

Dieter Seeliger

Fukushima – bisherige Lehren aus der Katastrophe über die Sicherheit von Kernkraftwerken

1. Ablauf der Havarie

Am 11.03.2011 um 14:46 Uhr Ortszeit ereignete sich etwa 150 km vor der Stadt Sendai ein Seebeben im Pazifik, welches mit der Magnitude 9,0 alle bis dahin in der Region bekannten (maximale Magnitude 8,2) übertraf. In seinem Wirkungsbereich lagen vier japanische Kernkraftwerke, darunter das KKW Fukushima Daiichi mit sechs Siedewasserreaktoren mit einer elektrischen Leistung von 4.547 MW, die in den Jahren 1971-1979 unter Nutzung US-amerikanischer Technologie von General Electric unmittelbar an der Meeresküste errichtet worden waren und vom japanischen Konzern TEPCO betrieben werden. Die Reaktoren sind mit einem primären Containment vom Typ MARK I ausgestattet: Das Reaktordruckgefäß aus Stahl befindet sich in einem „birnenförmigen“ Reaktorsicherheitsbehälter (Containment) aus Stahlbeton, der über Dampfleitungen an die ringförmig um den Reaktorsicherheitsbehälter angeordnete Kondensationskammer angekoppelt ist.

Das Beben hatte schwere Schäden an der Infrastruktur in der Region zur Folge, insbesondere den kompletten Ausfall des öffentlichen Stromnetzes und der Transportwege. Die für diesen Fall vorgesehene automatische Notabschaltung der in Betrieb befindlichen Reaktoren 1 bis 3 und die Einschaltung der Notstromversorgung mithilfe aller 13 hierfür vorgesehenen Dieseldgeneratoren funktionierte reibungslos, ebenso wie die automatische Absperrung aller Durchführungen ins Containment sowie die Druckentlastung der Reaktordruckgefäße durch Ablassen von Dampf in die Kondensationskammern. Schäden an den Reaktoren traten bis dahin nicht auf bzw. wurden – zumindest zeitnah – nicht registriert, obgleich das Beben eine deutlich höhere Stärke aufwies als der Auslegung beim Bau des Kraftwerkes zugrunde gelegt worden war.

Ab 15:27 Uhr trafen nacheinander sieben Tsunamiwellen am Kraftwerksstandort ein, deren maximale Höhe mit 14 bis 15 Metern angegeben wird. Die

mit einer Höhe von 5,7 m ausgelegte Schutzmauer konnte die weiträumige Überflutung des Betriebsgeländes nicht verhindern, mehrere Gebäudekomplexe wurden im unteren Bereich überflutet, darunter die Keller der Maschinenhäuser, in denen sowohl die Notstromgeneratoren sowie teilweise auch die Batterien untergebracht waren. Es kam folglich sofort zum Ausfall der Notstromversorgung über Dieselgeneratoren für die Reaktoren 1 bis 4 und – dort, wo auch die Notbatterien von der Überflutung betroffen waren – zum schlagartigen kompletten Ausfall aller Kontroll- und Regulierungssysteme des Reaktors. Das bedeutete den Ausfall von Kühl- und Nebenkühlssystemen sowie der Frischwasserzufuhr für die Reaktoren und die zugehörigen Abklingbecken für benutzte Brennstäbe. Am gleichen Tag, um 15:42 Uhr, wurde der Notstand für Fukushima Daiichi ausgerufen.

Eine kurzzeitige Notkühlung von zwei Reaktoren ermöglichten noch betriebsbereite Batterien, danach gab es keine reguläre Kühlung der Reaktoren und der Abklingbecken. Es kam folglich sukzessive zur Überhitzung, Verdampfung des Wassers in den Reaktordruckgefäßen, teilweisem Freilegen der Reaktorkerne, Wasserstoffbildung durch katalytische Wasserzerersetzung an den erhitzten Metallen der Reaktorkerne, starkem Druckanstieg. Durch automatisches Venting der Reaktordruckgefäße sollte deren komplette Zerstörung verhindert werden, dies war jedoch mit der Freisetzung an die Atmosphäre von Wasserstoffgas und flüchtigen Radionukliden, insbesondere J-131, Cs-134 und Cs-137, verbunden. Dies bedeutete eine starke radioaktive Belastung der Umwelt.

Am 12.03. um 12:57 Uhr zerstörte eine Wasserstoffexplosion die Reaktorhalle des Reaktors 1, einen Tag später folgte die Explosion am Reaktor 2, wobei die Hallenkonstruktion dabei weitgehend erhalten blieb. Am 15.03. wurde die Reaktorhalle 3 komplett zerstört, und am gleichen Tag kam es auch über dem nicht gekühlten Abklingbecken von Reaktor 4, in welchem 1331 Brennstäbe lagerten, ebenfalls zur Wasserstoffexplosion.

Ab 16.03. begann der Betreiber mit der Einleitung umfangreicher Notfallmaßnahmen: Evakuierungen aus der 20 km-Sperrzone, Kühlung der frei liegenden Brennelementbecken aus Hubschraubern mittels Wasserwerfern und Betonpumpen, schrittweise Wiederherstellung der Stromversorgung, Abdichtung von Lecks, Installation von Notkühlssystemen und weitere Maßnahmen. Eine ausführliche Analyse des Unfallablaufs ist im ENSI-Bericht (vgl. ENSI 2011) und anderen Quellen gegeben (vgl. ATF 2011; Kuczera 2011).

Um das fast unvorstellbare Maß der Auswirkungen dieses „größten anzunehmenden Nuklearunfalls“ auf die Bewohner der Region nachzuvollziehen,

muss man auch seine zeitliche Korrelation mit der Naturkatastrophe bedenken: Durch Erdbeben und Tsunami waren weite Küstenbereiche in der Region, viele Städte, Dörfer und Industrieanlagen verwüstet und über 20.000 Menschen waren verschollen oder umgekommen. Flüchtlinge und Obdachlose drängten in die umgebenden, höher liegenden Landstriche. In dieser Situation entwich aus dem KKW Fukushima Radioaktivität, vor allem in Form der flüchtigen Spaltprodukt-Nuklide J-131, Cs-134 und Cs-137, mit einer geschätzten Aktivität von etwa 10^5 Tera-Becquerel Jodäquivalent. Das entspricht einer Radioaktivität von 5 bis 10% der in Tschernobyl freigesetzten Menge. Aufgrund dieser Radioaktivitätsfreisetzung stuft die IAEA den Unfall in die höchste Stufe 7 der INES Skala (katastrophaler Unfall) ein (vgl. IAEA 2008). Eine Fläche von etwa 1500 km² wurde daraufhin zur Evakuierungszone erklärt und über 160.000 Bewohner wurden evakuiert! Vom Evakuierungsbefehl betroffen waren auch Gebiete, die Stunden oder Tage vorher von obdachlosen, traumatisierten Tsunami-Flüchtlingen aufgesucht worden waren! Nur ein glücklicher Umstand verhinderte noch gravierendere Auswirkungen auf die Bevölkerung Japans: Während infolge der Wasserstoffexplosionen kurzzeitig die höchsten Emissionsraten auftraten, herrschte am Standort Westwind, der die Radioaktivitätswolke nach Osten, in Richtung Pazifik trieb, der Großraum Tokio blieb daher weitgehend verschont. Später drehte der Wind und trieb eine bereits abgeschwächte „Radioaktivitätsfahne“ in Richtung Nord-West, in besiedelte Regionen, jedoch ohne Großstadt – auch Sendai blieb daher weitgehend verschont (vgl. GRS 2011). Die Freisetzung von Radioaktivität aus der Anlage in die Umgebung ist nachfolgend in den Monaten bis Februar 2012 sukzessive auf ein vergleichsweise sehr geringes Maß zurückgegangen (vgl. IAEA 2012).

