Der Grad dieser Anreicherung ist unter-

schiedlich und hängt von Faktoren wie (1) der chemischen Struktur des Schadstoffes, (2) der Organismengruppe, (3) dem physiologischen Zustand, (4) der Wassertemperatur und (5) der Salinität ab. Der Anreicherungsgrad ist für Metalle am größten, bei einigen bis zu 10^9 . Obwohl manche Schadstoffe schließlich ausgeschieden oder zersetzt werden können, neigen diese Prozesse dazu, mit langsamen Raten abzulaufen. Folglich führt der Konsum von belastetem Gewebe dazu, die Nahrungskette hoch gereicht zu werden. Wenn die Bioakkumulation zwischen jedem Schritt zu einer höheren trophischen Ebene geschieht, steigt die Schadstoff-Konzentration an. Dieser Prozess wird als Biomagnifikation bezeichnet. Folglich weisen Organismen an der Spitze der Nahrungsketten tendenziell die höchsten Schadstoffkonzentrationen auf. Weil die Biomagnifikation und andere Transportprozesse Zeit brauchen, kann die schädliche Auswirkung von vielen Stoffen für Jahrzehnte verborgen bleiben. Deshalb ist es schwierig, direkte kausale Zusammenhänge zwischen bestimmten Schadstoffen und Umweltveränderungen nachzuweisen. Der Beweis solcher Zusammenhänge ist wegen den komplexen positiven und negativen Rückkopplungen im System Erdkruste – Ozean zusätzlich kompliziert.“²⁰

Tendenziell könnte man annehmen, dass die Belastung des Fisches mit zunehmender Entfernung von Fukushima abnimmt. Die Belastung wird aber auch zwischen den verschiedenen Fischarten variieren. Dies wird u.a. durch deren Ernährungs- und Lebensweise bestimmt und in welchem Masse sie radioaktive Substanzen anreichern, bzw. wie sie diese ausscheiden können.

Einige Organismen wie Muscheln oder Seetang reichern radioaktive Substanzen be-

sonders stark an. Der Teil der Radionuklide, der sich im Sediment ablagert, kann über grabende, filtrierende oder sedimentfressende Tiere, wie Würmer oder Muscheln in die Nahrungsketten eingehen. Fische, die sich zum Beispiel von Muscheln ernähren, dürfen mittelfristig also höher belastet sein. Ebenso Fische, die höher in der Nahrungskette angesiedelt sind.

Vom japanischen Ministerium für Land- und Forstwirtschaft und Fischerei (MAFF) wurden Höchstwerte vor allem beim Sandaal *Ammodytes personatus* gemessen – einem kleinen bodenbewohnenden Planktonfresser: Am 13. April 2011 wurden vor Iwaki Aktivitäten von 12.500 Bq/kg Jod und 12.000 Bq/kg Cäsium gemessen.²¹

Die Messwerte des MAFF für Mai und Juni lagen deutlich niedriger: Mit maximal 2.900 Bq/kg Cäsium für Fisch²² und maximal 2.200 Bq/kg Jod für Seetang.²³

Messungen von Greenpeace kamen jedoch für Seetang zu weit höheren Ergebnissen: Anfang Mai wurden außerhalb der 12-Meilenzone Algenproben genommen und deren Gesamtaktivität gemessen. Die Einfahrt und Probenahme innerhalb der Hoheitsgewässer hatten die japanischen Behörden nicht gestattet. Bei 10 von 22 Proben lag die Gesamtaktivität über 10.000 Bq/kg.²⁴ Der Maximalwert betrug 127.000 Bq/kg Jod-131, 800 Bq/kg Cäsium-134 und 840 Bq/kg Cäsium-137.²⁵

Es stellt sich die Frage, wie diese erhebliche Differenz in den Messergebnissen zustande kommt und warum die japanische Regierung unabhängige Messungen behindert.

