

Fukushima zwei Jahre nach der Naturkatastrophe

Beim Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi am 11. März 2011 wurden vier Reaktorblöcke schwer beschädigt und grosse Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt. Zwei Jahre später ist die Lage im Kraftwerk stabil und es ist kaum mit strahlenbedingten Erkrankungen zu rechnen. Trotz grosser Fortschritte wird die Bewältigung der Folgen der Mehrfachkatastrophe wegen der grossflächigen Zerstörungen durch Tsunamis noch Jahre dauern.

Eine verlässliche Abschätzung der mannigfachen sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen des Nuklearunfalls in Fukushima-Daiichi ist schwierig, da er im Kontext einer extremen Naturkatastrophe stattfand, bei der nach einem schweren Seebeben mehrere Tsunamis weite Küstengebiete verwüsteten. Die Flutwellen forderten nicht nur fast 16'000 Menschenleben und gegen 3000 Vermisste, sondern zerstörten auch rund 130'000 Häuser völlig und beschädigten über eine halbe Million weiterer Gebäude schwer¹. 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 – ein ohnehin strukturschwaches Gebiet – von einer Mehrfachkatastrophe getroffen. Die nachfolgende Zwischenbilanz beschränkt sich auf die Folgen des Nuklearunfalls, der nur einen Teil der Belastungen in der von den Tsunamis verwüsteten Region ausmacht. Nach den übereinstimmenden Erkenntnissen von zwei in Japan eingesetzten Untersuchungskommissionen² wäre trotz der Heftigkeit der Naturkatastrophe der nukleare Unfall vermeidbar gewesen, wenn die Anlagen in Fukushima-Daiichi den japanischen und internationalen Richtlinien entsprochen hätten. Obwohl die sicherheitstechnischen Mängel seit einigen Jahren bekannt waren, wurden entsprechende Nachrüstungen weder von den Behörden verlangt noch von der Betreiberin umgesetzt.

Teilfreigabe der evakuierten Gebiete

Während der ersten Tage des Unfalls in der Kernkraftwerksanlage Fukushima-Daiichi³ haben die japanischen Behörden für eine 20-Kilometer-Zone um das Kraftwerk und für ein im Nordwesten angrenzendes



Fukushima-Daiichi zwei Jahre nach dem Unfall: der aktuelle Zustand der Blöcke 1 (rechts) bis 4 (links).

Foto: Japan Times

etwa ebenso grosses Gebiet die Evakuierung der Bevölkerung angeordnet. Insgesamt wurden damals rund 150'000 Personen evakuiert. Diese Evakuierten kamen zu rund den rund 330'000 Menschen hinzu, die aus den von Tsunamis zerstörten Gebieten wegziehen mussten⁴. →

¹ Reconstruction Promotion Committee: FY2012 Interim Report, September 2012. www.reconstruction.go.jp/english/

² Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations, eingesetzt von der japanischen Regierung (Final Report vom 23. Juli 2012), und The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, eingesetzt vom japanischen Parlament (Official Report, publiziert im Sommer 2012)

³ Eine Darstellung des Unfalls und seiner Ursachen findet sich im Dossier «Fukushima – Analyse und Lehren» das von der Website des Nuklearforums Schweiz heruntergeladen werden kann: www.nuklearforum.ch, Links «Fakten und Wissen» und «Dossiers». Eine umfassende, detaillierte Darstellung «Fukushima Daiichi, 11. März 2011 – Unfallablauf/Radiologische Folgen» hat die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) im März 2013 publiziert. www.grs.de

⁴ Reconstruction Promotion Committee: FY2012 Interim Report, September 2012. www.reconstruction.go.jp/english/

Deutlich erhöhte Strahlungswerte werden in lokalen Hotspots und in unmittelbarer Umgebung des Kraftwerks gemessen. Die Strahlung stammt heute fast ausschliesslich von ausgefallenem Cäsium-137 mit einer physikalischen Halbwertszeit von rund 30 Jahren (bis heute wurden keine Anteile von Plutonium oder anderen Alphastrahlen gefunden). Das Cäsium hat sich im Boden abgelagert und kann über die Pflanzen und weidende Nutztiere in die Nahrungskette gelangen. Die Gebiete mit einer Strahlenbelastung von über 100 Millisievert (mSv) im ersten Jahr nach dem Unfall umfassen eine Fläche von ungefähr 100–150 km²; das entspricht etwas mehr als der Gemeindefläche der Stadt Zürich. Ein Teil dieser Zonen liegt in einem unbewohnten Naturschutzgebiet.