2. Gegenwärtiger Stand und Perspektiven der Sanierung des Standortes

Nach einer gewissen Anlaufphase liefen – wie bereits erwähnt – zunächst umfangreiche Notfallmaßnahmen an mit dem vorrangigen Ziel, die Reaktorsicherheitsbehälter (Containment) und die Brennelementebecken durch äußere Kühlung vor Zerstörung durch Überhitzung zu bewahren. Hierfür kam – mangels Verfügbarkeit von Frischwasser – Seewasser zum Einsatz. Dies hatte die Ansammlung von großen Mengen (über 100.000 m³) kontaminierten Salzwassers in den unteren Räumen der Reaktorgebäude zur Folge, welches ohne Reinigung und Dekontaminierung nicht ins Meer geleitet werden kann-

te – ein neues, gravierendes Problem. Infolge der Überflutung und der Wasserstoffexplosionen in den oberen Gebäudeteilen war das Kraftwerksgelände bedeckt mit Trümmerteilen, die als radioaktiver Abfall einer geordneten Zwischenlagerung zuzuführen waren. Die Außenwände der Anlagen und die Erdoberflächen im Kraftwerksgelände bedeckten radioaktive Nuklide, gebunden an Staubpartikel, Oberflächen oder Aerosole. Diese mussten durch Materialaustausch beseitigt oder mittels organischer Bindemittel (sog. Inhibitoren) fest eingebunden werden. Voraussetzung für alle Arbeiten waren die Verfügbarkeit von Elektroenergie und Frischwasser – neue Netzanbindungen mussten geschaffen werden. Die Liste sofort zu lösender Probleme und dementsprechender Sofortmaßnahmen war sehr groß.

Es folgten Maßnahmen, die für den Übergang zu einer kontrollierten Stilllegung der Anlage erforderlich waren. Hierzu zählt u.a. der Aufbau neuer Kreislauf-Kühlsysteme, welche eine kontrollierte Kühlung des Wassers in den teilweise gefluteten Sicherheitsbehältern und damit der Reste der zerstörten Reaktorkerne ermöglichen. Dazu mussten auch neue Wasserbehandlungsanlagen gebaut werden, mit denen das zirkulierende Kühlwasser und auch das akkumulierte Salzwasser aus den unteren Gebäudeteilen von radioaktiver Kontamination befreit werden kann. Die weitere Freisetzung und Ausbreitung von Radioaktivität über die Grenzen des Kraftwerksgeländes hinaus sollte schnellstmöglich verhindert oder zumindest weitgehend eingedämmt werden – Abdeckungen der teilweise freiliegenden Brennelementebetten, neue Einhausung der Reaktorgebäude, Abgasfilteranlagen, Spundwände bis in den Grundwasserbereich u.a. waren dafür notwendig und wurden bzw. werden gegenwärtig errichtet (vgl. IAEA 2011b, 2011c).

Alle genannten kurz- und mittelfristigen Maßnahmen waren schließlich einzubinden in einen Plan, welcher die langfristige Sanierung des Standortes, die Bergung des verbliebenen Brennstoffs sowie der hochradioaktiven Materialien (vor allem die Reste der Reaktorkerne und erstarrte uranhaltige Schmelze) und deren sichere Lagerung vorsieht. Der Betreiber arbeitete hierzu unter Kontrolle der japanischen Aufsichtsbehörden sowie im Kontakt mit internationalen Organisationen, insbesondere mit der IAEA, einen Masterplan unter dem Namen „Mid-and-long Term Roadmap“ aus (vgl. TEPCO 2012).

Die Sanierung verläuft seitdem planmäßig, mit hohem Tempo und transparent für die Öffentlichkeit. Hierzu werden von den japanischen Behörden regelmäßig sehr detaillierte Zustandsberichte und Datenanalysen veröffentlicht (vgl. JAIF 2011; JPG 2011). Die Internationale Atombehörde gibt zu-

sätzlich, basierend auf den japanischen Berichten und eigenen Expertenbesuchern vor Ort, regelmäßig „Fukushima Daiichi Status Reports“ heraus, in denen sehr ausführlich alle durchgeführten und demnächst vorgesehenen Teilprojekte sowie ausführliche Datenanalysen der Öffentlichkeit über das Internet frei zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus sind weltweit auch zahlreiche einschlägige nationale Wissenschaftszentren und Aufsichtsbehörden mit der Auswertung, Analyse und Einschätzung des Unfalls befasst. In der Bundesrepublik Deutschland sind dies insbesondere das Karlsruher Institut für Technologie und die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (vgl. GRS 2011). Die sichergestellte öffentliche Transparenz ist ein weiteres Merkmal, bei dem sich die Unfälle von Tschernobyl (in den ersten zehn Jahren nach 1986) und Fukushima unterscheiden.

Der heutige Zustand der Reaktoren in Fukushima soll anhand des Reaktors 1 dargestellt werden: Um das Reaktorgebäude wurde der Bau einer neuen Hülle aus einer Metallkonstruktion abgeschlossen, damit können alle Abgase und Dämpfe über Filtersysteme an die Atmosphäre abgelassen werden und radioaktiv belasteter Staub von Abrissarbeiten an Anlagenteilen verbleibt im Inneren. Der Innenbereich des Reaktorsicherheitsbehälters ist für eine direkte Messung vorerst weiterhin unzugänglich, so dass die Aussagen bisher auf Ergebnissen von Computermodellierungen basieren. Diese besagen, dass schlimmstenfalls ein (mehr oder weniger großer) Teil des Reaktorkerns geschmolzen, die Schmelze teilweise durch den Boden vom Reaktordruckgefäß hindurch getreten sein könnte und im 8 m starken Betonboden des Reaktorsicherheitsbehälters (Containment) aufgefangen wurde, ohne ihn zu durchdringen. Dort ist sie bereits beträchtlich abgekühlt und erstarrt. Auch in dieser Hinsicht unterscheidet sich Fukushima beträchtlich von Tschernobyl, wo infolge eines tagelangen offenen Reaktorbrandes (Graphit-Moderator!) durch die Kaminwirkung mit den Rauchgasen ein erheblicher Teil des langlebigen, hochradioaktiven Inventars in große Höhen der Atmosphäre transportiert wurde und ein anderer Teil der brennstoffhaltigen Lava in die Räume unter dem Reaktor geflossen sind.