Handelsrestriktionen und Kontrollen

Einige Länder haben bereits ein Einfuhrverbot für Fisch aus Japan erlassen. Direkt nach der Reaktorkatastrophe hatte die EU mit einer Eilver-

ordnung Grenzwerte für Lebensmittel aus Japan eingeführt, die sogar über den japanischen Grenzwerten lagen. Lebensmittel, die den in Japan gültigen Grenzwert überschritten, hätten also in der EU verkauft werden dürfen. Dieser Skandal wurde von den Organisationen foodwatch und Umweltinstitut München in einer gemeinsamen Presseerklärung offen gelegt.²⁶ Nach zahlreichen Protesten öffentlicher Organisationen reagierte die EU mit einer Anpassung der meisten Grenzwerte an die Werte Japans. Eine erneute Anpassung wird sich ausdrücklich vorbehalten. Eine besondere Situation ergibt sich für Fisch: Zunächst galten alle EU-Regelungen nur für Waren mit „Herkunft oder Ursprung“ Japan. In japanischen Gewässern gefangener Fisch, angelandet in einem Hafen außerhalb Japans, wäre also nicht unter die Verordnung gefallen. Nach der Änderung gelten die EU-Bestimmungen unabhängig vom Ort der Anlandung auch für Fisch aus den am schwersten betroffenen 12 japanischen Präfekturen. Eine Regelung für ganz Japan oder den Pazifik steht aus. Auch werden die gültigen Grenzwerte vielfach kritisch gesehen.

Der unabhängige Informationsdienst www.Strahlentelex.de empfiehlt als Grenzwert für feste Nahrungsmittel für Erwachsene maximal 8 Bq Cäsium-137 pro kg, wobei Cäsium als Leitnuklid dient. Allerdings sind Grenzwerte immer ein Kompromiss.⁷

Welche biologische Wirkung entfalten die radioaktiven Substanzen in den verschiedenen Lebewesen und im Menschen?

Radioaktive Substanzen sind durch ihre erbgut- und zellschädigende Wirkung grundsätzlich für alle Lebewesen schädlich. Im Allgemeinen wird für die Ermittlung der

Umweltwirkung eines Schadstoffs der LD50-Wert (die mittlere für 50 Prozent der Versuchsorganismen tödliche Dosis) herangezogen. Dieses Konzept ist für radioaktive Substanzen jedoch nicht anwendbar, da bei radioaktiven Stoffen die erbgutschädigende Wirkung der ionisierenden Strahlung im Vordergrund steht. Bereits kleinste Strahlungsmengen können – mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit – Krebs auslösen und damit zum Tode führen. Auswirkungen auf nicht-tödlichem Niveau können zum Beispiel ein negativer Einfluss auf Wachstums- und Reproduktionsraten oder eine erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten sein. Die spezielle biologische Wirkung muss sowohl für jedes Radionuklid, als auch für die verschiedenen Organismengruppen im Einzelnen betrachtet werden.

Die Wirkung auf verschiedene Organismengruppen, wie Algen, Zooplankton oder Wirbeltiere ist verschieden. Bei Einzellern und Kleinlebewesen, z.B. beim Phytoplankton und beim Zooplankton, wirkt sich die Radioaktivität in einer erhöhten Mortalitätsrate aus. Diese wird jedoch durch die schnelle Vermehrungsrate des Planktons wieder ausgeglichen. Deshalb ist nicht mit einer Abnahme an Phytoplankton und Zooplankton zu rechnen.

Auf Wirbeltiere wie Fische, Schildkröten, Seevögel, Robben, oder Wale haben radioaktive Substanzen ähnliche Auswirkungen wie auf den Menschen: Krebs, genetische Defekte, Fehlbildungen, etc..

Durch ionisierende Strahlung wird die Mutationsrate erhöht: Genschäden in lebensfähigen Individuen, die auch zur Fortpflanzung kommen, werden an die nächste Generation weitergegeben und können sich unter Umständen erst auf spätere Generationen auswirken.

Schließlich können Auswir-

kungen auf nicht-tödlichem Niveau „...*signifikante physiologische, verhaltensbedingte und ökologische Veränderungen einschließen, genauso wie erhöhte Anfälligkeit für Umwelt-Stress, z.B. Krankheiten. Mit anderen Worten: die Auswirkungen von Schadstoffen reichen über die verschiedenen biologischen Organisationsebenen hinaus. Umwelt-Stress hat einen negativen Einfluss auf Wachstums- und Reproduktionsraten. Die Untersuchung solcher Auswirkungen sowohl auf Individuen, als auch auf Populationen, liefert einen Hinweis auf die nicht-tödlichen Auswirkungen eines Schadstoffs...*

Schließlich erschwert die riesige Vielfalt von etwa 70.000 Verbindungen, die alltäglich benutzt werden, den Einfluss von Schadstoffen zu bestimmen...