Die radioaktiv kontaminierten Teile des evakuierten Gebiets werden seit April 2012 schrittweise wieder freigegeben. Die japanischen Behörden wenden dabei ein abgestuftes System an (siehe Karte) an, das auf den aktuell zu erwartenden Strahlenbelastungen beruht. Der dabei angewendete Grenzwert von 20 Millisievert pro Jahr (mSv/a) entspricht etwa einer jährlichen Ganzkörper-Computertomographie, was heisst, dass die

japanischen Behörden strenge Kriterien anwenden, was die Rückkehr der Evakuierten erschwert. Zehn Jahre nach dem Unfall dürften mit dem fortschreitenden Abklingen der Radioaktivität nur noch wenige Dutzend Quadratkilometer eine Dosisrate von mehr als 20 mSv/a aufweisen⁵.

Aufwendige Dekontaminationsarbeiten

Um die Strahlenbelastungen zu reduzieren, wurde im Herbst 2011 mit aufwendigen Dekontaminationsarbeiten begonnen. Sie werden vor allem vom Militär durchgeführt. Die zuständigen Behörden stützen sich dabei auf die praktischen Erfahrungen in Tschernobyl. Die Arbeiten werden mit ukrainischer Beratung gezielt und effektiv durchgeführt. Die Reinigung von Schulanlagen, öffentlichen Plätzen und Strassen ist inzwischen weit fortgeschritten. In diesen Bereichen konnten die Oberflächenkontaminationen unter die Grenzwerte abgesenkt werden. In den schwach kontaminierten Zonen sollen die lokalen Behörden von der nationalen Regierung unterstützt werden, um Dosiswerte unter 1 mSv/a

⁵ Reconstruction Agency, Current Status and Path Toward Reconstruction, March 2013. www.reconstruction.go.jp/english/

Hilfsstruktur zum späteren Entladen des Lagerbeckens: Stahlgerüst als Teil des Schutzgebäudes von Block 4.

Foto: Tepco





Die aktuellen behördlichen Verfügungen in den Evakuationszonen und in den nach dem Unfall zum Verlassen empfohlenen Gebieten (Stand Ende 2012).



Komplexes Wassermanagement: Installation von Wasser-tanks auf der Kraftwerksanlage.

Foto: Tepco

zu erreichen. Die Zonen mit 20–50 mSv/a werden ebenfalls weiter dekontaminiert und sollen bis März 2014 freigegeben werden. In den stärker belasteten Restgebieten wird die Rückkehr bei Anwendung der heutigen Regeln erst in 10–20 Jahren möglich sein.

Noch nicht gelöst ist die definitive Deponierung der grossen Abfallmengen aus den Dekontaminationsarbeiten wie auch der schätzungsweise zehnmals grösseren Mengen an Öl- und Chemierückständen aus der Beschädigung von Industriewerken, Tankanlagen und Leitungen durch die Tsunamis.

Sehr strenge Grenzwerte für Nahrungsmittel

Die Erholung der lokalen Wirtschaft wird erschwert durch das Misstrauen der japanischen Konsumenten gegenüber Agrarprodukten aus der Präfektur Fukushima, das trotz der im internationalen Vergleich sehr strengen Grenzwerte und umfassenden Kontrollen nur langsam abnimmt⁶. Dies, obwohl bereits im Jahr 2011 bei einer Kontrolle von rund 23'000 Reisbaubetrieben nur auf 38 Bauernhöfen Cäsiumwerte über dem zulässigen Grenzwert aufwiesen und im September 2012 erstmals Frischprodukte aus der Präfektur Fukushima wieder ins Ausland exportiert werden durften.