Der Messung zugänglich sind dagegen Temperatur und Druck des Kühlwassers, welches über den neuen Kühlkreislauf von oben in das Reaktordruckgefäß eingeleitet wird, danach über die Reste des Reaktorkerns und die ggf. über die Schmelzrückstände am Boden des Reaktorsicherheitsbehälters läuft und in der ringförmigen Kondensationskammer gesammelt wird, von wo aus es in die Kühl- und Reinigungsanlagen zurückgeführt wird. In der Ta-

belle 1 sind Wasserfluss, Temperatur und Druck am Auslauf der Reaktoren R 1-3 aufgeführt (nach IAEA 2011a, 2011b, 2011c).

Reaktorzustand	R 1	R 2	R 3
Kühlwasserzufluss (m ³ /h)	7,80	10,20	10,80
Druck im Containment (atm)	1,21	1,15	1,02
Ablauftemperatur (°C)	43,80	71,40	70,70

Tabelle 1: Kühlzustand der Reaktoren R 1–3

Quelle: IAEA 2011a, 2011b, 2011c

Angestrebt wird als Nahziel die Erreichung des als „Kaltabschaltung“ bezeichneten Zustandes der Reaktoren, der durch folgende Zielparameter gekennzeichnet ist: Ablauftemperatur des Kühlwassers < 100 °C; Druck am Auslauf 1 atm; minimale Radioaktivitätsfreisetzung, die an der Grenze des KKW-Geländes einer Dosisleistung < 1 mSv/a entspricht; Zirkulation und ständige Reinigung des Kühlwassers sowie Abdichtung aller Leckagen. Tabelle 1 belegt, dass hinsichtlich der Kühlung bis Anfang November 2012 bereits eine weitgehende Annäherung an diesen Zustand erreicht werden konnte.

Auch bei der Erkundung des radiologischen Zustandes im Inneren der Reaktorgebäude wurden Fortschritte berichtet. So enthält z.B. der IAEA Statusbericht vom 01.11.2012 Fotos und Messergebnisse für die Dosisleistung in den verschiedenen Ebenen des Reaktorgebäudes, die im Ergebnis von Ballon-Befahrungen in einem vertikalen Schacht der Gebäude ermittelt werden konnten. Die Messwerte liegen – abhängig von der Etage des Gebäudes – im Bereich von 20,1 mSv/h bis 150,5 mSv/h, was den ungeschützten Aufenthalt von Personal für Aufräum- bzw. Sanierungsarbeiten ausschließt. Bis zum endgültigen Abschluss der Sanierung der gesamten Anlage ist noch ein sehr langer und schwieriger Weg zu bewältigen: Die Bergung der Brennstoffreste aus den Reaktorsicherheitsbehältern 1-3 kann nur mit Hilfe von ferngesteuerten Robotern erfolgen. Die radioaktiv kontaminierten Abfälle sind zu verarbeiten und Vorsorge für die Endlagerung müssen getroffen werden. Die Kosten sind immens und derzeit noch nicht genau zu beziffern, die Zeitdauer bis zum Abschluss wird derzeit mit 40 Jahren angegeben (vgl. TEPCO 2012).

3. Zu den Ursachen des Unfalls

Die katastrophale Auswirkung der Tsunamiwellen ist in erster Linie auf eine mangelhafte Auslegung des Kernkraftwerkes gegen äußere Einwirkung bei seinem Bau in den siebziger Jahren zurückzuführen: Es war bekannt, dass in der Region Tsunamiwellen mit einer Höhe über 10 m statistisch einmal in 1.000 Jahren auftreten können. Selbst nach der einige Jahre vor dem Unfall erfolgten Erhöhung der Schutzmauer auf 5,70 m hätte sie häufiger zu erwartende kleinere Wellen nicht aufhalten können. Der Bau des KKW Fukushima, in einer von starken Erdbeben bedrohten Zone, hätte besser vermieden oder zumindest mit wesentlich stärkeren Sicherheitsvorkehrungen ausgerüstet erfolgen müssen.

Hinzu kommen technische Mängel bezüglich der Sicherheit, an erster Stelle eine unzureichende Redundanz und Diversität der Anlagen zur Nachwärmeabführung und zur Notstromversorgung. So war jeder Reaktor lediglich mit zwei Notstromdieselegeneratoren ausgestattet plus einem zusätzlichen Aggregat für die Gesamtanlage. Im Vergleich dazu sind KKW in Deutschland mit vier Notstromsystemen pro Anlage ausgestattet sowie neben der normalen noch mit einer Reservenetzanbindung, außerdem mit einer völlig unabhängigen Eigenbedarfsversorgung, der so genannten dritten Netzeinspeisung. In Fukushima waren weder Anlagen zur Rekombination von Wasserstoff noch Radioaktivitätsfilter in den Abluftanlagen installiert – nur so konnte es zu den zerstörenden Wasserstoffexplosionen und der Freisetzung großer Mengen flüchtiger Radionuklide von Jod und Cäsium kommen.

Auslegungsfehler beim Bau und damit unzureichender Schutz gegen Einwirkungen von außen betreffen außerdem auch folgende Aspekte: Die Notstromeinrichtungen lagen zu tief und waren nicht verbunkert, sondern in den Kellerräumen des Maschinenhauses quasi schutzlos der Überflutung auf dem KKW-Gelände ausgeliefert. Hinzu kam, dass ein Teil der Notstrombatterien ebenso tief und ungeschützt angeordnet war, wodurch diese sofort ausfielen, keine Kontroll- oder Steuerfunktionen mehr ausgeführt werden konnten und die Kontrollräume im Dunklen lagen. Das ist ein typischer Fall eines – bei sorgfältiger Planung tunlichst auszuschließenden – „Common-Cause Failure“, der in diesem Fall mehrere parallele Sicherheitssysteme gleichzeitig unwirksam machte.

Eine weitere Ursache liegt in offensichtlichen Mängeln beim Management begründet, vor und unmittelbar nach Eintreten des Unfalls. Genannt werden sollen hier: unzureichende technische und personelle Unfallvorsorge (zum Beispiel: sicher angelegte und ausreichende Lager von Ersatzteilen und

-komponenten), zögerliches oder gar verspätetes Handeln in den ersten Stunden und Tagen nach dem Unfall (zum Beispiel: spätes Einfliegen von Ersatzdieselgeneratoren). Vermutet werden muss auch, dass das nahe Ende der Laufzeit der Reaktoren das Management aus Kostengründen davon abgehalten hat, rechtzeitig noch Mittel in die Modernisierung der Sicherheitssysteme in Fukushima Daiichi zu investieren.