Bei so vielen Schadstoffen kommt es oft zu Synergie-Effekten. Mit anderen Worten: die verschiedenen Schadstoffe wirken so zusammen, dass ihr kombinierter Einfluss auf die Umwelt nicht einfach durch die Summe der individuellen Einflüsse vorhergesagt werden kann“²⁷

Es ist schlichtweg falsch, wenn behauptet wird, dass verdünnte Dosen harmlos seien. „Low level effects“ wurden in der wissenschaftlichen Literatur nicht nur für Kinder nachgewiesen.²⁸ Biologisch relevante Effekte sind auch dann von Bedeutung, wenn sie nicht im engeren Sinne statistisch signifikant sind. Da der Nachweis der spezifischen Effekte erst nach Jahrzehnten mit belastbaren Daten belegt werden kann, sind umweltmedizinische Bedenken begründet.

Eine adäquate Umweltepide-miologie setzt voraus, dass die richtigen Parameter erhoben und ausgewertet werden. Das bedeutet, dass die geeigneten Isotope, geeignete Zielbevölkerungen und geeignete Prädiktoren, wie zum Beispiel

Chromosomenaberrationen oder stabile Mutationen, sowie die Endpunkte wie Krebs, Unfruchtbarkeit oder Mikrocephalie, in die Analysen eingehen müssen. Diese Analysen sind nicht nur in Japan und der engeren Umgebung vorzunehmen, sondern auch in weiter entfernten Gebieten, wie zum Beispiel in China, Sibirien, den pazifischen Inseln, oder den westlichen USA.

Biologische Wirkung einiger Radionuklide

Jod-131 / Jod-134

Jod kommt in der Natur fast ausschließlich als stabiles Jod-127 vor und ist ein essentielles Spurenelement in praktisch allen Lebewesen.

Die Konzentration von natürlichem Jod im Meerwasser beträgt etwa 60 Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$). Meerestiere enthalten 1 bis 150 Milligramm (mg) Jod pro Kilogramm Körpergewicht. Besonders stark angereichert ist es in Braunalgen, Diatomeen und Anneliden. Hornkorallen können zu bis zu 4 Prozent ihres Trockengewichts aus Jod bestehen.²⁹

Je nach Organismengruppe ergibt sich somit eine 17- bis 2.500-fache Anreicherung des Jods in den Lebewesen.

Die radioaktiven Isotope Jod-131 und Jod-134 können den Platz des natürlichen Jods im Organismus einnehmen und so ihre schädigende Wirkung entfalten. Bei Wirbeltieren wird Jod zur Aufrechterhaltung von Zellfunktionen und zum Aufbau von Schilddrüsenhormonen benötigt. Bei Menschen verursacht radioaktives Jod Schilddrüsenkrebs.

Besonders gefährdet sind Kinder und Jugendliche aufgrund der höheren Zellteilungsrate und der höheren Aktivität der Schilddrüse. Eine extrem hohe Gefahr besteht für Föten im Mutterleib. Säuglinge sind gefährdet durch die Anreicherung von

Jod in der Muttermilch. Schwangere Frauen und stillende Mütter müssen vor radioaktivem Jod geschützt werden.

Die Wirkung von Jod-131 in der Region Tschernobyl war katastrophal. Allein in der stark belasteten Region Gomel in Belarus bekam ein Drittel aller Kinder, die zum Zeitpunkt des Super-GAU zwischen 0 und 4 Jahren alt waren, Schilddrüsenkrebs.³⁰

Cäsium-137 / Cäsium-134

Cäsium kommt in der Natur nur als stabiles Cäsium-133 vor. Der mittlere Cäsium-Gehalt in ozeanischem Plankton beträgt 30 $\mu\text{g/kg}$ Trockenmasse in Phytoplankton, bzw. 40 $\mu\text{g/kg}$ Trockenmasse in Zooplankton.³¹

