Stand: März 2017

NUKLEARFORUM SCHWEIZ
FORUM NUCLÉAIRE SUISSE

Fukushima sechs Jahre nach dem Unfall – Statusbericht

Einleitung: Eine präzise Abschätzung der mannigfachen sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen des Reaktorunfalls in Fukushima-Daiichi ist prinzipiell schwierig, da dieser Unfall im Kontext einer extremen Naturkatastrophe stattfand, bei der nach einem schweren Erdbeben mehrere Tsunamis weite Küstengebiete verwüsteten. Die Flutwellen forderten nicht nur gegen 20'000 Menschenleben, sondern zerstörten rund 130'000 Häuser und beschädigten über eine halbe Million weiterer Gebäude schwer. Aus den überschwemmten Siedlungsgebieten und Industrieanlagen gelangten riesige Mengen umweltbelastender Chemikalien ins Wasser und in den Boden. Hunderte von Quadratkilometern an fruchtbarem Agrarland wurden durch das salzhaltige Meerwasser langfristig geschädigt. Insgesamt wurde die Region um Fukushima von einer Mehrfachkatastrophe getroffen[1].

Das Wichtigste in Kürze: Im Vergleich zu Tschernobyl sind die Umweltbelastungen durch den Kraftwerksunfall viel geringer, da der grösste Teil der radioaktiven Stoffe in den Reaktorgebäuden verblieben ist. Bis heute sind keine strahlenbedingten Todesfälle oder Erkrankungen aufgetreten. Eine erkennbare Zunahme von strahlenbedingten Erkrankungen ist auch in Zukunft nicht zu erwarten.

Inzwischen werden beim Cäsium-Grenzwert von Kulturpflanzen, Nutztieren und Meeresfischen keine Überschreitungen mehr festgestellt. Einzig Wildtiere überschreiten noch die im internationalen Vergleich sehr strengen japanischen Grenzwerte.

Die Evakuationszonen rund um Fukushima-Daiichi werden laufend verkleinert. Ende März 2017 werden weitere Gebiete vollständig freigegeben. Auch der Sperrradius für Fischfang wird deutlich von 20 Kilometern auf 10 Kilometer reduziert.

Zurzeit stehen folgende Herausforderungen im Zentrum der Arbeiten zur Bewältigung des Unfalls:
- der Aufbau der Infrastruktur für die Rückkehr der evakuierten Bevölkerung
- die Entfernung des unbeschädigten Kernbrennstoffs aus der Anlage
- das Management des kontaminierten Wassers in der Anlage
- die kontrollierte Lagerung der kontaminierten Stoffe aus der Sanierung der belasteten Gebiete

1 Status des Kernkraftwerks Fukushima-Daiichi

- ***Übersicht:*** In den sechs Jahren seit dem Unfall sind auf der Kraftwerksanlage Fukushima-Daiichi umfassende Arbeiten zum Schutz von Mensch und Umwelt geleistet sowie Fortschritte bei den Aufräumarbeiten erzielt worden. Unmittelbar nach dem Unfall wurde die Anlage gesichert, um das weitere Entweichen radioaktiver Stoffe in die Umgebung möglichst zu unterbinden. Ebenfalls wurde die Anlage gegen schwere Regenfälle und weitere Erdbeben zusätzlich gesichert.

  Die grosse Herausforderung auf dem Anlageareal war von Beginn weg das Wasser- und Abfallmanagement, da durch Leckagen in den verunfallten Reaktorblöcken laufend kontaminiertes Kühlwasser austritt. Die Arbeiten zur Abdichtung der Anlage haben wesentliche Fortschritte gemacht,

Voraussetzung zur Beseitigung der Trümmer: Im November 2016 ist die Schutzhülle des Blocks 1 wieder entfernt worden. (Bild: Tepco)

sind aber noch im Gang; u.a. wird eine Barriere aus gefrorenem Erdreich errichtet. Die operativ verfügbaren Anlagen zur Wasserdekontamination (ausser Tritium) sind heute in der Lage, mehr Wasser aufzubereiten, als neu kontaminiert wird. Die Brennelemente im Block 4 konnten ohne Zwischenfall aus dem Abklingbecken entfernt werden.

– ***Radioaktivitätsabgaben:*** Die verunfallte Anlage gibt kaum noch radioaktive Stoffe an die Umgebung ab. Die Strahlenbelastung durch die heute noch aus dem Kraftwerk in die Atmosphäre austretenden radioaktiven Stoffe liegt weit unterhalb der natürlichen Strahlung (max. 0,03 Millisievert pro Jahr [mSv/a]; der Durchschnitt der natürlichen Strahlung liegt in Japan bei 2,1 mSv/a). Die Strahlendosen aus dem Boden am Zaun der Anlage[2] liegen zwischen 4 und 18 mSv/a. Die Abgaben ins offene Meer konnten bereits zwei Monate nach dem Unfall unter den Strahlenschutz-Grenzwert zurückgeführt werden und liegen seither stabil auf tiefem Niveau[3]. Einzig innerhalb des Hafenbeckens waren noch im Jahr 2013 vergleichsweise hohe Tritiumwerte gemessen worden (maximal 2000 bis 2500 Becquerel pro Liter [Bq/l]). Gegenwärtig (März 2017) ist im Hafenbecken Cäsium nicht mehr nachweisbar und die Tritiumwerte liegen unter 10 Bq/l. Um ein Entweichen von kontaminierten Fischen ins offene Meer zu verhindern, hat die Betreiberin Tokyo Electric Power Co. (Tepco) am Hafenausgang ein Fangnetz installiert und fischt das Hafenbecken kontinuierlich aus[4].

  Zum Vergleich: In der Schweiz liegt der Tritium-Toleranzwert, ab dem ein Lebensmittel als «verunreinigt oder sonst im Wert vermindert» gilt, bei 1000 Becquerel pro Kilogramm bzw. Liter. Der Tritium-Grenzwert, ab dem ein Lebensmittel «für die menschliche Ernährung als ungeeignet» eingestuft wird, liegt bei 10'000 Becquerel pro Kilo bzw. Liter. Tritium ist ein sehr schwacher, reiner Betastrahler und sein Zerfallsprodukt ist nichtradioaktives und ungiftiges Helium-3. Zudem liegt Tritium meist als Wasserbestandteil vor und wird daher in Organismen nicht angereichert, sondern laufend wieder ausgeschieden.

  Die Strahlung im Innern der Reaktorgebäude ist jedoch als Folge der Kernschmelze immer noch sehr hoch. Die Strahlendosis auf dem Areal der Anlage («at the main building», in der Nähe von Block 1) wird von der Tepco derzeit auf rund 15 Mikrosievert pro Stunde beziffert (entspricht etwa 24 mSv/a für eine Person, die sich an 200 Arbeitstagen während acht Stunden ununterbrochen an dieser Stelle in der Anlage aufhalten würde). Das ist sechsmal weniger, als an dieser Stelle vor zwei Jahren gemessen wurde[5].

- ***Kühlung:*** Die Reaktoren der verunfallten Blöcke 1–3 werden in je einem quasigeschlossenen Wasserkreislauf mit insgesamt rund 100 m^3 pro Tag gekühlt. Das durch Leckagen aus den beschädigten Reaktorsystemen auslaufende Kühlwasser wird mittels Pumpanlagen gesammelt und erneut für die Kühlung verwendet. Die Temperaturen in den Reaktordruckgefässen und in den Primärcontainments bewegen sich gegenwärtig stabil bei 15–25 Grad Celsius, je nach Messort (2015: 20–45 Grad Celsius)[6].

- ***Wassermanagement:*** Aus den zur Kühlung eingesetzten und zum Teil noch immer nicht zu 100% geschlossenen Wasserkreisläufen werden nahezu alle radioaktiven Stoffe (ausser Tritium) sowie Salze herausgefiltert. Das kontaminierte Leckagewasser im Boden unter dem Kraftwerk wird ebenfalls gefasst, abgepumpt und gefiltert, sodass es möglichst nicht mehr ins Meer gelangen kann. Ein zusätzliches Problem war der Zufluss von Grundwasser. Im Verlauf der vergangenen Jahre haben der Grundwasser-Bypass und die Abdichtarbeiten Erfolge gezeigt (beim Bypass wird das von oben einfliessende Wasser oberhalb der Anlage herausgepumpt, kontrolliert und danach ins Meer geleitet). Bis Ende 2015 konnte die täglich in die Anlage hineinfliessende Wassermenge um rund 200 m^3 vermindert werden[7]. Zudem wurde fast das ganze Areal des Kraftwerks asphaltiert, damit möglichst wenig Regenwasser in den Boden gelangt. Das weiterhin einsickernde Wasser wird durch die Anlageleckagen kontaminiert und muss deshalb zusätzlich zum Kühlwasser aufgearbeitet und gelagert werden.

  Am 21. Januar 2015 hat die japanische Aufsichtsbehörde NRA (Nuclear Regulation Authority) der Tepco erlaubt, dekontaminiertes Grundwasser aus der Anlage ins Meer abzulassen. Das Kriterium dafür ist eine Cäsium-Belastung von weniger als 1 Bq/l, beim Tritium weniger als 1500 Bq/l und bei den übrigen Betastrahlern weniger als 3 Bq/l. In Anbetracht der sehr geringen radioaktiven Belastung empfiehlt auch die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ausdrücklich, dieses Wasser ins Meer abzulassen[8]. Im August 2015 haben die lokalen Fischereikooperativen diesem Vorgehen zugestimmt und im September 2015 hat die Tepco erstmals dekontaminiertes Grundwasser ins Meer abgelassen.