Die Analyse von Ablauf und Ursachen des Unfalls hält auch weiter an, so dass – obgleich die wesentlichen Zusammenhänge heute schon verstanden und publiziert sind – ein endgültiges Fazit noch zu ziehen sein wird. Eine Feststellung liegt heute schon auf der Hand: Es handelt sich bei der Katastrophe von Fukushima keinesfalls um das angebliche Eintreten eines Restrisikos, wie es vom Bundesverfassungsgericht 1978 mit der Umschreibung „unentrinnbare Ungewissheiten infolge der Grenzen menschlichen Erkenntnisvermögens“ definiert worden war. Zu den Unfallursachen werden in zahlreichen Publikationen Aussagen getroffen (vgl. AREVA 2011; ENSI 2011; GRS 2011 u.a.)

4. Radiologische Auswirkungen des Unfalls

Für eine vergleichende Bewertung betrachten wir zunächst die in Deutschland geltenden Jahresdosisgrenzwerte bzw. die mittlere Jahresdosis: Die mittlere Jahresdosis infolge natürlicher und zivilisatorischer Strahlungsexposition im Jahr 2008 betrug 3,9 mSv, davon sind 2,1 mSv auf natürliche Quellen und 1,8 mSv auf Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin zurückzuführen. Der Jahresdosisgrenzwert für die Bevölkerung ist mit 1 mSv und der für strahlenexponierte Personen mit 20 mSv festgelegt. Der Gesetzgeber hat also zum Schutz der Bevölkerung für jeden Betreiber von Nuklearanlagen mit dem Jahresdosisgrenzwert von 1 mSv einen sehr geringen Wert angesetzt, deutlich unterhalb des Wertes, dem die Bevölkerung infolge natürlicher und zivilisatorischer Strahlungsexposition ohnehin ausgesetzt ist. Der Jahresdosisgrenzwert, der mit erhöhtem Krebsrisiko in Verbindung gebracht wird, beträgt 100 mSv, und ab 250 mSv werden erste klinisch fassbare Strahleneffekte beobachtet. Schwere Strahlenerkrankungen, die ohne Behandlung in 50% der Fälle zum Tod des Menschen führen können, treten ab 5000 mSv akuter Ganzkörperbestrahlung auf (vgl. GRS 2011).

Betrachten wir in diesem Licht die Strahlenexposition in Fukushima nach dem Unfall: In verschiedenen Medienberichten wurde besorgt über die Strahlenexpositionen des Kraftwerkspersonals und vor allem der Mitarbeiter von Fremdfirmen berichtet. Der Betreiber TEPCO registriert und publiziert regel-

mäßig die tatsächlich eingetretenen Strahlungsbelastungen und daraus abgeleitete Statistiken, die ebenfalls über IAEA-Statusberichte der Weltöffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Tabelle 2 zeigt die statistische Auswertung der Strahlungsexposition für Eigen- und Fremdpersonal in dem entscheidenden Jahr 2011, geordnet nach Expositionsbereichen. Erfasst sind insgesamt 19.594 Personen, von denen in den beiden Expositionsbereichen bis 20 mSv bereits 16.209 Personen eingeordnet sind, das entspricht fast 82,7% aller Beschäftigten. Diese größte Gruppe befand sich also am Ende 2011 in einer Situation, die auch unter normalen Betriebsbedingungen einer Nuklearanlage in Deutschland zulässig gewesen wäre. Weitere 16,4% weisen Dosiswerte von 20 bis 100 mSv auf. Lediglich sechs Personen des Eigenpersonals waren einer Exposition über 250 mSv ausgesetzt, dies war ausschließlich im Zeitraum bis März 2011 der Fall. Es gibt bisher keine Todesfälle infolge zu hoher Strahlenexposition. An dieser Stelle sei auf die hohe Professionalität und umfangreichen Erfahrungen Japans – infolge der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki – auf den Gebieten Dosimetrie, Strahlenschutz und Umgang mit Strahlenerkrankungen hingewiesen.

Dosisbereich /mSv/	Gesamt	> 250	200 - 250	150 - 200	100 - 150	50 - 100	20 - 50	10 - 20	< 10
Eigenpersonal	3.368	6	1	21	118	382	625	474	1.741
Fremdpersonal	16.226	0	2	2	17	315	1.896	2.558	11.436

Tabelle 2: Strahlenexposition des Eigen- und Fremdpersonals in Fukushima im Jahr 2011
Quelle: IAEA 2012

Gravierende radiologische Auswirkungen betreffen Gebiete, welche durch Niederschläge von Cs-137 und Cs-134 belastet sind. Dies ist vorwiegend in nordwestlicher Richtung von Fukushima Daiichi der Fall, in einer relativ begrenzten Niederschlagsspur, die bis etwa 30 km vom Standort aus reicht. In diesem Gebiet liegen die Jahresdosiswerte bis 20 mSv, örtlich auch höher. Die meisten übrigen Gebiete weisen demgegenüber wesentlich geringere Belastungen aus, meist unter 5 mSv. Teilweise konnten nach Dekontamination von Oberflächen und Böden ursprünglich gesperrte Flächen bereits wieder freigegeben werden. Infolge der relativ langen Lebensdauer von Cs-137 ($T_{1/2} = 30,17$ a) muss man davon ausgehen, dass die stark belasteten Landstriche noch für lange Zeit für die normale Besiedlung gesperrt bleiben werden.

Mit großer Sorgfalt erfolgen systematische Lebensmittelkontrollen in großen Teilen Japans. So wurden allein im Zeitraum vom 24.09.2012 bis 25.10.2012 in 45 Präfekturen 27.915 Proben von verschiedenen Produkten entnommen, von denen 27.707 ohne Befund waren bzw. unter den zulässigen Grenzwerten lagen. In Tabelle 3 wird ein (kleiner) Auszug für fünf Präfekturen wiedergegeben. Beispiele für belastete Proben in der Präfektur Fukushima betrafen u.a. Pilze (55 Proben), Schafffleisch (19 Proben) und Fisch (16 Proben).

Region (einige Beispiele)	Proben gesamt	Proben belastet
Fukushima	3.686	126
Tokyo	78	-
Iwate	2.309	14
Ibaraki	2.666	5
Miyagi	4.531	13

*Tabelle 3: Einige Ergebnisse radiologischer Untersuchungen von Lebensmitteln
Quelle: IAEA 2012*

Das Ministerium für Landwirtschaft hat daraus spezifische Empfehlungen für bestimmte Produkte und Regionen abgeleitet, so dass der Ausschluss des Verzehrs belasteter Produkte sichergestellt ist. In Anbetracht der ohnehin sehr geringen zulässigen Grenzwerte für die Belastung in Lebensmitteln kann man davon ausgehen, dass kaum reale gesundheitliche Gefährdungen eingetreten sind. Aber es bleiben noch für lange Zeit Angst und Verunsicherung bei der Bevölkerung vor der unsichtbaren Gefahr. Neben dem Verlust der Heimat infolge der Evakuierung ist dies wahrscheinlich die stärkste negative Auswirkung, die die Radioaktivitätsfreisetzung durch den Reaktorunfall von Fukushima für die Bewohner Japans hat.