Cäsium hat keine biologische Funktion, es verhält sich im Organismus aber ähnlich wie Kalium und Natrium und wird vor allem in Muskel-, Nieren-, Leber- und Knochenzellen, aber auch ins Blut transportiert.³²

Cäsium-137 reichert sich besonders stark in Pilzen an, die Lignin zersetzen können und dadurch einen leichteren Zugang zu Kalium und damit auch zu dem chemisch sehr ähnlichen Cäsium haben, als Pflanzen.³³ Die biologische Halbwertszeit im Menschen beträgt durchschnittlich 110 Tage.³⁴

Radioaktives Cäsium kann im Körper, besonders bei Kindern, zu verschiedensten Erkrankungen führen. Außerdem wird Cäsium in die Eizellen und Spermien eingelagert, was zu Sterilität, Missbildungen bei Kindern oder Fehlgeburten führen kann. Genetische Schäden können sich auch erst in späteren Generationen ausdrücken.

Strontium-90

Strontium kommt in der Natur in vier verschiedenen stabilen Isotopen vor und in einigen Fällen ist eine biologische Bedeutung bekannt. Es verhält sich im Organismus ähnlich

wie Kalzium und lagert sich vor allem im Skelett ab. In Knochen und Knochenmark kann es Knochentumore oder Leukämie auslösen. Die biologische Halbwertszeit von Strontium-90 im Menschen beträgt 18,1 Jahre, in den Knochen sogar 49 Jahre.³⁵

Plutonium-238 / Plutonium-239 / Plutonium-241 / Americium-241 / Neptunium-237

Die so genannten Transurane verhalten sich im Organismus wie andere Schwermetalle. Ihre chemische Giftigkeit tritt jedoch hinter der Schädlichkeit durch Radioaktivität weit zurück.

Sie reichern sich im Organismus und über die Nahrungsketten von unten nach oben an. Transurane können vom Organismus kaum ausgeschieden werden, die biologischen Halbwertszeiten betragen beispielsweise bei Plutonium-239 im Skelett 50 und in der Leber 20 Jahre.³⁶

Werden diese Transurane aus den Organismen ausgeschieden, so sind sie für den Eintritt in die Lebenskreisläufe weiterer Organismen verfügbar. Gemessen an den kurzen Lebenszeiten von Individuen bedeuten diese sich in unzähligen Generationen und Lebewesen wiederholenden Prozesse eine dauerhafte Schädigung der jeweils lebenden Spezies.

Ist die freigesetzte Radioaktivität wegen der kurzen Halbwertszeit von Jod-131 und dem Verdünnungseffekt ungefährlich?

In den Medien wird aus der relativ kurzen Halbwertszeit von Jod-131 und dem Verdünnungseffekt die Schlussfolgerung gezogen, dass „derzeit keine Gefahr bestünde“.

„Viele Experten gehen jedoch davon aus, dass sich die Konzentration der radioaktiven Substanzen im Meer schnell verdünnt, so dass derzeit keine größere Gefahr für Mensch und Umwelt bestehe... Jod-

131 hat eine Halbwertszeit von nur acht Tagen. Im Meer verdünnt sich die Konzentration radioaktiver Substanzen rasch. Daher droht trotz des hohen Strahlenwertes derzeit noch keine unmittelbare Gefahr für Pflanzen und Tiere vor der Küste.“³⁷

Tatsächlich verteilen sich lösliche Substanzen wie Jod-131 und Cäsium-137 im Meer schnell, im Pazifik ist der Verdünnungseffekt aufgrund der Größe des Ozeans besonders stark. Dennoch kann angesichts der vagen Datenlage sicher keine Entwarnung für die direkt betroffenen Küstenregionen gegeben werden. Die ausschließliche Betrachtung von Jod ist zudem irreführend, selbst Jod spielt aufgrund der enormen freigesetzten Mengen sehr viel länger eine Rolle als nur einige wenige Halbwertszeiten lang. Cäsium und andere strahlende Substanzen werden noch sehr viel länger von Bedeutung sein.