  Dem Problem der ständig steigenden Mengen gelagerten Wassers begegnete die Tepco unter anderem mit der Inbetriebnahme von drei «Advanced Liquid Processing Systems» (ALPS). ALPS reduziert bis auf Tritium alle im Wasser enthaltenen radioaktiven Materialien auf ein unbedenkliches Niveau. Zusammen mit weiteren Aufbereitungssystemen kann heute wesentlich mehr Wasser aufbereitet werden, als neu kontaminiert wird. Bis im Mai 2015 gelang es der Tepco, alles auf der Anlage befindliche Wasser zu dekontaminieren. Dazu standen zusätzlich zwei mobile Systeme zur Verfügung, die neben Cäsium auch sehr effizient Strontium abscheiden können.

  In einem unterirdischen Kanal auf der Seeseite der Turbinenhallen befindet sich stark kontaminiertes Wasser. Durch eine Reihe von Massnahmen wie Einfrieren und Verfüllen mit Mörtel und Zement konnte dieses Wasser gebunden werden. Auf der Seeseite wurde ein wasserundurchlässiger Schutzwall aus Stahl erbaut. Zudem wird der Boden um die vier Reaktorblöcke herum mit Kühlmittel eingefroren und so für Grundwassereinträge undurchlässig gemacht (Soil-freezing). Dieses im Tunnelbau seit langem gebräuchliche Verfahren soll zur vollständigen Abdichtung des Kraftwerksareals vom Grundwasserstrom eingesetzt werden[9]. Im Oktober 2016 konnte der meerseitige Teil dieser Abdichtung abgeschlossen werden.

- ***Lagerbecken:*** Die Brennelementlagerbecken werden ebenfalls mit neu eingerichteten Kühlkreisläufen gekühlt. Die Lagerbecken der Blöcke 1–3 sind intakt. Wasseranalysen zeigen, dass die meisten Brennstäbe intakt sein dürften. Im Lagerbecken von Block 4 befanden sich zum Zeitpunkt des Unfalls 1533 Brennelemente (1331 gebrauchte und 202 neue). Die gebrauchten Brennelemente wurden bis November 2014 vollständig und ohne Zwischenfall in das unbeschädigte zentrale Lagerbecken verbracht; die ungebrauchten ins Abklingbecken des unbeschädigten Blocks 6.

– ***Schutzbauten:*** Die Schutzhülle um den ***Block 1*** war Ende Oktober 2011 fertiggestellt worden. Vorübergehend wurden zwei der Dachelemente entfernt, um die Trümmer oben im Reaktorgebäude inspizieren zu können. Ziel ist, die Trümmer wegzuschaffen, sodass – wie im Block 4 – die Brennelemente im Abklingbecken ins zentrale Lagerbecken transferiert werden können. Aus dem gleichen Grund ist im November 2016 die Schutzhülle um Block 1 komplett entfernt worden. Durch verschiedene Massnahmen wird sichergestellt, dass möglichst kein radioaktiver Staub aus dem Gebäude austritt. Untersuchungen im Block 1 mittels Myonen-Tomografie im Februar und März 2015 legen nahe, dass der Reaktorkern geschmolzen ist. Myonen aus dem Weltall durchdringen Materie und zeigen nur bei sehr dichten Stoffen wie Uran eine Wechselwirkung. Die Myonen-Tomografie wird beispielsweise zur Erkundung von Magmakammern in Vulkanen eingesetzt oder bei der Kontrolle von Transportcontainern auf nukleare Gefahrenstoffe.

  Der gröbere Schutt oberhalb des Abklingbeckens von ***Block 3*** konnte bis Ende 2015 entfernt werden. Die Strahlung wird durch Dekontamination und Abschirmung weiter reduziert. Als nächster Schritt wird ein Schutzgebäude gebaut, das eine Anlage zur Bergung der Brennelemente im Abklingbecken umfasst. Das Schutzgebäude über ***Block 4*** war Ende Juli 2013 fertig geworden. Dieses ist so konzipiert, dass es gleichzeitig das Entfernen der Brennelemente aus dem Lagerbecken ermöglichte. Die drei Abdeckungen unterscheiden sich in Funktion und Aussehen, je nach dem Zustand des jeweiligen Blocks.

  Das Reaktorgebäude von ***Block 2*** ist intakt gebelieben und benötigt keinen Schutzbau. Die Strahlung in Block 2 ist nach wie vor hoch und beeinträchtigt die Erkundung des Gebäudes mit Robotern. Im Januar 2017 ist es gelungen, mit einem Roboter bis ins Primärcontainment von Block 2 vorzudringen. Dabei wurden Strahlenwerte von mehreren Hundert Sv/h gemessen[10]. Zum Schutz gegen potenzielle Erdbeben wurden Schwachstellen innerhalb der Reaktorgebäude bautechnisch verstärkt und langfristig stabilisiert.

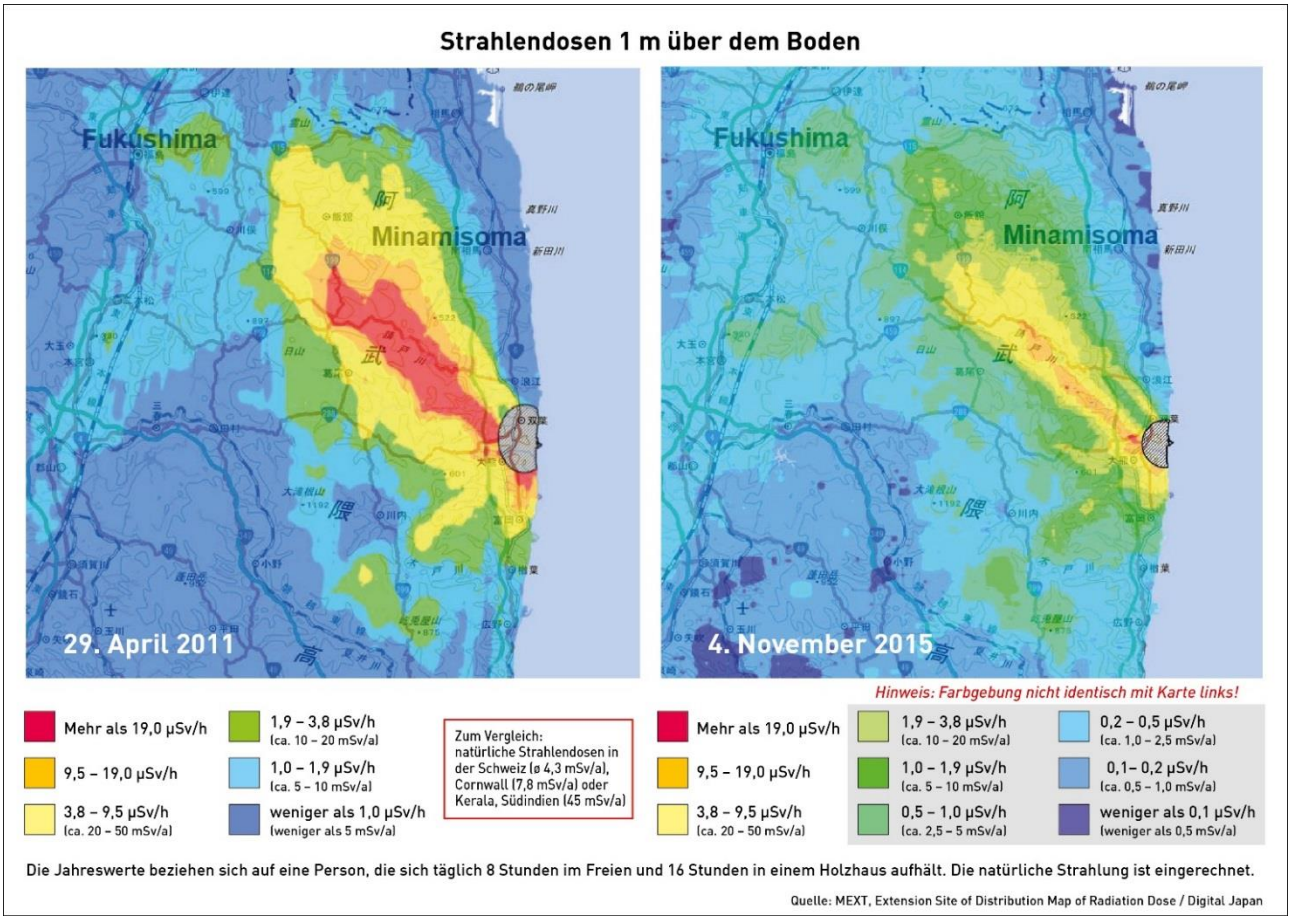
– ***Ausblick:*** Mittels des erwähnten Soil-freezing-Verfahrens wird das Areal gegen das Eindringen von Grundwasser weitgehend geschützt und das Risiko allfälliger Freisetzungen ins Meer weiter reduziert. Zudem werden bei allen Blöcken die Dekontaminationsarbeiten und die Vorbereitungen für das Bergen der Brennelemente fortgesetzt. Für das Entfernen der zerstörten Reaktorkerne der Blöcke 1–3 rechnet die Tepco aufgrund der Erfahrungen aus dem Unfall im amerikanischen Kernkraftwerk Three-Mile-Island im Jahr 1979 mit einem Zeitraum von rund 25 Jahren. Der Rückbau der verunfallten Blöcke 1–4 soll nach 30–40 Jahren abgeschlossen sein.