5. Aktivitäten der IAEA nach dem Unfall

Die Internationale Atomenergieorganisation der UNO (IAEA) hat sofort nach dem Unfall umfangreiche Aktivitäten mit der Zielstellung aufgenommen, alle bekannt werdenden Fakten über Ursachen, Ablauf und Maßnahmen der japanischen Behörden zu dokumentieren und sie einer breiten internationalen Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Hierzu werden regelmäßig Statusberichte publiziert, die im vorliegenden Beitrag bereits mehrfach zitiert wurden. Durch Expertenmissionen der IAEA vor Ort wird das Geschehen sachkundig

begleitet (vgl. IAEA 2011c). Das Hauptanliegen besteht darin, den Prozess der aktiven Umsetzung von Erkenntnissen über die Unfallursachen und daraus zu ziehende Lehren für die weltweite Verstärkung der Nuklearsicherheit in den Weltregionen sowie einschlägigen internationalen und nationalen Gremien der Mitgliedsländer zu stimulieren, zu fördern, öffentlich zu machen und in den einschlägigen internationalen Konventionen und Vorschriften über Nuklearsicherheit verbindlich festzuschreiben. Auch wenn die IAEA selbst nicht über Weisungsbefugnis gegenüber den Betreibern oder nationalen Aufsichtsbehörden verfügt, so kommt ihr doch, quasi als „nukleares Weltgewissen“, eine überaus wichtige Rolle zu: Sie setzt die Maßstäbe für eine weltweit sichere Nutzung der Kernenergie, die von den Mitgliedsländern auf freiwilliger Basis in der Praxis implementiert werden. Außerhalb dieser Regeln zu agieren, ist für loyale Mitglieder der Weltgemeinschaft de facto ausgeschlossen, führt in die politische und fachliche Isolation.

Wenige Monate nach dem Unfall regte eine Ministerkonferenz die Aufstellung eines Aktionsplanes zur Stärkung der Nuklearsicherheit im Lichte der Ereignisse in Fukushima an, der von der Generalkonferenz der IAEA am 22.09.2011 abschließend verabschiedet wurde. Er sieht 12 Punkte zur Stärkung der Nuklearsicherheit vor, die sich – stark verkürzt – wie folgt zusammenfassen lassen (vgl. IAEA 2011a):

- umgehende Durchführung von Stresstests an allen KKW der Mitgliedsländer;
- Überarbeitung der geltenden IAEA-Vorschriften und Prozeduren zur Sicherheitsanalyse;
- Verstärkung der Einsatzbereitschaft und Reaktionsfähigkeit in Havariesituationen;
- Überprüfung der nationalen Sicherheitsbehörden und Erhöhung von deren Einsatzbereitschaft;
- Verbesserung der Managementsysteme und Sicherheitskultur der Betreiber;
- Überarbeitung der IAEA-Sicherheitsstandards;
- Implementierung aller existierenden internationalen Konventionen zur Nuklearsicherheit und gegenseitige Unterstützung in Notfallsituationen;
- fachliche Unterstützung von Staaten, die eigene nationale Nuklearprogramme beginnen;
- Ausbau der nationalen Kapazitäten für nachhaltige und sichere Nutzung der Nukleartechnik;
- Ausbau des Strahlenschutzes für Menschen und Umwelt mit den Aspek-

ten: Überwachung, Dekontaminierung, Sanierung inklusive Aus- und Weiterbildung dafür;

- Erhöhung der Transparenz, Effektivität und Kommunikation zwischen Operatoren, Regulatoren und den einschlägigen internationalen Organisationen;
- effektiver Einsatz von Forschung und Entwicklung für Nuklearsicherheit und -technologie.

Viele konkrete Schritte wurden bereits von diesem Aktionsplan in den Regionen angeregt oder in Gang gesetzt, darunter auch in der Europäischen Union. Die IAEA selbst organisiert u.a. zahlreiche internationale Konferenzen und Expertentreffen zu Einzelaspekten des Aktionsplanes, die dem Ziel dienen, die notwendigen Schritte zur Erhöhung der Nuklearsicherheit auf der Grundlage des international verfügbaren Sachverstandes von Experten herauszuarbeiten und deren Einführung in die Praxis der Betreiber und Aufsichtsbehörden zu befördern. Diese Arbeit ist gegenwärtig in vollem Gange. Immer wieder mahnen jedoch Vertreter der UNO, über ein Jahr nach Fukushima die Anstrengungen zur Überwindung der Unfallfolgen und Berücksichtigung der Lehren aus ihnen keinesfalls zu vermindern. So heißt es in einem Pressebericht vom 27.08.2012: „Fast eineinhalb Jahre nach der Atomkatastrophe von Fukushima hat die Internationale Atomenergiebehörde IAEA einen größeren Einsatz bei der Verbesserung der Nuklearsicherheit weltweit gefordert. Auch wenn der Unfall aus den Schlagzeilen verschwunden sei, müssten alle Verantwortlichen ihr Engagement aufrechterhalten, sagte IAEA-Chef Yukiya Amano am Montag in Wien. Der von den Mitgliedstaaten der IAEA im vergangenen Jahr als Reaktion erarbeitete Aktionsplan müsse komplett umgesetzt werden. Es liegt noch viel Arbeit vor uns, und wir dürfen unsere Wachsamkeit nicht verlieren.“ Die Gefahr des „zu schnellen Übergehens zur Normalität wie vor Fukushima“ ist offenbar in einigen Regionen oder Ländern gegeben.

6. Stresstest und verbesserte Sicherheitsstandards für Kernkraftwerke in der EU

Parallel und wechselseitig befördernd mit den Schritten der IAEA begannen auch in den Gremien der Europäischen Union umfangreiche Aktivitäten in Reaktion auf das Unfallgeschehen in Japan: So forderte der Europäische Rat auf maßgebliche Initiative der Bundesregierung am 24./25.03.2011 umfassende Sicherheits- und Risikobewertungen für alle 140 Kernreaktoren in der EU und erteilte der EU-Kommission den Auftrag hierzu, in Zusammenarbeit

mit den maßgeblichen Fachgremien der Union und der Mitgliedsländer, unter Einbeziehung der Betreibergesellschaften. Auf zwei parallelen Pfaden sollten einerseits die technische Sicherheit (safety) und andererseits die Zugangs- und Anschlagssicherheit (security) aller KKW analysiert und bewertet werden. Der Initiative aller 15 EU-Länder mit Kernkraftnutzung schlossen sich die Schweiz und die Ukraine an, so dass sich insgesamt 17 Länder am dreistufigen Stresstest beteiligten.