Gegenwärtig werden in 17 japanischen Präfekturen Lebensmittel laufend auf Radioaktivität kontrolliert⁷. Seit der Verschärfung der zulässigen Grenzwerte am 1. April 2012 wurden bei Frischmilch, Geflügel, Eiern und Getreide keine Überschreitungen entdeckt. Bei Reis, Gemüse, Früchten, Soja und Tee wurden die Grenzwerte vereinzelt überschritten (1–2% der Proben), jedoch praktisch keine beim Rindfleisch, wo nur zwei von 130'095 Proben zu hohe Werte zeigten. Häufigere Überschreitungen (rund 10% der Proben) gab es dagegen bei Pilzen und essbaren Wildpflanzen. Die

Grenzwerte in Japan sind allerdings derart tief, dass auch beim gelegentlichen Verzehr von Nahrungsmitteln, die leicht über den Grenzwerten liegen, mit Sicherheit keine gesundheitlichen Risiken entstehen.

Bei den Fischen und Meeresfrüchten wurde im Januar 2013 der ebenfalls äusserst restriktive Cäsium-Grenzwert ausserhalb der Küstengewässer der Präfektur Fukushima nur sehr selten überschritten. Vor der Küste Fukushimas gilt immer noch ein teilweises Fischfangverbot; in diesem Meeresgebiet werden die Grenzwerte etwas häufiger übertroffen. Hohe Cäsiumwerte werden jedoch nur bei Fängen innerhalb des Hafensbereichs der Anlage gemessen.

Geringe Strahlenbelastung der Bevölkerung

Bisher ist durch die Strahlenbelastung nach dem Unfall in Fukushima-Daiichi nachweislich niemand gesundheitlich beeinträchtigt worden, weder die Notfallequipen zu Beginn des Unfalles noch das bis heute eingesetzte Aufräumpersonal innerhalb des Kraftwerks. Als Folge der frühzeitig ergriffenen Schutz- und Evakuationsmassnahmen wurden auch bei der in der Umgebung lebenden Bevölkerung keine Überschreitungen radiologischer Grenzwerte festgestellt. Die Fachleute der Uno rechnen auch in Zukunft mit keinen beobachtbaren Erhöhungen strahlenbedingter Erkrankungen. Die Strahlenbelastungen durch den Unfall waren dafür zu gering.

Im Mai 2012 veröffentlichte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) der Uno eine erste, bewusst sehr konservativ vorgenommene Schätzung der mutmasslichen Strahlenbelastung der Bevölkerung. Am 28. Februar 2013 hat die WHO ihre Einschätzung aufgrund neuer Daten präzisiert und konnte sie nach unten korrigieren⁸. Die Fachleute sind dabei zu folgenden Schlüssen gekommen:

- In den meisten vom Unfall betroffenen Gebieten liegen die errechneten möglichen Strahlenbelastungen so tief (0,1–10 mSv im ersten Jahr), dass mit keiner beobachtbaren Zunahme von Krebserkrankungen in der Bevölkerung zu rechnen ist. →

⁶ Reconstruction Promotion Committee: FY2012 Interim Report, September 2012. www.reconstruction.go.jp/english/

⁷ Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF): Results of inspections on radioactivity levels in agricultural products (since April 1st, 2012). www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s_chosa/other/result_agri_2012.html

⁸ 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, 28 February 2013. www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en/index.html

- Am stärksten könnten Bewohner der Gemeinden Namie und Itate (in nordwestlicher Richtung ausserhalb der 20-km-Frühevakuierungszone) betroffen sein, die erst vier Monate nach dem Unfall evakuiert wurden. Dort liegt die Bandbreite der gesamten errechneten Strahlenbelastung (effektive Dosis, externe und interne Strahlung) im ersten Jahr nach dem Unfall bei 12–25 mSv. Falls dort Kleinkinder über die Luft oder die Nahrung radioaktive Stoffe aufgenommen haben, könnte ihre Schilddrüsensdosis 72–122 mSv erreicht haben. Die Fachleute der WHO betonen, dass dies Maximalwerte unter besonders ungünstigen Bedingungen sind und die tatsächlichen Dosen geringer sein dürften.