Schutzwall aus Stahl gegen das Auslaufen von kontaminiertem Wasser ins Meer. (Bild: Tepco)

2 Status der Verstrahlung und der Evakuationszonen

– ***Übersicht:*** Während der ersten Tage des Unfalls wurde für eine 20-Kilometer-Zone um das Kraftwerk und für ein im Nordwesten angrenzendes etwa ebenso grosses Gebiet die Evakuierung der Bevölkerung angeordnet. In der Präfektur Fukushima wurden aufgrund von Erdbeben, Tsunami und Unfall im Kernkraftwerk damals rund 165'000 Personen evakuiert oder verliessen freiwillig ihre Wohnstätten[11], davon etwas über 80'000 Personen aus den heute (teil-)gesperrten Gebieten.
Es scheint, dass vor allem junge Menschen die Naturkatastrophe und den Unfall zum Anlass nehmen, um endgültig aus diesem schon zuvor strukturschwachen Randgebiet mit hoher Jugendarbeitslosigkeit in die städtischen Zentren abzuwandern. Diese Probleme, wie auch der Stress und die gesundheitlichen Belastungen durch den erzwungenen Wohnortswechsel, gelten ebenso für die noch grössere Zahl von Menschen, die in anderen Präfekturen das vom Tsunami zerstörte Küstengebiet verlassen mussten.

  Bereits nach den ersten fünf Jahren ist die Strahlenbelastung in den kontaminierten Gebieten deutlich zurückgegangen (siehe Karte).



– ***Rückkehr der Bewohner:*** Im April 2014 erlaubten die Behörden erstmals die Rückkehr der Bewohner in ein Gebiet innerhalb des 20-Kilometer-Radius (der östliche Teil von Tamura) und im Oktober in das Siedlungsgebiet im Osten von Kawauchi. Im Juni 2015 revidierte dann die japanische Regierung die Evakuationsrichtlinien[12] und beschloss, die Evakuationsverfügungen für die beiden weniger belasteten Zonen 1 und 2 bis Ende März 2017 aufzuheben. Die Herausforderung lag darin, die Infrastruktur in diesen Zonen rechtzeitig wieder verfügbar zu machen.

Im September 2015 wurde das Gebiet um die Stadt Naraha im Süden der Evakuationszone freigegeben. Auf Ende März 2017 wird in weiteren Gebieten der Evakuationsbefehl aufgehoben, so in Iitate und Kawamata sowie in Namie und Tomioka in der Nähe des verunglückten Kraftwerks (siehe Karte auf S. 8).

Nur geringe Verstrahlung: Ein im Januar 2015 – vor der Aufhebung des Evakuationsbefehls – wieder geöffneter Laden in Naraha in der 20-Kilometer-Evakuationszone. (Bild: Kyodo / Japan Times)

Ende Januar 2016 hat der japanische Fussballverband beschlossen, das Sportzentrum «J-Village» bei Naraha wie früher als Trainingscamp für die Männer- und Frauennationalmannschaft im Vorfeld der Olympischen Spiele in Tokio 2020 zu nutzen[13]. Seit Ende Januar 2015 verkehrt wieder ein Linienbus entlang der Küste quer durch die Evakuationszone[14]. Anfang März 2015 wurde das letzte Teilstück des neuen Joban-Expressway dem Verkehr übergeben, der die Evakuationszone durchquert. Die Strasse ist ohne Genehmigung befahrbar; die Ausfahrten im kontaminierten Gebiet sind gesperrt[15].

Passagiere der wieder eröffneten Buslinie quer durch die Evakuationszone. (Bild: Fukushima Minpo)

Im März 2015 fertiggestellt: die Joban-Schnellstrasse durch die Evakuationszone. Auf Tafeln wird die aktuelle Dosisleistung angegeben. (Bild: Fukushima Minpo)

Gemäss Angaben der staatlichen «Reconstruction Agency»[16] gab es im Juli 2016 noch knapp 89'000 aus der Präfektur Fukushima stammende evakuierte Personen. Im Februar 2017, also vor der Öffnung weiterer Zonen Ende März 2017, waren es nach Angaben der Präfektur noch rund 79'500[17].

Bis zum März 2018 sollen in den Evakuationszonen alle öffentlichen Gebäude wiederhergestellt sein. Ebenfalls im März 2018 will die Tepco die Ausgleichszahlungen für emotionalen Stress an Personen aus den Zonen 1 und 2 beenden. Die Wiederaufbau-Agentur soll gemäss Plan im März 2021, d.h. zehn Jahre nach dem Unfall, ihre Arbeit einstellen.

- ***Unterteilung der Evakuationszonen nach dem Unfall:*** In dem vom Reaktorunfall betroffenen Gebiet wurde vor sechs Jahren eine «Special Decontamination Area» ausgeschieden. Dieses Gebiet wurde damals seinerseits in drei Zonen unterteilt (vgl. Karte S. 8):

  - Zone 1: In diesen Zonen lag die sehr konservativ geschätzte zusätzliche Strahlenbelastung zwischen 1 mSv/a und maximal 20 mSv/a. In diesen Zonen durfte nach dem Unfall zwar gearbeitet, nicht aber übernachtet werden. Offiziell werden sie als «areas to which evacuation orders are ready to be lifted» bezeichnet. In diesen Zonen lebten vor dem Unfall rund 33'000 Personen.
  - Zone 2: In diesen Zonen lag die Strahlenbelastung zwischen 20 mSv/a und maximal 50 mSv/a. In diesen Zonen ist der Zugang erschwert. Offiziell werden sie als «areas in which the residents are not permitted to live» bezeichnet. In diesen Zonen lebten rund 25'000 Personen.
  - Zone 3: In diesen Zonen lag die Strahlenbelastung über 50 mSv/a. Diese Zonen dürfen im Prinzip nicht besucht werden. Offiziell werden sie als «areas where it is expected that the residents will have difficulties in returning for a long time» bezeichnet. In diesen Zonen lebten rund 25'000 Personen, vorwiegend in Futaba, Okuma und Namie.

  Deutlich erhöhte Strahlungswerte wurden nach dem Unfall in weiter entfernten, lokal begrenzten Hotspots und in unmittelbarer Umgebung des Kraftwerks gemessen. Die Gebiete mit einer Strahlenbelastung von über 100 mSv/a im ersten Jahr nach dem Unfall (bei hypothetisch ununterbrochenem Aufenthalt) hatten eine Gesamtfläche von ungefähr 100–150 km^2 (d.h. etwas mehr als die Gemeindefläche der Stadt Zürich mit 92 km^2, siehe Karte S. 13). Die Gebiete mit einer Cäsium-Konzentration von über 600 Kilobecquerel pro m^2 – entsprechend einer Strahlenbelastung von ungefähr 10 mSv im ersten Jahr nach dem Unfall (bei hypothetisch ununterbrochenem Aufenthalt in diesem Gebiet) – hatten eine Ausdehnung von ungefähr 875 km^2. Der Grossteil dieser Zonen liegt in einem unbewohnten Naturgebiet.

- ***Kontamination des Ozeans:*** Im Gegensatz zu einzelnen Landregionen ist der Ozean vor Fukushima trotz vereinzelter Leckagen in Fukushima-Daiichi kaum mehr belastet. Die Messungen von Cäsium-134 und Cäsium-137 im 2-Kilometer-Umkreis des Kraftwerks ergeben in einzelnen Fällen Konzentrationen weit unter 1 Bq/l und liegen in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze[18]. Auch die Konzentration von Tritium und weiteren radioaktiven Stoffen ist entweder irrelevant oder unter der Nachweisgrenze.

- ***Kosten:*** Am 9. Dezember 2016 revidierte die japanische Regierung ihre Kostenschätzung zur Bewältigung des Unfalls auf JPY 21'500 Mrd. (CHF 190 Mrd.). Diese Summe setzt sich zusammen aus:
  – JPY 8000 Mrd. (CHF 70,5 Mrd.) für den Rückbau der Kraftwerksanlage,
  – JPY 7900 Mrd. (CHF 70,0 Mrd.) für Entschädigungszahlungen an die Bevölkerung, und
  – JPY 5600 Mrd. (CHF 49,5 Mrd.) für die Entsorgung des kontaminierten Bodens.[19]

  Gemäss «Asahi Shimbun» tragen de facto die japanischen Stromkonsumenten (nicht nur jene der Tepco) den Schaden mit[20]. Der (nicht ausgewiesene) Zuschlag auf der Stromrechnung beläuft sich nach der Berechnung der Zeitung auf jährlich 587–1484 Yen pro Jahr (ca. 5–13 Franken) pro Haushalt, je nach Stromversorger.

  Zum Vergleich: Die deutsche EEG-Umlage 2017 beträgt 6,88 Eurocent pro kWh bzw. bei einem Jahresverbrauch eines Haushalts von 3500 kWh also rund 255 Franken im Jahr.

Die aktuellen behördlichen Verfügungen in den Evakuationszonen (Stand Februar 2017).