Selbst die japanische Regierung hat Atomalarm für den Pazifik geschlagen und befürchtet katastrophale Auswirkungen für den Ozean, wenn verseuchtes Wasser weiterhin ins offene Meer strömt. Regierungssprecher Yukio Edano sagte am 4. April: „Wir müssen die Ausbreitung so bald wie möglich stoppen. Wenn die gegenwärtige Lage mit der Anreicherung radioaktiver Substanzen über lange Zeit anhält, wird es riesige Auswirkungen auf den Ozean haben.“³⁸

Faktisch besteht bereits eine gravierende Kontamination der Nahrungsketten und damit besteht eine unmittelbare Gefahr für die Menschen:

1. Es fließen kontinuierlich große Mengen radioaktiven Wassers direkt in den Pazifik. Ein Ende ist nicht in Sicht, weil die Druckbehälter, Sicherheitsbehälter, Abklingbecken undicht sind und ständig gekühlt werden müssen. Dadurch gelangt radioaktives Wasser zwangsläufig ins

Grundwasser und zusätzlich fließt es über die Lecks direkt in den Pazifik. Nach dem am 17. April vorgelegten Zeitplan von TEPCO würde dieser Kampf mindestens die nächsten 6 bis 9 Monate andauern.³⁹ Am 30. Mai 2011 hatte TEPCO jedoch bekannt gegeben, dass es wohl unmöglich sei, die Reaktoren bis Jahresende in einen „kalten“ Zustand zu bringen.⁴⁰ Nach den Erfahrungen von Tschernobyl ist mit einigen Jahrzehnten zu rechnen.

2. Der Abbau findet ausschließlich über den radioaktiven Zerfall statt. Die Konzentration von Jod-131 reduziert sich mit einer Halbwertszeit von 8,02 Tagen. Bei einer beispielsweise 6.000-fachen Grenzwert-Überschreitung liegt nach 7 Halbwertszeiten (56 Tagen) immer noch eine 40-fache Überschreitung vor. Dabei ist vorausgesetzt, dass kein zusätzliches Jod-131 hinzukommt. Die nach Jod-131 mengenmäßig wichtigsten Radionuklide sind die ebenfalls leicht flüchtigen, bzw. im Meerwasser gut löslichen Isotope Cäsium-137, Cäsium-134 und Strontium-90, welche wesentlich längere Halbwertszeiten von 30, zwei, bzw. 29 Jahren haben. Für Plutonium-239 mit einer Halbwertszeit von 24.110 Jahren und andere schwere Transurane liegen an Land nur einzelne Messergebnisse und für den Pazifik liegen gar keine Messungen vor!⁴¹ Größere Freisetzungen würden vor allem regional in den Gewässern um Fukushima zu einer langfristigen radioaktiven Kontamination führen.

3. Die Kehrseite der Verdünnung ist die großräumige Verteilung. Die in Fukushima freigesetzte Radioaktivität wird sich mit der Zeit auf spezifische Weise um die japanische Küste und im Pazifischen Ozean verteilen. Bei aller Verdünnung wird dies langfristig zu einer messbaren Erhöhung des radioaktiven Inventars des Pazifiks und der Weltmeere führen, so wie

es auch zum Beispiel durch Tschernobyl und die Atomwaffentests geschehen ist. Bei radioaktiven Substanzen gibt es keine „unschädliche“ Dosis, die Dosis bestimmt nur die statistische Wahrscheinlichkeit, zum Beispiel an Krebs zu erkranken. Im Strahlenschutz gilt der Grundsatz, dass jede Verdünnung das Problem vergrößert, da eine größere Fläche, bzw. Anzahl von Menschen betroffen ist. Auch geringste Strahlmengen können bereits Krebs auslösen. Der Nachweis jedoch, dass genau diese eine Erkrankung auf Fukushima zurückzuführen ist, ist jedenfalls unmöglich und das wissen die Verantwortlichen!

4. Durch die „trophische Kaskade“ reichern sich die Radionuklide in den Nahrungsketten von unten nach oben hin an, was einige Zeit benötigt. Deshalb können die schädlichen Auswirkungen zum Teil erst Jahre später zum Vorschein kommen.

Schlussfolgerungen

Das tatsächliche Ausmaß der radioaktiven Kontamination kann zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieser Arbeit nur erahnt werden, denn die katastrophale Freisetzung von Radionukliden dauert an. Erst wenn die Brennelemente ausgebrannt sind und nur noch wenig Radioaktivität entweicht, kann die freigesetzte Gesamtaktivität abgeschätzt werden.