Kaum gesundheitliche Folgen durch Strahlung

Daraus errechnen die Strahlenschutzfachleute bei den am stärksten belasteten Personen ausserhalb des Kraftwerks eine Erhöhung des Lebenszeit-Krebsrisikos um weniger als einen Prozentpunkt. Die WHO erwartet daher keine beobachtbare Erhöhung der Krebsrate. Auch rechnet sie nicht mit mehr Missbildungen bei Neugeborenen. Die vor Ort erhobenen Daten stützen diese Berechnungen. Ende Mai 2011 wurden bei über 195'345 untersuchten Menschen keine Anzeichen für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Strahlung festgestellt. Die höchste Schilddrüsensdosis bei den 1080 untersuchten Kindern lag bei 35 mSv.

Bei dem auf dem Kraftwerksgelände eingesetzten Personal haben nach den Erkenntnissen des United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Unscear) sechs Mitarbeiter eine akkumulierte Dosis über 250 mSv erhalten und 170 Personen eine



Umweltmanagement: Das zufließende Grundwasser wird über einen Bypass um die Anlage herumgeleitet.

Foto: Tepco

Dosis über 100 mSv. Bisher sind bei keinem Mitarbeiter strahlenbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen aufgetreten. Die WHO hält jedoch bei den wenigen Personen, die in der Frühphase des Unfalls signifikante Mengen an radioaktivem Jod eingeatmet haben könnten, eine beobachtbare Erhöhung von Schilddrüsenkrebs für möglich, insbesondere bei den jüngsten Mitarbeitern. Entsprechend empfiehlt sie ein Nachsorgeprogramm.

Risiko durch psychischen Stress dominiert

Bei Jahresdosen bis 100 mSv ist aufgrund jahrzehntelanger weltweiter Erfahrung nicht mit beobachtbaren gesundheitlichen Folgen zu rechnen. Solche Dosen werden an verschiedenen Orten der Erde natürlicherweise erreicht oder gar überschritten (Iran, Brasilien), ohne dass Folgen für die dort lebende Bevölkerung erkennbar wären. Das grösste Risiko für die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung sind psychosomatische Probleme als Folge der anhaltenden Evakuierung sowie die durch den Tsunami bedingten Todesfälle in der Verwandtschaft sowie im Freundes- und Bekanntenkreis. Die Wissenschaftler von Unscear weisen denn auch auf die hohe Bedeutung von Stress und Angstgefühlen für den Gesundheitszustand bei von einem Nuklearunfall betroffenen Menschen hin – eine Erfahrung, die bereits nach dem Unfall in Tschernobyl gemacht worden ist. Im Fall von Fukushima überlagern sich zudem die psychischen Belastungen aus dem Nuklearunfall mit jenen als Folge der enormen Zerstörungen durch die Tsunamiwellen. Nach den bisherigen Erfahrungen scheinen vor allem junge Menschen den Nuklearunfall zum Anlass nehmen, um endgültig aus diesem schon zuvor strukturschwachen Randgebiet mit hoher Jugendarbeitslosigkeit abzuwandern⁹. (M.S.)

Der Autor bedankt sich bei Johannes Nöggerath, Präsident der Schweizerischen Gesellschaft der Kernfachleute (SGK), für die fachliche Unterstützung bei der Erarbeitung dieses Beitrags. →

⁹ Mitteilung von Akira Omoto, Professor für Kerntechnik an der Universität Tokio und Mitglied der japanischen Atomenergiekommission, 19. Januar 2013

Stabilisierung der Lage in Fukushima-Daiichi

In den zwei Jahren seit dem Reaktorunfall hat die Betreiberin Tepco am Kraftwerksstandort Fukushima-Daiichi umfassende Arbeiten zum Schutz von Mensch und Umwelt geleistet¹⁰. Bereits unmittelbar nach dem Unfall wurden erste Sofortmassnahmen getroffen, um das weitere Entweichen radioaktiver Stoffe in die Umgebung möglichst zu unterbinden. Zudem wurde die Anlage gegen schwere Regenfälle und weitere Erdbeben zusätzlich mit bautechnischen Massnahmen gesichert.