In der ersten Stufe legten die Betreiberorganisationen, auf der Grundlage der von den europäischen Aufsichtsbehörden vorgegebenen Kriterien und Fragenkataloge, den zuständigen Aufsichtsbehörden Berichte zu den einzelnen Anlagen vor, die von letzteren bis zum 31.12.2011 zu Länderberichten an die EU zusammengefasst und verdichtet wurden. Die zweite Stufe umfasste eine unabhängige gutachterliche Bewertung (peer review) der 17 Länderberichte durch eine unabhängige Gutachterkommission von 70 Experten aus 24 Ländern unter Anleitung und Kontrolle von 8 „Senior Regulatoren“. Dieser Prozess umfasste auch Visiten vor Ort zur kritischen Begutachtung der Anlagenbewertungen und Begründung der eigenen, unabhängigen Einschätzung seitens der Gutachter. Die Ergebnisse wurden bis Mai 2012 zum Gesamtbericht an die EU-Kommission zusammengefasst. Im dritten und letzten Schritt fertigte die EU-Kommission mithilfe der zuständigen europäischen Fachgremien (ENSREG und WENRA) und im Austausch mit den zuständigen nationalen Behörden und Aufsichtsgremien (in der Bundesrepublik das Umweltministerium und die RSK) den Abschlussbericht an, in dessen Anlage sich auch sämtliche überarbeiteten Länderberichte befinden.

Im Zentrum des Stresstestes stehen die Fragen, wie sich die einzelnen Anlagen im Falle von Erdbeben oder Überflutungen außerhalb der Auslegungsgrenzen verhalten, wie lange im Extremfall Sicherheitsfunktionen an den Reaktoren und ihren Nebenanlagen aufrecht erhalten werden können und welche Notfallmaßnahmen in solchen Fällen verfügbar sind (vgl. ENSREG 2012).

Welches sind stichpunktartig die Hauptergebnisse dieser umfangreichen, internationalen Initiative:

- Es liegen detaillierte Bewertungen durch unabhängige Experten aus einer nationalen Grenzen übergreifenden Sicht für alle KKW in den 17 Ländern vor;
- durch ENSREG werden im Zuge dieses Vorhabens auch einheitliche Richtlinien für die Bewertung von natürlichen Gefahrenquellen und einschlägige Grenzwerte (betreffend Standortwahl, Auslegung, Bau, Be-

- trieb, Nuklearhaftung etc.) erarbeitet;
- für jedes KKW werden künftig in regelmäßigen Abständen Sicherheitsreports überarbeitet;
- Maßnahmen zur Sicherung der Integrität des Containments (Druckentlastung auf der Primärseite, Verhinderung von Wasserstoffexplosionen);
- Maßnahmen zur Prävention von Unfällen durch Naturkatastrophen und Begrenzung von deren Folgen (Bunkerung von Sicherheitsausrüstungen, mobile Notfallausrüstungen, Managementzentren für Notfallsituationen, mobile Havarietrupps, grenzüberschreitende Notfallplanungen etc.) wurden herausgearbeitet und dokumentiert.

Im Bericht der EU- Kommission, vorgelegt von Kommissar Günther Oettinger am 04.10.2012, wird generell ein hohes Sicherheitsniveau bei allen 145 europäischen KKW festgestellt, das keine sofortigen Abschaltungen erforderlich macht. Zugleich sind jedoch zahlreiche Mängel und Sicherheitslücken aufgedeckt worden, so dass Maßnahmen an vielen KKW empfohlen werden: Hinsichtlich Erdbeben- und Überflutungsgefahr erfüllen 54 bzw. 62 Reaktoren nicht die aktuellen Standards der Risikoabschätzung. An 32 Reaktoren gibt es keine Systeme zur gefilterten Containment-Druckentlastung. Bei 81 KKW ist die Lagerung von Notfallausrüstung für schwere Unfälle nicht ausreichend gesichert. Für 24 Reaktoren ist kein Ersatz-Kontrollraum vorhanden. Der Nachrüstungsbedarf pro Reaktor liegt im Kostenbereich von 30 bis 200 Millionen Euro, insgesamt für die Kernkraftwerke in der EU summiert sich der Finanzbedarf auf 10 bis 25 Mrd. Euro!

Unterschiedlich fallen die Bewertungen der KKW in den einzelnen Ländern aus: In der Schweiz wurden keine Mängel bei Sicherheitsausrüstung und Organisation festgestellt, umfassende Erdbeben-Gefährdungsanalysen liegen vor, mehrfache und unabhängige Systeme für Nachkühlung und Stromversorgung sind vorhanden. Bei deutschen KKW wurden keine Mängel bei Kühlwasser, Stromversorgung und Notfallmaßnahmen festgestellt. Die installierten Erdbeben-Warnsysteme müssen teilweise nachgebessert oder nachgerüstet werden, insbesondere bei KKW in Norddeutschland. Kritisch ist vermerkt, dass die IAEA-Leitlinien für schwere Unfälle bisher nicht umgesetzt worden sind. Zwei Reaktoren in Finnland und Schweden haben schwere Mängel hinsichtlich zu kurzer Reaktionszeit der Bedienmannschaft nach einem kompletten Stromausfall. Französische KKW schneiden generell schlecht ab – fehlende oder ungenügende Erdbeben-Messgeräte, nicht sichere Lagerung von Unfallausrüstungen sowie Mängel bei der Prüfung von Erdbe-

ben- und Flutgefahren sind die hauptsächlichen Kritikpunkte (vgl. Spiegel 2012).

Die umfassende Implementierung der genannten Schritte zur Erhöhung der Nuklearsicherheit und deren Überwachung stehen nun auch auf der Tagesordnung der europäischen Ebene, sie sind nicht mehr alleinige Angelegenheit eines einzelnen Mitgliedslandes. Bis Ende 2012 sollen die nationalen Aufsichtsbehörden ihre Aktions- und Zeitpläne zur Umsetzung vorlegen. Diese werden in einem erneuten Peer-review-Verfahren überprüft, und bis zum Juni 2014 soll ein erneuter Bericht durch die EU-Kommission über die erfolgte Umsetzung vorgelegt werden. Parallel dazu sollen Anfang 2013 neue EU-Richtlinien über nukleare Sicherheit vorliegen. Insgesamt strebt die EU höhere Kompetenzen auf dem Gebiet der Nuklearsicherheit gegenüber den nationalen Aufsichtsbehörden an. Auch auf diesem Gebiet wird es darauf ankommen, die gezogenen richtigen Lehren und Schlussfolgerungen aus dem Reaktorunfall in die dauerhaft festgeschriebene Praxis der Betreiber von Nuklearanlagen zu überführen, sie weder aufweichen noch versanden zu lassen (vgl. BDIP 2012; NFS 2012).