– ***Dekontamination:*** Die Dekontaminationsarbeiten wurden bereits im Herbst 2011 mit grossem Aufwand begonnen. Die Reinigung von Schulanlagen, öffentlichen Plätzen und Strassen ist weit fortgeschritten. In diesen Bereichen konnten die Oberflächenkontaminationen stabil unter die Grenzwerte abgesenkt werden. Für die meisten in der Umgebung von Fukushima-Daiichi lebenden Menschen liegt die zusätzliche Strahlenbelastung – sehr konservativ geschätzt – bei nur etwa einem Millisievert pro Jahr, d.h. auf einem völlig unbedenklichen Niveau. Im Januar 2017 waren die Gebiete in den weniger belasteten Zonen vollständig oder zu über 95% dekontaminiert. Gemäss amtlichen Angaben kann im Siedlungsgebiet durch die ergriffenen Massnahmen die externe Strahlung um rund 45% reduziert werden[21]. Seither nimmt der Strahlungspegel kontinuierlich durch natürliche Prozesse ab. Sedimente in Seen und Flüsse werden in der Regel nicht dekontaminiert, da dort die Wasserüberdeckung die Strahlung zuverlässig abschirmt.

Dekontaminationsarbeiten durch Abtragen der obersten Bodenschicht. (Bild Tepco)

Prioritär wurden die Siedlungsgebiete dekontaminiert und vorgängig Infrastrukturanlagen wie Wasserversorgung, Kanalisation und grössere Strassen. Aufgrund öffentlicher Besorgnis wurden ebenfalls 20 Meter breite Zonen in den Wäldern entlang besiedelter Gebiete gereinigt. Insgesamt bescheinigen die Fachleute der IAEO den japanischen Behörden, dass sie in der Praxis wirksame Methoden anwenden und diese im Licht der Erfahrungen laufend verbessern.

– ***Abfälle:*** Die gewählte Form der flächenhaften Dekontamination führt zu grossen Abfallmengen, die aus Dekontaminationsrückständen aber auch aus grossen Mengen an Öl- und Chemierückständen im Boden resultieren, die durch die Beschädigung von Industriewerken, Tankanlagen und Leitungen durch die Tsunamis entstanden sind. In der Präfektur Fukushima wird allein beim radioaktiv belasteten Material ein Volumen von rund 28 Mio. m^3 erwartet, wobei allerdings ein wesentlicher Teil davon nur sehr schwach kontaminiert ist und z.B. im Unterbau von asphaltierten Strassen verwendet werden kann. Das Volumen anderer, brennbarer Rückstände kann um das 20-Fache reduziert werden, wie praktische Versuche in einer extra für diesen Zweck erstellten Verbrennungsanlage gezeigt haben.

  Derzeit gibt es in der Präfektur Fukushima hunderte temporäre Lagerorte («temporary storage sites»). Das Material wird dort in der Regel in Säcken gelagert, die jedoch von unterschiedlicher Qualität sind.

Temporäres Lager für kontaminiertes Material. (Bild: Tepco)

Im August 2014 stimmte der Gouverneur der Präfektur Fukushima dem Plan zu, in den Gemeinden Futuba und Okuma, d.h. unmittelbar neben dem verunfallten Kraftwerk, je ein Zwischenlager («Interim Storage Facility, ISF») zu errichten. Inzwischen haben auch die beiden Gemeinden zugestimmt und die japanische Regierung hat die nötigen Geldmittel freigegeben. Die ISF werden fachgerecht erstellt, sodass dort das Material sicher gelagert und überwacht werden kann. Nach Angaben der japanischen Regierung soll das Material für etwa 30 Jahre gelagert werden. Es wird je nach Cäsiumgehalt unterschiedlich gelagert: in Deponien mit weniger als 8 Bq/kg (keine Gefahr für das Grundwasser), in Deponien mit mehr als 8 Bq/kg (mit Abdichtung, Kontrolle und Wasseraufbereitung) sowie geschützt in einem Gebäude (für stark belastete Aschen aus der Verbrennung mit mehr als 100'000 Bq/kg)[22]. Die Bauarbeiten begannen Anfang Februar 2015. Bis in den Januar 2017 sind rund 130'000 m^3 in die ISF verbracht worden. Insgesamt rechnen die Behörden derzeit mit 16–22 Mio. m^3 kontrolliert zu entsorgenden kontaminierten Bodens, wobei allerdings etwa 10 Mio. m^3 weniger als 8 Bq/kg Cäsium enthalten.

- ***Trinkwasser:*** Es gibt keine Einschränkungen. Das Trinkwasser wird weiterhin regelmässig radiologisch überwacht[23].

- ***Nahrungsmittel:*** Seit dem Unfall werden die in den Verkehr gebrachten Nahrungsmittel umfassend kontrolliert. Im Fiskaljahr 2016 wurden in der Präfektur Fukushima bisher 31'845 Lebensmittelproben untersucht[24]. ***Bei den Kulturpflanzen und den Nutztieren wurde keine einzige Überschreitung der im Vergleich zur Schweiz sehr strengen japanischen Grenzwerte festgestellt*** (Trinkwasser: 10 Bq/l, Milch und Kindernahrung: 50 Bq/kg, andere Nahrungsmittel: 100 Bq/kg). Dagegen überschritten 284 Proben beim Fleisch von Wildtieren den Grenzwert, davon 255 Überschreitungen beim Fleisch von Wildschweinen, 4 bei Wildlachs und 6 bei wildwachsenden Pflanzen und Pilzen.

  Im September 2012 wurden erstmals wieder Frischprodukte aus der Präfektur Fukushima ins Ausland exportiert. Im Jahr 2016 hat die Präfektur Fukushima sogar mehr Pfirsiche ins Ausland exportiert als im Jahr vor dem Unfall[25]. Am 9. Januar 2016 hat die EU – im Unterschied etwa zu Südkorea, Hongkong und Taiwan – zahlreiche Restriktionen beim Import von Lebensmitteln aus der Unfallregion aufgehoben[26].

  Bei Fischen und Meeresfrüchten wurden seit dem vierten Quartal 2014 ausserhalb der Gewässer vor der Präfektur Fukushima keine Grenzwertüberschreitung mehr festgestellt. In der Präfektur Fukushima, wo vor der Küste in bestimmten Zonen immer noch ein Fischfangverbot gilt, ***überschritten seit März 2015 bei Probefängen keine Fische mehr den strengen Cäsium-Grenzwert[27].*** Nach wie vor nicht erlaubt ist jedoch der Verkauf von zwei Spezies, einer Seebrasse und einer Barschart.

Die Fischerkooperative von Fukushima hat daher am 28. Februar 2017 beschlossen, den Sperrradius um das Kraftwerk von bisher 20 Kilometern auf 10 Kilometer zu reduzieren[28]. Eine Woche zuvor waren die Fischerboote in den nach dem Tsunami wiederaufgebauten Hafen von Ukedo zurückgekehrt[29]. Ukedo liegt sieben Kilometer nördlich des Kraftwerks. Bereits im Herbst 2015 war in Naraha erstmal seit dem Unfall das Lachsfischen im Kido-Fluss wieder aufgenommen worden[30].

In ihrem am 23. Januar 2014 veröffentlichten Bericht halten die Fachleute der IAEO fest, dass dank der Vorsorge und Kontrollen die innere Bestrahlung der Bevölkerung durch kontaminierte Lebensmittel sehr gering ist und auch langfristig stets unterhalb der Grenzwerte bleiben wird.

Rückkehr der Fischerboote in den Hafen von Ukedo, nahe am verunfallten Kraftwerk (Bild: The Asahi Shimbun)

– ***Verstärkte Information der Bevölkerung über tatsächliche Risiken:*** Offiziell haben die japanischen Behörden eine Jahresdosis von 1 mSv aus künstlichen Quellen als Zielsetzung für die Wiederherstellung der kontaminierten Zonen genannt. Im Bericht der IAEO-Mission empfehlen die internationalen Experten jedoch den japanischen Behörden, der Bevölkerung klarzumachen, dass es sich hierbei um ein sehr langfristiges Ziel handle, das mit Dekontaminationsmassnahmen allein nicht in kurzer Zeit erreicht werden kann.

  Vielmehr sollten sich die japanischen Behörden darauf konzentrieren, der Bevölkerung die tatsächlichen, sehr geringen Gesundheitsrisiken zu erklären und klar zu kommunizieren, dass Jahresdosen bis 20 mSv gemäss allen relevanten internationalen Organisationen akzeptierbar sind (dieser jährliche Grenzwert gilt beispielsweise in der Schweiz für beruflich strahlenexponierte Personen in Kernkraftwerken oder Spitälern). Verwiesen wird auf die Empfehlungen der International Commission on Radiological Protection (ICRP), das United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), die Weltgesundheitsorganisation WHO und die IAEO selbst. Dies gelte umso mehr, da die geschätzten Strahlendosen sehr konservativ, also pessimistisch erhoben wurden. Umfassende konkrete Messungen mit Dosimetern haben gezeigt, dass die ***tatsächlichen*** Dosen 2,6 bis 7 Mal tiefer sind als die errechneten. Dies müsse gegenüber den gesundheitlichen Risiken durch die psychosomatischen Belastungen einer fortgesetzten Evakuationsdauer abgewogen werden, mahnen die Experten.

Kommentar: Bei der Öffnung der evakuierten Zonen und der Festlegung der Grenzwerte für Lebensmittel gehen die japanischen Behörden ausserordentlich vorsichtig vor.

3 Gesundheitliche Folgen

– ***Überblick:*** Bisher ist durch die Strahlenbelastungen nach dem Unfall in Fukushima-Daiichi nachweislich niemand gesundheitlich beeinträchtigt worden, weder in den Notfallequipen zu Beginn des Unfalles noch beim bis heute eingesetzte Aufräumpersonal und auch nicht in der betroffenen Bevölkerung[31]. Als Folge der frühzeitig ergriffenen Schutz- und Evakuationsmassnahmen wurden bei der in der Umgebung lebenden Bevölkerung keine Überschreitungen radiologischer Grenzwerte festgestellt. Diese Aussage gilt ausdrücklich auch für Kinder und deren Schilddrüsen.