Wir müssen davon ausgehen, dass Fukushima alle bisherige Freisetzung von Radioaktivität um ein Vielfaches übertrifft.

Das Dilemma ist: Um noch Schlimmeres zu verhüten müssen die geschmolzenen Kerne („Corium“) kontinuierlich mit Wasser gekühlt werden. Dadurch kann trotzdem kaum vermieden werden, dass sie sich durch den Reaktor-Druckbehälter und anschließend durch den Betonboden fressen. Andererseits fließt dieses verstrahlte Wasser in

die Kraftwerksgebäude, ins Grundwasser und in den Pazifik, denn mehrere Sicherheitsbehälter und Abklingbecken sind beschädigt, bzw. undicht.

Im Pazifik und auch an Land muss ein flächendeckendes Netz von unabhängigen Messstationen eingerichtet werden. Die Kontamination des Meerwassers, der Sedimente und der verschiedenen Meeresorganismen muss weitläufig und kontinuierlich überwacht werden. Es müssen alle relevanten Radionuklide gemessen werden, nicht nur Jod und Cäsium.

Gefangener Fisch bedarf ebenso gründlicher Überwachung. Entsprechende Messungen müssen umfassend und langfristig stattfinden. Strengere Grenzwerte sind notwendig.

Die Festsetzung von Grenzwerten muss grundsätzlich nach medizinisch relevanten Kriterien und nicht nach wirtschaftlichen Interessen erfolgen. Allein die vielen Neubewertungen, Revisionen und Re-Evaluationen der Grenzwerte und ihre ständig wechselnden Berechnungsgrundlagen haben erwiesen, dass die bisherigen offiziellen Verlautbarungen über akute und chronische Effekte korrekturbedürftig gewesen sind. Das bisherige Management durch die IEAO ist unzureichend gewesen, was nicht verwundert, steht doch die Aufdeckung von Effekten ihrem erklärten Ziel der Verbreitung und Förderung der Atomenergienutzung entgegen.

Die Verantwortung für diesen Super-GAU trägt die Atomindustrie.

Dieser kerntechnische Unfall zeigt erneut, dass eine Fehlerintolerante Technologie wie die Nukleartechnologie einen unermesslich hohen Schaden anrichten kann.

Die wichtigste Schlussfolgerung ist daher, den Ausstieg aus der menschen- und lebensfeindlichen Kernenergie so schnell wie möglich zu voll-

ziehen, um zu verhindern dass es jemals wieder zu einer solchen Katastrophe für Mensch und Umwelt kommen kann.

¹ FAO Food and Agriculture Organization (IV-2000): FAO-Fanggebiete, Fisch-Informationszentrum e.V., (www.fischverband.de/faokarte, letzter Zugriff 7.7.2011)

² ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2011): „Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima (Update: 26. März 2011 10:00)“, (www.zamg.ac.at/aktuell/index.php?seite=7&artikel=ZAMG_2011-03-26GMT09:11, letzter Zugriff 7.7.2011)

³ JAIF Japan Atomic Industrial Forum, Inc. (2011): Earthquake Report No. 51, 13.4.2011, (www.webcitation.org/5xunDms1r, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁴ Jooß, C., Lutz, J., Offene Akademie, 13.4.2011, „Zur Dimension der Reaktorkatastrophe in Fukushima“, (www.offene-akademie.org/?p=141, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁵ Jiji-Press, 12.6.2011, „Radioactive Strontium Detected in Fukushima N-Plant Groundwater“, (<http://jen.jiji.com/jc/eng?g=eco&k=2011061200225>)

⁶ Loveland, W.D., Morissey, D.J., Seaborg, G.T. (2006): „Modern Nuclear Chemistry“, Wiley Interscience, New Jersey

⁷ Dersee, Th. (2011): Strahlentelex mit EletrosmogReport Nr. 582-583 vom 7.4.2011, S.12-14, „Empfehlungen zur Minimierung des Strahlenrisikos in Japan.“ (www.strahlentelex.de/Stx_11_582_S12-14.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁸ MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (2011): „Important Information from Japanese Government“, (http://eq.wid.e.ad.jp/monkasho_en/misc_en.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁹ Needler, G.T., Templeton, W.L. (1981): Oceanus, Vol. 24: S. 62