7. Ausstieg aus der Kernenergie – ein deutsche Sonderweg

Die wesentlichen Entscheidungen in der Bundesrepublik Deutschland nach dem Unfall von Fukushima sollen hier noch einmal in Erinnerung gerufen werden: Bereits wenige Tage nach dem Unfall, am 14./15.03.2011, fiel der Regierungsbeschluss über ein dreimonatiges Moratorium für die beschlossene Laufzeitverlängerung und sowie die Abschaltung aller älteren KKW. Am 16.03.2011 fasste der Bundestag den Beschluss, eine Sicherheitsüberprüfung für alle deutschen KKW durchzuführen. Der Bundes-Umweltminister beauftragt hierzu die RSK. Der Abschlussbericht der RSK, ausgearbeitet gemeinsam mit der GRS, dem TÜV, dem Ökoinstitut Darmstadt und anderen kompetenten Partnern lag am 16.05.2011 vor. Das Fazit des Berichts lautet: Die deutschen KKW sind ausgelegt gegen 1.000-jährige Überflutung und Erdbeben. Die Stromversorgung ist robuster als die von Fukushima, Reserven bestehen hinsichtlich der Erbebenauslegung und gegen 10.000-jähriges Hochwasser. Es wurden keine Sicherheitsunterschiede zwischen älteren und jüngeren KKW festgestellt (vgl. RSK 2011).

Parallel und unabhängig von der Sicherheitsüberprüfung erfolgte am 22.03.2011 der Regierungsauftrag an eine eigens berufene Ethikkommission, die Machbarkeit des Ausstiegs aus der Kernenergienutzung zu prüfen. Deren Abschlussbericht am 30.05.2011 erklärte den Ausstieg innerhalb eines Jahr-

zehnts für möglich und betonte, dass Deutschland eine Vorreiterrolle beim Atomausstieg spielen sollte. Die Möglichkeit des Scheiterns wird allerdings eingeräumt, ebenso wie sich daraus ergebende Konsequenzen. Bemerkenswert ist, dass dieser Bericht keinerlei Bezug zum Bericht der RSK enthält! Auf dieser Grundlage fällt am 06.06.2011 der Regierungsbeschluss über die Eckpunkte zur Energiewende. Der gesetzliche Vollzug erfolgt am 31.07.2011 im Rahmen der 13. Novelle zum Atomgesetz: Rücknahme der Laufzeitverlängerung von 2010, dauerhafte Abschaltung der vom Moratorium betroffenen 8 KKW sowie schrittweise Abschaltung aller verbliebenen 9 KKW bis zum Jahr 2022.

8. Zu einigen übergreifenden Aspekten und Fragen nach der Katastrophe

Zweifellos bedeutet der desaströse Reaktorunfall von Fukushima infolge einer Naturkatastrophe einen tiefen Einschnitt in der bisherigen Nutzung der Kernenergie nicht nur in Japan, sondern für die Energiepolitik der Staaten weltweit. Als diametral entgegengesetzte Alternativen für die künftige Energiepolitik kommen infrage: entweder der konsequente Ausstieg aus der Nutzung von Kernkraft zur Elektroenergieerzeugung oder deren Weiterführung und Ausbau auf der Grundlage einer vertieften Durchdringung aller sicherheitsrelevanten Risiken unter Nutzung neuer Erkenntnisse von Wissenschaft und Forschung. Auf Beschluss der Bundesregierung beschreitet Deutschland den ersteren Weg, auch Japan hatte sich aus naheliegenderm Grund zunächst dafür entschieden, später jedoch den vollständigen Ausstieg wieder infrage gestellt. Die meisten anderen Länder halten bisher an der Kernenergie fest und verbinden zur Begründung dafür zu Recht auch das Argument der Klimaschutz infolge verringerter Treibhausgasemission. Einige Fragen bleiben offen: „Gibt es eine ausreichende, risikolose technologische Grundlage der Energiegewinnung ohne fossile Brennstoffe und ohne Kernenergie, welche die nachhaltige Entwicklung einer Industriegesellschaft auf der Erde, inklusive des wachsenden Energiebedarfs der aufstrebenden Regionen, in der Zukunft ermöglicht?“, „Wie gut kennen die Menschen die tatsächlich Risiken alternativer, nicht nuklearer Technologieentwicklungen, wie viel sind sie bereit zu tragen und zu welchem Preis?“, „Bewirkt der Reaktorunfall von Fukushima den Beginn des globalen Ausstiegs aus der Nutzung der Technologie der Kernspaltung, die infolge der Entstehung radioaktiver Spaltprodukte und deren unvermeidliche Nachwärmefreisetzung so große Schwierigkeiten für die Techniksicherheit mit sich bringt, oder werden in einigen Jahrzehnten Tsunami und Unfall von Fukushima als Beispiel dafür gesehen, wie eine hoch

entwickelte Industriegesellschaft selbst schwerste Natur- und Technik-Katastrophen beherrscht und daraus langfristig gestärkt hervorgehen kann?“.

Es ist nicht nur in Deutschland eine Zunahme der gesamtgesellschaftlichen und politischen Relevanz der Energiestrategie festzustellen – das Thema gewinnt wahlentscheidende Bedeutung in den Demokratien. Ein Aspekt dabei ist die Durchsetzung gesamtgesellschaftlicher Interessen gegenüber den partiellen ökonomischen Interessen von Kraftwerksbetreibern und deren Verbänden: Kann die Marktwirtschaft das leisten? Einerseits hat die Bevölkerung, beispielsweise mithilfe des Internets, zunehmend stärkere Hebel zum Artikulieren und zur Durchsetzung ihrer Interessen in der Hand. Andererseits finden solide technologisch-wissenschaftliche Erkenntnisse gegenüber halbwissenschaftlichem Medienspektakel zunehmend weniger Beachtung in der öffentlichen Wahrnehmung. Zugespitzt könnte man die Frage formulieren: „Was bestimmt stärker die Politik regierender Parteien – erfolgversprechende Wahlkampfstrategien unter Nutzung medienwirksamer Vorurteile oder die nüchterne Analyse fundierter naturwissenschaftlich-technischer Erkenntnisse?“.

Ein weiteres Problem gewinnt durch Fukushima an Aktualität: Es handelt sich um die Abwägung von Sicherheitsrisiken der Technik bei seltenen, wahrscheinlich nie eintretenden Naturkatastrophen gegenüber der akut notwendigen Reduzierung der Emission von Treibhausgas und damit der Einhaltung der Ziele zur Stabilisierung des Erdklimas. Wo liegt das Optimum bei Entscheidungen für oder gegen den künftigen Einsatz von Nukleartechnologie?