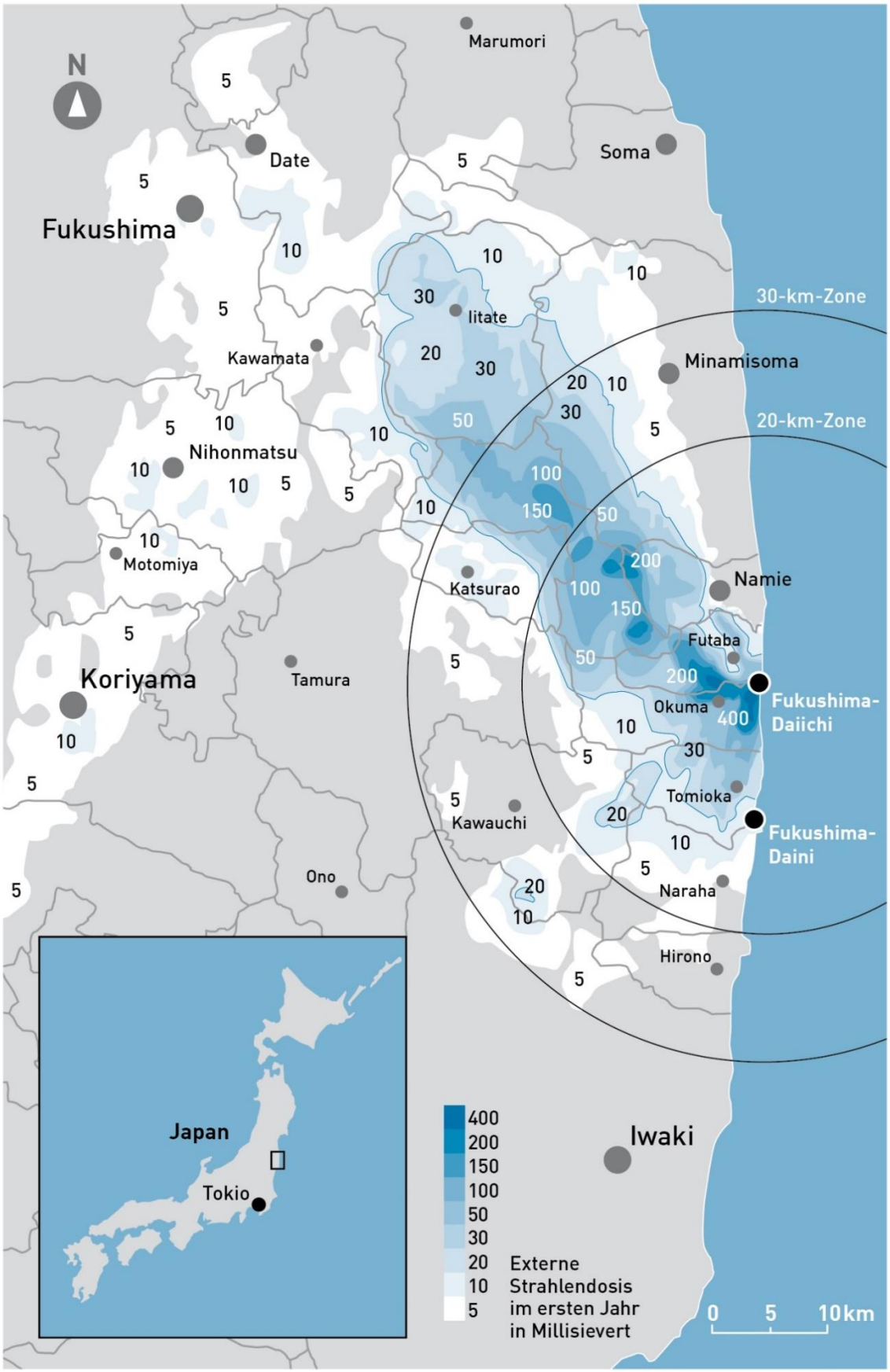
  Anmerkung: *Radioaktives Jod-131 (Halbwertszeit 8 Tage) ist das mit Abstand wichtigste inkorporierte Radioisotop, während radioaktives Cäsium-134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre) und Cäsium-137 (Halbwertszeit rund 30 Jahre) die mit Abstand wichtigsten Isotope für die Langzeitkontamination des Bodens sind. Nach dem Unfall von Tschernobyl wurde eine signifikante Zunahme von Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern festgestellt, die in den Wochen nach dem Unfall in Unkenntnis der Verstrahlung und ohne Schutzmassnahmen stark mit Jod-131 belastete Milch getrunken hatten. Das führte zu durchschnittlichen Dosen von mehreren Tausend mSv, mit einem (gemessenen) Extremfall von 50'000 mSv. Von den bisher erkrankten Kindern konnten fast alle geheilt werden. Die Schilddrüsen von Kindern sind acht bis neunmal empfindlicher auf radioaktives Jod als jene der erwachsenen Menschen[32].*

  In Japan rechnen die Fachleute der Uno hingegen auch in Zukunft mit keinen beobachtbaren Erhöhungen von strahlenbedingten Erkrankungen. Die Strahlenbelastungen durch den Unfall waren dafür nachweislich zu gering (siehe Karte S. 13).

– ***Schilddrüsenkrebs bei Kindern:*** Verschiedentlich wurde in den Medien über eine erhöhte Rate von Schilddrüsenkrebs bei Kindern in der Präfektur Fukushima spekuliert. Gemäss der Fachleute vor Ort ist es aber sehr unwahrscheinlich, dass diese mit dem Unfall zusammenhängen. Sie dürften eher auf die intensive Untersuchung von rund 370'000 Kindern mit modernsten Methoden zurückzuführen sein (Screening-Effekt: Es werden auch Fälle erfasst, die keine Symptome auslösen und normalerweise unentdeckt geblieben wären).

  Gemäss des zweiten Screenings mit 299'233 Kindern ergaben sich für die Periode bis März 2015 folgende Erkenntnisse:
  – mehr als 99% der untersuchten Kinder zeigten keine Auffälligkeiten. Dies deckt sich mit ähnlichen Untersuchungen in drei anderen japanischen Präfekturen.
  – Bei 2279 (0,75%) der untersuchten Kinder wurden zusätzliche Abklärungen vorgenommen. Bei 98 von ihnen (0,03% aller Kinder) wurde ein bösartiger Schilddrüsenkrebs diagnostiziert und operiert; bei einem weiteren Kind erwies sich die Wucherung als gutartig.

Vorsorge nach dem Unfall in Fukushima: umfassendes Gesundheitsmonitoring der betroffenen Bevölkerung und insbesondere der Kinder. (Bild: zvg)



Geschätzte externe Strahlendosis für einen Menschen, der sich im ersten Jahr nach dem Unfall dauernd im Freien aufgehalten hätte. (Quelle: Mext, japanisches Ministerium für Bildung, Kultur, Wissenschaft und Technologie, 11. Oktober 2011)

Psychosomatische Leiden: Eine Frau in einem temporären Wohnkomplex in Koryama, 40 Kilometer westlich des verunglückten Kraftwerks. (Bild: Kyodo/Japan Times)

Überraschend war, dass die entdeckten Schilddrüsenerkrankungen eher bei Teenagern auftraten, während bei den zum Unfallzeitpunkt 0- bis 5-jährigen Kindern kein einziger Fall gefunden wurde. Die insgesamt festgestellten Anomalien befinden sich im gleichen Bereich wie bei Kindern in nicht-verstrahlten Gebieten Japans. Fachleute ziehen aus den verfügbaren Daten den Schluss, dass die entdecken Anomalien höchstwahrscheinlich nicht auf den Nuklearunfall zurückgehen[33]. Allerdings ist es noch zu früh für definitive Aussagen, da eine allfällige Zunahme von Schilddrüsenkrebs – so die Erfahrung aus Tschernobyl – erst in einigen Jahren auftreten würde.

- ***Genetische Schäden:*** In den drei ersten Jahren nach dem Nuklearunfall wurden in der Präfektur Fukushima keine Häufungen von Missbildungen bei Neugeborenen oder von Früh- und Mangelgeburten festgestellt[34]. Laut IAEO war das zu erwarten, da beim Menschen noch nie strahleninduzierte Missbildungen festgestellt worden sind, auch nicht bei den Überlebenden der Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki und deren Nachkommen.
- ***Psychosomatische Leiden:*** Das grösste Risiko für die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung sind psychosomatische Probleme als Folge der Evakuierung sowie die durch den Tsunami bedingten Verluste von Haus, Hab und Gut bzw. die Todesfälle in der Verwandtschaft und im Freundes- und Bekanntenkreis. In einer Umfrage aus dem Jahr 2012 erklärten fast 10% der Befragten, dass sie mit unmittelbaren Gesundheitsfolgen rechnen, fast 20% erwarteten Langzeiteffekte und gut 25% fürchteten sich vor genetischen Schäden. Medienberichte schreiben von mehreren Tausend Menschen, die nicht durch Auswirkungen der Strahlung, sondern durch die schlagartig veränderten Lebensumstände vorzeitig verstoben seien, teils auch durch Selbstmord[35]. Inzwischen häufen sich Berichte von Medizinern, wonach erst die lang anhaltende Evakuierung relevante gesundheitliche Probleme geschaffen habe. Sie empfehlen, die Notfallmassnahmen bei Nuklearunfällen in diesem Licht zu überprüfen[36,37].