¹⁰ NSF National Science Foundation, Press Release 11-100, 18.5.2011, „After Japan Nuclear Power Plant Disaster: How Much Radioactivity in the Oceans?“, (www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=119577&org=NSF&from=news, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹¹ Offene Akademie (2011): „Informationsmaterial zur Einschätz-

zung der nuklearen Katastrophe in Japan“, 29.3.2011, (www.offene-akademie.org/?p=134, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹² IAEA Environment Laboratories (2011): „Assessment of IAEA Environment Laboratories on Data from the Marine Environment provided by Japan“, 19.4.2011, (www.slideshare.net/iaea/fukushima-marine-environment-monitoring-19-april-2011, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹³ MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (2011): „Important Information from Japanese Government“, www.eq.wide.ad.jp/files_en/110501ocean_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁴ TEPCO (2011): „The Results of Nuklide Analysis on the Ocean Soil“, 3.5.2011, (http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/110503e3.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁵ MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (2011): „Radioactivity Concentration in marine soil“, 12.6.11, (<http://eq.wide.ad.jp/files/110612ocean.pdf>, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁶ MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (2011): „Important Information from Japanese Government, Readings of Dust Sampling“, 18.4.2011, (http://eq.wide.ad.jp/files_en/110418dust_1000_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁷ FAZ Frankfurter Allgemeine Zeitung (2011): „Auch grüner Tee verstrahlt“, 13.6.2011, (www.faz.net/artikel/C31034/japan-auch-gruener-tee-radioaktiv-verstrahlt-30436700.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁸ IAEA International Atomic Energy Agency (2011): „Fukushima Nuclear Accident Update Log“, 30.3.2011, (www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima300311.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

¹⁹ Sommer, U. (1998), „Biologische Meereskunde“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

²⁰ Libes, S.M. (1992): „An Introduction to Marine Biogeochemistry“, John Wiley & Sons, New Jersey, S. 599-600, Übersetzung S. Moldzio

²¹ MAFF Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan (2011): „Results of the Inspection on Radioactive Materials in Fish-

eries Products“, 30.4.2011, (www.jfa.maff.go.jp/j/kakou/kensa/pdf/110430_data_sheet_jikeiretsu_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

²² MAFF Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan (2011): „Results of the Inspection on Radioactive Materials in Fisheries Products“, 2.6.2011, (www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/201105_kekka_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

²³ MAFF Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan (2011): „Results of the Inspection on Radioactive Materials in Fisheries Products“, 14.6.2011, (www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/110614_kekka_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

²⁴ Greenpeace (2011): „Fukushima: Algen stark radioaktiv belastet“, 12.5.2011, (www.greenpeace.de/themen/atomkraft/presseerlaerungen/artikel/fukushima_algen_stark_radioaktiv_belastet/, letzter Zugriff 7.7.2011)

²⁵ ACRO Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité (2011), „Analysis of Matrices of the Marine Environment (seaweeds)“, 22.5.2011, email: acrolaboratoire@wanadoo.fr

²⁶ Umweltinstitut München (2011): Presseerklärung von foodwatch und Umweltinstitut München e.V., 29.3.2011, „Grenzwerte für radioaktive Belastung von Lebensmitteln aus Japan erhöht – Bundesregierung informiert Öffentlichkeit nicht“, (www.umweltinstitut.org/pressemitteilungen/2011/2011_03_29_2865.html, letzter Zugriff 7.7.2011) http://foodwatch.de/presse/pressearchiv/2011/atom_katastrophe_in_japan/index_ger.html

²⁷ Libes, S.M. (1992): „An Introduction to Marine Biogeochemistry“, John Wiley & Sons, New Jersey, S. 600-603, Übersetzung S. Moldzio

²⁸ Crompton, N.E.A., Zölzer, F., Schneider, E., Kiefer, J. (1985): „Increased mutant induction by very low dose-rate gamma-irradiation.“, *Naturwissenschaften* 72, S. 439-440

²⁹ Goldberg, W.M. (1978): „Chemical Changes Accompanying Maturation of the Connective Tissue Skeletons of Gorgonian and Antipatharian Corals“, *Marine Biology* Vol. 49, p.203