Diese Massnahmen wurden in den vergangenen beiden Jahren immer weiter ausgebaut, sodass die zerstörten Anlagen heute kaum noch radioaktive Stoffe an die Umgebung abgeben. Die zusätzliche Strahlenbelastung am Zaun des Kraftwerksgeländes liegt heute weit unterhalb der natürlichen Strahlung. Die Abgaben ins Meer konnten bereits zwei Monate nach dem Unfall unter den Strahlenschutz-Grenzwert zurückgeführt werden und liegen seither stabil auf tiefem Niveau. Die Strahlung im Innern der Reaktorgebäude ist jedoch als Folge der Kernschmelzen immer noch sehr hoch.

Komplexes Wassermanagement

Eine besondere Herausforderung für die Tepco ist das Wasser- und Abfallmanagement auf dem Areal. Das kontaminierte Wasser wird innerhalb des Geländes aufgefangen und gefiltert. Die abgeschiedenen radioaktiven Stoffe werden als betonierte Abfälle konditioniert und zwischengelagert. Gegenwärtig wird eine weitere, grössere Wasseraufbereitungsanlage in Betrieb genommen, da die anfangs erstellte Hauptanlage in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt ist. Das so gereinigte Wasser wird weiterhin auf dem Kraftwerksgelände gelagert, da es nicht ins Meer abgelassen werden darf, obwohl die radioaktive Belastung heute gering ist. Das kontaminierte Wasser im Boden unter dem Kraftwerk wird ebenfalls gefasst und abgepumpt, sodass es kaum mehr ins Meer gelangen kann. Das aus der höher liegenden Region im Westen zufließende Grundwasser wird über eine neue Drainageleitung um die Anlage herumgeleitet.

Kühlung der Reaktoren und Lagerbecken

Die Reaktoren der verunfallten Blöcke 1-3 werden heute mit je einem eigenen, geschlossenen Wasserkreislauf gekühlt. Das nach wie vor durch Lecks in den Reaktorsystemen auslaufende Kühlwasser wird gesammelt, gefiltert und erneut für die Kühlung verwendet. Die Temperaturen am Boden der Reaktordruckgefässe bewegen sich gegenwärtig stabil bei 25–50 Grad Celsius.

Die Lagerbecken aller vier beschädigten Blöcke werden mit neu eingerichteten Kühlkreisläufen gekühlt. Die Restwärmeleistung der darin gelagerten Brennelemente bewegt sich im Promillebereich der ursprünglichen Betriebsleistung. Die Lagerbecken sind intakt. Wasseranalysen zeigen, dass auch die meisten Brennstäbe intakt sein dürften. Zwei frische Brennelemente, die im Juli 2012 aus dem Becken des Blocks 4 entnommen werden konnten, zeigten keine Schäden.

Rückbau Schritt um Schritt

Ende Oktober 2011 wurde die Schutzhülle um den Block 1 fertiggestellt. Zurzeit wird das Schutzgebäude für Block 4 errichtet. Der Bau des Schutzgebäudes von Block 3 wird gegenwärtig vorbereitet und beginnt, sobald der Schutt auf dem Dach abgetragen ist. Die drei Abdeckungen unterscheiden sich in Funktion und Aussehen, je nach dem Zustand des jeweiligen Blocks. Das Reaktorgebäude von Block 2 ist intakt geblieben und benötigt keinen Schutzbau.

Die Tepco plant, nach der Fertigstellung der Schutzgebäude zunächst die Brennelemente aus den Lagerbecken zu entfernen. Die Lecks in den Blöcken 1-3 sollen abgedichtet werden, sobald die Umstände in den Reaktorgebäuden dies erlauben. Für das Entfernen der zerstörten Reaktorkerne der Blöcke 1–3 rechnet die Tepco – aufgrund der Erfahrungen aus dem Kernschmelzunfall im amerikanischen Three-Mile-Island im Jahr 1979 – mit einem Zeitraum von rund 25 Jahren. Der vollständige Rückbau der verunfallten Blöcke 1–4 soll nach 30–40 Jahren abgeschlossen sein.

¹⁰ Tokyo Electric Power Company (Tepco): Current Status of Fukushima Dai-Ichi NPS, Fukushima Ministerial Conference on Nuclear Safety, December 15-16, 2012