  Um die ungerechtfertigten Atomängste abzubauen, hat beispielsweise ein Team um den Physiker und Antimaterieforscher Ryugo Hayano von der Universität Tokio eine Reihe konkreter Projekte gestartet. Seine Aktivitäten umfassen systematische Messungen von radioaktivem Cäsium im Mittagessen an Schulen in Fukushima, Untersuchung der inneren Bestrahlung anhand von Ganzkörperzählern sowie die Entwicklung eines Gerätes, des «Babyscan», mit dem Kleinkinder im Beisein der Mutter auf radioaktives Cäsium untersucht werden können[38].

- ***Assessment der WHO*** über die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch den Unfall in Fukushima-Daiichi: Im Mai 2012 publizierte die WHO eine erste Abschätzung der Strahlenbelastung der Bevölkerung[39]. Am 28. Februar 2013 hat sie ihre Einschätzung aufgrund neuer Daten präzisiert: Demnach sind für die am stärksten belasteten Orte Namie (nahe dem Kraftwerk) und Itate (35 km nordwestlich) im ersten Jahr nach dem Unfall Strahlendosen im Bereich von 12–25 mSv und Schilddrüsendosen bei Kleinkindern von rund 70–120 mSv geschätzt worden. Daraus errechnen die Strahlenschutzfachleute bei den am stärksten belasteten Personen ausserhalb des Kraftwerks eine Erhöhung des Lebenszeit-Krebsrisikos (nicht Tod!) um weniger als einen Prozentpunkt. Die WHO erwartet daher keine beobachtbare Erhöhung der Krebsrate oder der Missbildungen bei Neugeborenen[40].
- ***Monitoring vor Ort:*** Ende Mai 2011 sind bei 195'345 untersuchten Menschen keine Anzeichen für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Strahlung festgestellt worden. Die höchste Schilddrüsendosis bei den untersuchten 1149 Kindern lag bei einem Kind bei 35 mSv[41]. Von Mai bis Juni 2013 wurden 3255 Kinder, die nach Minamisoma in die Schule pendeln, auf innere Kontaminationen untersucht. Dabei wurde kein einziges Kind gefunden, dass eine interne Kontamination mit Cäsium aufwies[42].
- ***Strahlenbelastung von Personal auf dem Kraftwerksgelände:*** Gemäss einer Aufstellung des japanischen Gesundheitsministeriums (Ministry of Health, Labor and Welfare) verteilen sich die kumulierten inneren und äusseren effektiven Strahlendosen im Zeitraum März 2011 bis Februar 2016 (d.h. in den ersten fünf Jahren nach dem Unfall) wie folgt (Tepco-Mitarbeiter und externes Personal, insgesamt 46'758 Personen)[43]:

Kumulierte Dosis in Millisievert (mSv)	Anzahl Mitarbeiter
Mehr als 250	6
200–250	3
150–200	28
100–150	137
75–100	609
50–75	2099
20–50	7104
10–20	6324
5–10	5975
1–5	10'490
Weniger als 1	13'983

Demnach haben sechs Mitarbeiter auf dem Kraftwerksgelände bis heute eine akkumulierte Dosis über 250 mSv erhalten und weitere 168 Personen eine Dosis über 100 mSv. Der Maximalwert beträgt 679 mSv. Seit Oktober 2011 wurden keine relevanten inneren Bestrahlungen mehr festgestellt. In Japan (und auch in der Schweiz) liegt der gesetzliche Grenzwert bei einem schweren Störfall bei 100 mSv. In bestimmten Fällen – bei Eingriffen, die weiteren grossen Schaden verhindern – darf in Japan notfalls dieser Grenzwert überschritten werden. Dies trifft auf 173 Mitarbeiter mit Dosen über 100 mSv zu. Bisher hat ein einziger Mitarbeiter mit 103 mSv die in seinem Fall rechtlich zulässige Dosis überschritten.

Eine Untersuchung der Schilddrüsen bei 672 stark belasteten Mitarbeitern hat keine signifikanten Unterschiede zu einer Kontrollgruppe gezeigt. Modellrechnungen haben ergeben, dass aufgrund des sehr geringen Risikos zusätzlicher Krebserkrankungen eine allfällige Zunahme wahrscheinlich statistisch nicht erkennbar sein wird. Einzig innerhalb der kleinen Gruppe der besonders stark belasteten Mitarbeiter ist das errechnete Erkrankungsrisiko deutlich erhöht[44].

Geringe Gesundheitsrisiken für das Personal: Techniker bei Arbeiten an der Kühlinstallation für den Eiswall. (Juni 2016, Bild: Tepco)

- ***Gesamtbewertung:*** Es gilt weltweit als erwiesen, dass selbst die Aufnahme von Schockdosen (die ganze Dosis auf einmal) von etwa 100 mSv keine langfristig statistische Erhöhung einer Krebsinzidenz erkennen lässt. Jahresdosen von 100 mSv werden an verschiedenen Orten der Erde natürlicherweise erreicht oder gar überschritten (Iran, Brasilien), ohne Folgen für die dortige Bevölkerung. Diese Erkenntnis steht auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von UNSCEAR zu den gesundheitlichen Konsequenzen aus medizinisch applizierter Bestrahlung zum Zweck der Diagnose (z.B. Computertomografie) oder der Therapie. Jahrzehntelange, weltweite epidemiologische Untersuchungen zeigen innerhalb der Lebenszeit ein Risiko von 5% für eine Krebserkrankung (nicht notwendigerweise mit Todesfolge!) bei einer aufgenommenen Strahlendosis von 1000 mSv.

  UNSCEAR hat im Dezember 2012 als vorläufige Beurteilung bestätigt, dass im Zusammenhang mit dem Unfall in Fukushima-Daiichi bisher keinerlei strahlenbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen festgestellt worden sind, weder beim Personal auf dem Kraftwerksgelände, noch in der Bevölkerung[45]. Die Wissenschafter weisen jedoch auf die hohe Bedeutung von Stress und Angstgefühlen für den Gesundheitszustand bei den von Evakuierungen betroffenen Menschen hin – eine Erfahrung, die bereits nach dem Unfall in Tschernobyl gemacht wurde. In Fukushima überlagern sich zudem die psychischen Belastungen aus dem Reaktorunfall mit den Belastungen als Folge der enormen Zerstörungen durch die Tsunamiwellen.

  Die internationale Beurteilung wurde inzwischen von einer Studie der Universität Kyoto bestätigt[46]. Aus den Werten von 458 Personen, die im August/September 2012 in unmittelbarer Nachbarschaft der evakuierten Gebiete ihrer normalen Tätigkeit nachgingen und während dieser zwei Monate mit Dosimetern ausgerüstet waren, leiten die Wissenschafter ab, dass diese Menschen einer zusätzlichen Strahlung von 0,9–2,5 mSv pro Jahr ausgesetzt sind – im Bereich der durchschnittlichen natürlichen Hintergrundstrahlung in Japan (rund 2 mSv pro Jahr). Es ist daher unwahrscheinlich, dass jemals zusätzliche Krebserkrankungen ausserhalb der normalen Schwankungen der Anzahl Krebserkrankungen erkennbar sein werden.

4 Status der Kernkraftwerke in Japan

- ***Energiepolitik:*** Am 25. Februar 2014 hat das japanische Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (Meti) einen Plan für die neue Energiepolitik vorgelegt («4th Basic Energy Plan»). Der Plan hält fest, dass die Kernenergie weiterhin eine «bedeutende Stromquelle zur Sicherstellung der Stabilität der Energieversorgung und zur Abdeckung der Nachfrage ist». Im Juli 2015 hat das zuständige beratende Komitee den Plan gutgeheissen. Er formuliert die Ziele für den Strommix bis 2030, wobei das Meti von einem Verbrauchswachstum von knapp 4,5% bis 2030 ausgeht. Gemäss diesem Plan soll die Kernenergie beibehalten werden, wenn auch in geringerem Umfang (siehe Grafik S. 19)[47].

- ***Nukleare Aufsicht:*** Die ungenügende Aufsicht über die Kernanlagen – einer der Schwachpunkte, die zum Unfall geführt haben – wurde neu organisiert. Bisher waren Förderung und Aufsicht beide im Meti angesiedelt. Neu sind alle Aspekte der nuklearen Sicherheit in einer Behörde, der Nuclear Regulation Authority (NRA), vereint, die ihrerseits dem Umweltministerium (MOE) untersteht. Im Nachgang zum Unfall in Fukushima-Daiichi sind in Japan neue Sicherheitsvorschriften für Kernkraftwerke und andere Nuklearanlagen in Kraft gesetzt worden. Die bestehenden und im Bau befindlichen Anlagen müssen diese Auflagen erfüllen, um in Betrieb gehen zu können. Zentrale Punkte der neuen Vorschriften sind:
  - Für die Sicherheit einer Anlage ist primär die Betreiberin verantwortlich.
  - Verbindliche Bewertung der Naturrisiken (Erdbeben und aktive Bruchzonen in der Umgebung der Anlagen, Tsunamis und neu auch Vulkanismus, Tornados und Waldbrände) gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik
  - Pflicht zur Nachrüstung
  - Begrenzung der Betriebsdauer der Kernkraftwerke auf 40 Jahre mit der Möglichkeit, maximal 20 Jahre zu verlängern
  - Obligatorische Massnahmen zur Beherrschung und Linderung von auslegungsüberschreitenden Störfällen. Dazu gehören u.a. Prozeduren für solche Fälle und Notfallübungen, gefilterte Druckentlastung des Primärcontainments, Vorsorge gegen Wasserstoffexplosionen, minimale Vorgaben zur Zahl und Platzierung von Notstromdieseln sowie geschützte Notstandsgebäude (vor dem Unfall in Fukushima-Daiichi war in Japan die Massnahmenplanung für auslegungsüberschreitende Störfälle freiwillig).