³⁰ IPPNW und Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. (Hrsg.) (2011): „Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl - 25 Jahre nach

der Reaktorkatastrophe“

³¹ Fiedler, H.J., Rösler, H.J. (1993): „Spurenelemente in der Umwelt“, Gustav Fischer Verlag, München

³² N-TV (2011): „Wie wirkt radioaktives Cäsium?“, 31.3.2011, (www.n-tv.de/wissen/Wie-wirkt-radioaktives-Caesium-article2988881.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

³³ United Nations (Hrsg.) (2011): UNSCEAR 2008 Report, „Sources and effects of ionizing radiation. Band 2. Annex D - Health effects due to radiation from the Chernobyl accident.“, S. 49, New York, 2011

³⁴ Hartmann-Schreier, J. (2006): „Caesium 137, Caesium 134“, in: „Römpp Chemie-Lexikon“, Thieme-Verlag, Stuttgart

³⁵ Diehl, J.F. (2003): „Radioaktivität in Lebensmitteln“, Wiley-VCH Verlag, Weinheim

³⁶ Koelzer, F. (1989): „Messung von Plutonium im Menschen“, *gsf - Mensch und Umwelt*, No. 6, S.31-36

³⁷ WELT (2011): „Die Atomruine Fukushima verseucht den Pazifik“, 27.3.2011, (www.welt.de/welt/mischtes/weltgeschehen/article12974502/Die-Atomruine-Fukushima-verseucht-den-Pazifik.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

³⁸ Financial Times Deutschland (2011): „Japan schlägt Atomalarm für den Pazifik“, 4.4.2011, (www.ftd.de/politik/international/atom-katastrophe-in-fukushima-japan-schlaegt-atomalarm-fuer-den-pazifik/60034869.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

³⁹ FAZ Frankfurter Allgemeine Zeitung (2011): „Stabilisierung der Reaktoren dauert neun Monate“, 17.4.2011, (www.faz.net/s/RubB08CD9E6B08746679EDCF370F87A4512/Doc~EB095069D4297415DAC78DFE5042C915D~ATpl~Ecomon~Scontent.html, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁴⁰ Kyodo (2011): „TEPCO believes stabilizing Fukushima reactors by year-end impossible“, 30.5.2011, (<http://english.kyodonews.jp/news/2011/05/94111.html>, letzter Zugriff 7.7.2011)

⁴¹ MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (2011): „MEXT, „Readings of Pu & U at Monitoring Post out of 20&30 Km Zone of Fukushima Dai-ichi NPP“, (http://eq.wide.ad.jp/files_en/110401pu_en.pdf, letzter Zugriff 7.7.2011)

Das Projekt 47

Unabhängige Meßstellen für Japan

Bürgerinnen und Bürger in Japan gründeten das Projekt 47: In jeder Präfektur soll eine Meßstelle für Bürger (CRMS: City Zens' Radioactivity Measuring Station) errichtet werden. In Japan gibt es insgesamt 47 Präfekturen, und die erste Meßstelle ist bereits in der Stadt Fukushima errichtet worden. In der Meßstelle soll die radioaktive Verseuchung von Lebensmitteln gemessen werden, wie das nach Tschernobyl rund 40 Bürgerinitiativen im deutschsprachigen Raum ebenfalls taten.

Dem Projekt fehlen aber noch Meßgeräte. Ein Gammameßplatz zur Messung von Nahrungsmittelbelastungen mit ausreichender Nachweisgrenze kostet heute rund 30.000,- Euro. Das wird dringend benötigt.

Spenden für das Projekt 47 werden unter Angabe der Stichworte „Fukushima Projekt 47“ erbeten auf das Konto der

Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.

bei der Postbank Hamburg

BLZ 200 100 20

Konto-Nr. 294 29-208

BIC: PBNKDEFF

IBAN: DE 45 2001 0020 0029 4292 08

Spenden an die Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. sind in Deutschland steuerlich abzugsfähig. Eine Spendenbescheinigung wird unaufgefordert zugesandt, wenn die Überweisung unter Angabe der vollständigen Absenderadresse erfolgt.

Vielen Dank!