- ***Status der Kernkraftwerke:*** Vor dem Unfall in Fukushima-Daiichi lieferte die Kernenergie knapp 30% des Stroms in Japan. Nach dem Unfall wurden alle kommerziellen Kernkraftwerke nach und nach beim Erreichen des Revisionstermins abgeschaltet. 2013 wurden wegen drohender Versorgungsengpässe vorübergehend zwei Blöcke (Ohi-3 und -4) hochgefahren.

  Ende Februar 2017 präsentiert sich die Situation in Japan wie folgt (siehe Karte S. 18):

  - ***Definitiv stillgelegt:*** Mitte Dezember 2013 wurden die beiden unbeschädigten Blöcke Fukushima-Daiichi-5 und -6 formell stillgelegt. Ende April 2015 folgten die fünf Blöcke Genkai-1, Mihama-1 und -2, Shimane-1 und Tsuruga-1. Diese Blöcke sind 1975 oder früher in Betrieb gegangen. Im Mai 2016 wurde zudem Ikata-1 (Inbetriebnahme 1977) definitiv stillgelegt.

  - ***Wieder in Betrieb:*** Anfang 2017 standen in Japan drei Kernkraftwerke in Betrieb: die beiden Druckwasserreaktoreinheiten von Sendai auf der Insel Kyushu sowie die Einheit Ikata-3 an der Westküste von Shikoku, der kleinsten der vier Hauptinseln Japans. Sendai-1 nahm am 14. August 2015 den Betrieb wieder auf und Sendai-2 am 21. Oktober 2015. Ikata-3 wurde Anfang September 2016 in den kommerziellen Betrieb überführt. Ikata-3 ist nach den beiden Blöcken von Sendai und Takahama die fünfte Einheit Japans, die nach dem Reaktorunfall in

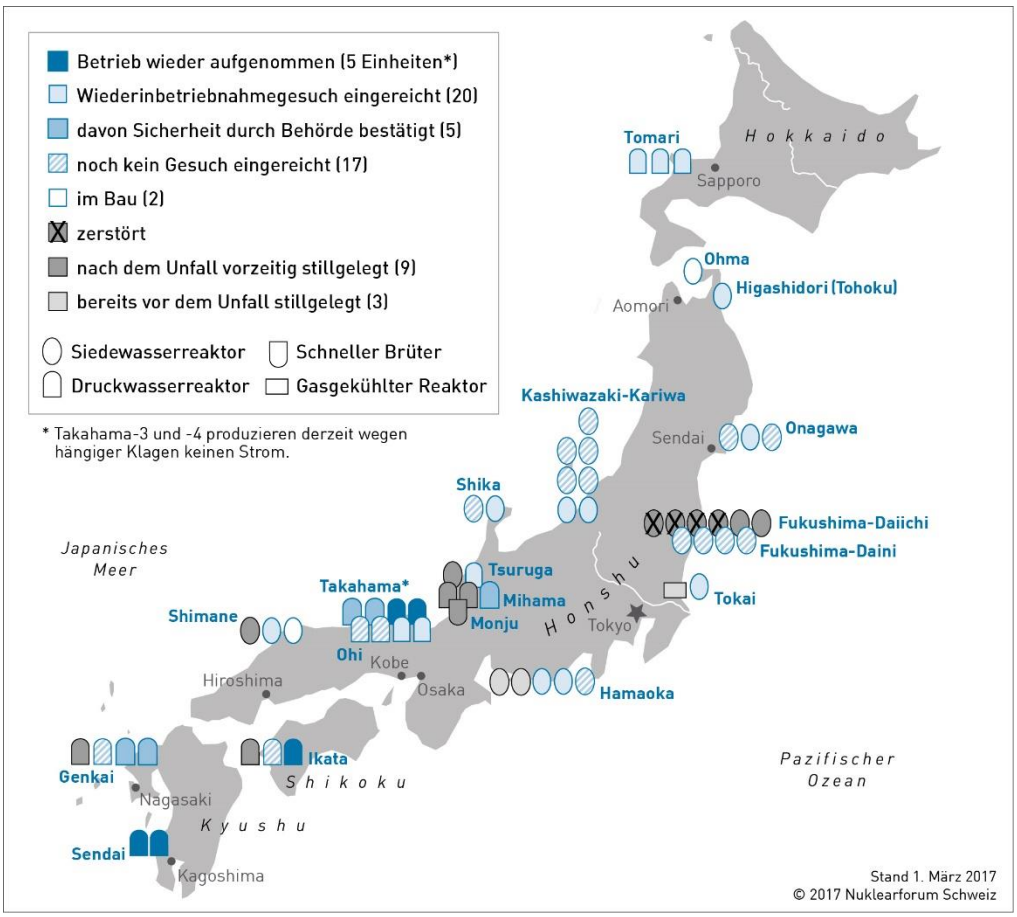
Fukushima-Daiichi alle Stufen des verschärften japanischen Wiederinbetriebnahme-Verfahrens erfolgreich abgeschlossen hat. Diese fünf Blöcke sind erst nach 1980 fertig gestellt worden.

Zwar hatten bereits im Januar und Februar 2016 die beiden Blöcke Takahama-3 und -4 ebenfalls die Stromproduktion wiederaufgenommen. Sie durften jedoch nur für kurze Zeit am Netz bleiben: Ein Bezirksgericht untersagte mit einer einstweiligen Verfügung den Betrieb der Kernkraftwerkseinheiten. Die Betreiberin Kansai Electric Power Co. Inc. musste Takahama-3 daraufhin am 10. März 2016 wieder vom Netz nehmen. Takahama-4 wurde wegen eines Alarms bei den Generator-Haupttransformatoren kurz nach der Inbetriebnahme automatisch abgeschaltet und produzierte bereits seit dem 29. Februar keinen Strom mehr. Die Kansai reichte kurz nach dem Gerichtsentscheid zwei separate Beschwerden ein. Der erste Antrag, die einstweilige Verfügung unverzüglich aufzuheben, wurde im Juni 2016 abgelehnt. Das Gericht wies dann im Juli 2016 auch die zweite Beschwerde gegen die Verfügung ab und entschied erneut im Sinne der Kläger, die unter anderem Bedenken zur seismischen Sicherheitsbeurteilung äusserten. Takahama- 3 und -4 haben den Betrieb bisher nicht wieder aufgenommen.

- ***Gesuch um Wiederinbetriebnahme:*** Ende Februar 2017 waren bei der Aufsichtsbehörde NRA Gesuche für die Betriebsfreigabe von weiteren 20 Einheiten hängig. Diese Blöcke waren zwischen 1976 (Mihama-3) und 2009 (Tomari-3) ans Netz gegangen.

- ***Kein Gesuch eingegangen:*** Bei 17 Blöcken sind bis Ende Februar 2017 keine Gesuche um Wiederinbetriebnahme eingegangen. Darunter befinden sich die vier Blöcke von Fukushima-Daini.

Die NRA hat bis Ende Februar 2017 für folgende Druckwasserreaktoren bestätigt, dass auch sie den neuen Sicherheitsanforderungen entsprechen: Genkai-3 und -4 (Inbetriebnahme 1994 und 1997), Mihama-3 (1976) sowie Takahama-1 und -2 (1974 und 1975).



5 Wirtschaftliche und ökologische Folgen der aktuellen japanischen Energiepolitik

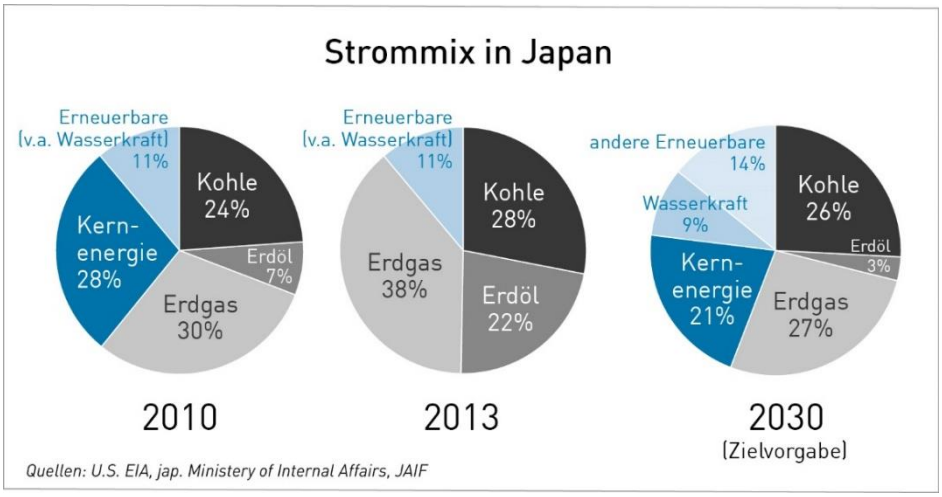
Durch den Wegfall der Kernkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von rund 40'000 Megawatt blieb in den vergangenen Jahren nur der teure Import von fossiler Energie für die Stromproduktion, mit den entsprechenden Folgen für den CO_2-Ausstoss. Diese Energieimporte belasten die Leistungsbilanz Japans. Die Handelsbilanz, die noch im Jahr 2010 einen Überschuss von 6635 Mrd. Yen auswies (damals ca. CHF 82 Mrd.), schloss 2014 mit einem seit dem Zweiten Weltkrieg nie erlebten Rekorddefizit von 12'816 Mrd. Yen ab (ca. CHF 110 Mrd.). Im Jahr 2015 reduzierte sich das Handelsdefizit auf 2'792 Mrd. Yen (ca. CHF 24 Mrd.). Im Jahr 2016 hingegen schloss die Handelsbilanz wieder positiv ab (+4'070 Mrd. Yen; ca. CHF 36 Mrd.)[48].

Seit der Abschaltung des japanischen Kernkraftwerksparks fehlen die jährlich von den Kernkraftwerken erzeugten 260–280 Terawattstunden. Spiegelbildlich dazu hat sich der japanische Strommix seit 2011 massiv verändert. Während vor der Naturkatastrophe von 2011 rund 60% des Stroms aus fossil befeuerten Kraftwerken stammte, waren es 2013 rund 90% (siehe Grafik). Der Stromverbrauch verminderte sich zwischen von 2010 bis 2013 um gut 5%.

Entsprechend hat beispielsweise der Import von Flüssiggas mit Schiffen (Japan hat keine Pipeline zum Festland) zwischen 2010 und heute um rund 20% zugenommen. Die Kosten für diese Importe verdoppelten sich von umgerechnet CHF 36,1 Mrd. im Jahr 2010 auf CHF 75,9 Mrd. im Jahr 2014. 2016 sind diese Kosten – vor allem wegen der tieferen Gaspreise – wieder auf CHF 33,1 Mrd. gesunken[49].

Zwei Studien aus den Jahren 2011 und 2012 kamen zum Ergebnis, dass der Strom aus Kernenergie in Japan auch dann günstiger als Strom aus Kohle oder Flüssiggas ist, wenn Kosten von 130 Milliarden US-Dollar nach einem schweren Unfall sowie der Aufwand für Nachrüstungen eingerechnet werden. Die im Juli 2012 eingeführten Einspeisevergütungen für Solar- und Windstrom sind sogar drei bis fünfmal höher[50].

Im Januar 2015 hat das japanische Institute of Energy Economics (IEEJ) einen Bericht[51] publiziert, der vier Zukunftsszenarien mit Nuklearanteilen in der Stromversorgung von 0–30% untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Stromkosten im 0%-Szenario rund 40% höher sind als im 30%-Kernenergieszenario. Das IEEJ bezeichnet einen Strommix von 50% fossilthermischen und je 25% nuklearen und erneuerbaren Quellen (inklusive Wasserkraft) als den optimalen Strommix für Japan im Jahr 2030 unter den Gesichtspunkten von Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Versorgungssicherheit und zu überwindenden politischen Hürden.



Quellen:

1 Reconstruction Agency: http://www.reconstruction.go.jp/english/

2 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/index-e.html

3 Nuclear Regulation Authority: Sea Area Monitoring. http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/295/list-1.html

4 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries: www.jfa.maff.go.jp/e/

5 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/index-e.html

6 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/pla/index-e.html

7 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): Fukushima Daiichi NPS Prompt Report, January 8, 2016. http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2016/1265513_7763.html

8 International Atomic Energy Agency (IAEA): Events and highlights on the progress related to recovery operations at Fukushima Daiichi NPS. February 2014. http://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc_japan0214.pdf

9 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): Fukushima Daiichi NPS Prompt Report, February 9, 2016. http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2016/1267045_7763.html

10 Tokyo Electric Power Co. (Tepco): http://www.tepco.co.jp/en/announcements/2017/1374451_10494.html

11 Website Fukushima prefecture: http://www.pref.fukushima.lg.jp.e.od.hp.transer.com/site/portal/list271.html

12 Nuklearforum Schweiz: E-Bulletin. 17. Juni 2015: http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/fukushima-evakuierungsrichtlinien-revidiert

13 «Fukushima Minpo News», January 30, 2016: http://www.fukushimaminponews.com/news.html?id=623

14 «The Japan Times», February 15, 2015: http://www.japantimes.co.jp/news/2015/02/15/national/new-fukushima-bus-service-broadens-options-for-residents-near-no-go-zones/#.VOSMYGc5C71

15 «The Japan Times». March 2, 2015: http://www.japantimes.co.jp/news/2015/03/02/national/completion-joban-expressway-stirs-tohoku-reconstruction-hopes/#.Vs3Fjk2h270

16 Reconstruction Agency, March 2017: http://www.reconstruction.go.jp/english/topics/Progress_to_date/index.html

17 Website Fukushima prefecture: http://www.pref.fukushima.lg.jp.e.od.hp.transer.com/site/portal/list271.html

18 Nuclear Regulation Authority: Sea Area Monitoring. http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/295/list-1.html

19 Reuters, December 9, 2016: http://www.reuters.com/article/us-tepco-fukushima-costs-idUSKBN13Y047

20 «The Asahi Shimbun», February 27, 2017: http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201702270056.html

21 Ministry of the Environment: Progress on Off-site Cleanup and Interim Storage Facility in Japan. February 2017. http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf

22 dito

23 Ministry of Health, Labour and Welfare: http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/ws_376.pdf

24 Ministry of Health, Labour and Welfare: http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/index_food.html

25 Japan Atomic Industrial Forum (JAIF): http://www.jaif.or.jp/en/exports-of-peaches-from-fukushima-exceed-those-prior-to-earthquake/

26 Nuklearforum Schweiz: E-Bulletin, 9. Februar 2016: http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/eu-erleichtert-lebensmittelimporte-aus-japan

27 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries: http://www.jfa.maff.go.jp/e/

28 «The Japan Times». February 28, 2017: http://www.japantimes.co.jp/news/2017/02/28/national/fukushima-fishermen-decide-expand-fishing-zone/#.WLmKFDvhBaQ

29 «The Asahi Shimbun, February 26, 2017: http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201702260030.html

30 «Fukushima Minpo News», October 19, 2015: http://www.fukushimaminponews.com/news.html?id=583

31 International Atomic Energy Agency (IAEA): The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5, Radiological Consequences. Vienna, August 2015. www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-director-general%E2%80%99s-report-fukushima-daiichi-accident

32 dito

[33] dito

[34] «Fukushima Minpo News», February 13, 2015: http://www.fukushimaminponews.com/news.html?id=468

[35] «Neue Zürcher Zeitung» Online, 10. März 2015: http://www.nzz.ch/newsticker/immer-mehr-japaner-sterben-an-fukushima-folgen-1.18498899

[36] «Les Echos», 13 mars 2016: https://www.lesechos.fr/13/03/2016/lesechos.fr/021763518880_les-scientifiques-ecartent-le-lien-entre-fukushima-et-les-cancers-de-la-thyroide.htm

[37] «The Huffington Post», June 18, 2016: http://www.huffingtonpost.jp/claire-leppold/fukushima-and-the-art-of-knowing-en_b_10537440.html

[38] Hayano R., Yamanaka S., Bronson F., Oginni B. & Muramuatsu I., 2014: Babyscan – a whole body counter for small children in Fukushima. https://arxiv.org/abs/1402.5508v2

[39] World Health Organisation (WHO): Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. Report of May 2012.

[40] World Health Organisation (WHO): Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. Report of February 2013.

[41] Japan Atomic Industrial Forum (JAIF): JAIF Earthquake Report No. 173, 14 August 2011.

[42] (US) National Center for Biotechnology Information (NCBI), Health Phys. 2015 Jan; 108(1), 39–43: Absence of internal radiation contamination by radioactive cesium among children affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster. Abstract. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25437518

[43] Ministry of Health, Labour and Welfare: Exposure Dose Distribution of the Workers at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Update 31 March 2016. http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/irpw/ede_160331.pdf

[44] International Atomic Energy Agency (IAEA): The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5, Radiological Consequences. Vienna, August 2015. https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-director-general%E2%80%99s-report-fukushima-daiichi-accident

[45] Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). General Assembly of the United Nations, Official Records, Sixty-eighth session, Supplement No. 46, 27–31 May 2013: www.unscear.org/docs/GAreports/A-68-46_e_V1385727.pdf

[46] Harada et al.: Radiation dose rates now and in the future for residents neighbouring restricted areas of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Kyoto University Graduate School of Medicine, published in the Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 22 January 2014. www.pnas.org/content/early/2014/02/19/1315684111.abstract

[47] World Nuclear News, 3 June 2015: http://www.world-nuclear-news.org/NP-Plan-sets-out-Japans-energy-mix-for-2030-0306154.html

[48] Ministry of Finance: Trade Statistics of Japan. http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou_e.htm

[49] dito

[50] World Nuclear Association (WNA): Nuclear Power in Japan, update March 2017. http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Japan/

[51] Institute of Energy Economics (IEEJ): Toward Choosing Energy Mix. January 2015. http://eneken.ieej.or.jp/en/press/press150116c.pdf

Kontakt: Dr. Michael Schorer, Leiter Kommunikation
Nuklearforum Schweiz
Frohburgstrasse 20, 4600 Olten
Tel.: +41 (0)31 560 36 50
E-Mail: michael.schorer@nuklearforum.ch