Gleichermaßen kann eine Zunahme der internationalen bis hin zur globalen Relevanz energiepolitischer Probleme festgestellt werden. Insbesondere zur Verhütung von und Hilfe in Notfällen gewinnt die Durchsetzung verbindlicher zwischenstaatlicher Regularien zur Sicherheitstechnik gegenüber partiellen Souveränitätsansprüchen einzelner Länder immer mehr an Bedeutung. Gelegentlich wird infrage gestellt, ob das bestehende System der UNO einen ausreichenden Rahmen dafür bietet. Es ist aber bisher der einzige global funktionierende Rahmen dafür, und Fukushima zeigt auch: Auf dem Wege der gleichberechtigten Zusammenarbeit von Fachleuten in internationalen Organisationen, wie der IAEA, entsteht weltweit gemeinschaftliches Verantwortungsbewusstsein und Handeln, insbesondere auch zu Problemen der Techniksicherheit. Regionale Gremien, wie die Organisationen zur Nuklearsicherheit in der EU, die ihre spezifischen Aktivitäten in Einklang mit denen der IAEA entfalten oder auch branchenspezifische internationale Gremien,

wie die WANO, untersetzen und ergänzen das Handeln in ihren jeweiligen Verantwortungsbereichen im Interesse der Techniksicherheit. Zum kontinuierlichen Ausbau dieses bewährten Systems internationaler Kooperation von Experten im Interesse erhöhter Sicherheitskultur gibt es keine vernünftige Alternative. Ihr wird auch eine optimierende Rolle bei der schrittweisen Lösung des Konflikts zwischen den Sicherheitsrisiken von Nuklearanlagen bei Eintreten von Naturkatastrophen einerseits und der notwendigen Reduzierung der Emission von Treibhausgasen andererseits zukommen.

In diesem Sinne bleibt die Techniksicherheit im weitesten Sinne auch in Zukunft ein spannendes Feld der Auseinandersetzung und Kompromiss-Suche sowohl bei der Verteilung wissenschaftlich-technischer Ressourcen wie auch bei der Wahrnehmung ökonomischer, politischer und diplomatischer Interessen.

Verwendete Abkürzungen

ENSREG – European Nuclear Safety Regulators' Group (Expertengremium aus Vertretern der Genehmigungsbehörden der EU-Länder, welches die EU-Kommission berät)

GRS – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit

IAEA – International Atomic Energy Agency (Spezialorganisation der UNO für Atomenergie)

RSK – Reaktorsicherheits-Kommission (Beratungsgremium des Ministers für Umwelt zu Fragen der Reaktorsicherheit)

WANO – World Association of Nuclear Operators (weltweite Organisation der Betreiber von KKW)

WENRA – Western European Nuclear Safety Regulators' Association (Arbeitsgemeinschaft der westeuropäischen kerntechnischen Aufsichts- und Genehmigungsbehörden)

Literatur

AREVA GmbH (Hg.) (2012): Kernenergie nach Fukushima – Lehren und Konsequenzen. Erlangen, März (AREVA-argumente) – URL: [http://www.aveva.com/DE/aveva-deutschland-985/argumente-Gruppe AREVA \[03.05.2013\]](http://www.aveva.com/DE/aveva-deutschland-985/argumente-Gruppe AREVA [03.05.2013])

ATF – Deutsches Atomforum e.V. Berlin (2012): Der Reaktorunfall von Fukushima Daiichi – Folge fehlerhafter Auslegung und unzureichender Sicherheitstechnik. – URL: [http://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/service/024reaktorunfall_fukushima.pdf \[27.04.2013\]](http://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/service/024reaktorunfall_fukushima.pdf [27.04.2013])

Bericht (2012): EU-Atomstrom unterliegt den strengsten Sicherheitsauflagen der Welt. Bericht der EU-Kommission zu den Stresstests der Atomkraftwerke in der

- Europäischen Union, 4.10.2012. In: Blätter für Deutsche und Internationale Politik. – URL: <http://www.blaetter.de/archiv/jahrgaenge/dokumente/%C2%BBatomstrom-unterliegt-den-strengsten-sicherheitsauflagen-der-welt%C2%AB> [27.04.2013]
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2011): Ablauf Fukushima 11032011 – Ereignisabläufe Fukushima Daiichi und Fukushima Dairi infolge des Tohoku-Chihou-Taiheiyu-Okai-Erdbebens vom 11.03.2011. Bericht ENSI-AN-7746 vom 16.12.2011. Brugg
- ENSREG – European Nuclear Safety Regulators Group (2012a): Peer Review Report “Stress Tests Performed on European Nuclear Power Plants”. – URL: <http://www.ENSREG.de> [25.04.2012]
- ENSREG – European Nuclear Safety Regulators Group (2012b): Joint Statement of ENSREG and the European Commission on Stress Tests and Peer Review Process. – URL: <http://www.ensreg.eu/node/389> [26.04.2012]
- GRS – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (2011): Fukushima Daiichi 11. März 2011 – Unfallablauf, radiologische Folgen. Bericht GRS-S-51. – URL: <http://www.grs.de/publication/GRS-S-51> (siehe auch 2., überarb. Aufl.: GRS-S-53, 2013) [03.05.2013]
- GRS – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (2012): Erläuterungen zum Stresstest deutscher KKW vom 24.11.12. – URL: <http://www.grs.de/de/print/1618> [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2008): INES – THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE USER’S MANUAL. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/INES-2009_web.pdf [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011a): IAEA Action Plan on Nuclear Safety. Vienna, September. – URL: <http://www.iaea.org/newscenter/focus/actionplan> [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011b): Fukushima Daiichi Status Report. Vienna, 04.11. – URL: [http://www.iaea.org/Fukushima Daiichi Status Reports](http://www.iaea.org/Fukushima_Daiichi_Status_Reports) [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011c): Fukushima Daiichi Status Report. Vienna, 10.11. – URL: [http://www.iaea.org/Fukushima Daiichi Status Reports](http://www.iaea.org/Fukushima_Daiichi_Status_Reports) [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011d): IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami. 16.06. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/PDFplus/2011/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf [03.05.2013]
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2012): Fukushima Daiichi Status Report. Vienna, 31.08. – URL: [http://www.iaea.org/Fukushima Daiichi Status Reports](http://www.iaea.org/Fukushima_Daiichi_Status_Reports) [03.05.2013]

- JAIF – Japan Atomic Industrial Forum Inc (2011): Information on Status of Nuclear Power Plants in Fukushima. 01.06. –
URL: <http://www.jaif.or.jp/english/fukushima/plantstatus201106.html> [03.05.2013]
- JPG – Japanese Government (2011): Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Stations. 07.06. –
URL: www.iaea.org/newscenter/Focus/fukushima/japan-report [03.05.2013]
- Kuczera, B. (2011): Das schwere Tohoku-Seebeben in Japan und die Auswirkungen auf das Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi. In: atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie, Jg. 56, H. 4/5, S. 2-9. –
URL: http://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/fachzeitschrift-atw/2011/atw2011_05_kuczera_fukushima.pdf [27.04.2013]
- NFS – Nuklearforum Schweiz (Hg.) (2012): EU-Stresstest: gut, aber Verbesserungen nötig. Bericht vom 04.10. – URL: <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/eu-stresstest-gut-aber-weitere-verbesserungen-noetig> [27.04.2013]
- RSK – Reaktorsicherheitskommission (Hg.) 2011: RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“. 437. Sitzung der RSK, 11.-14.05.2011. –
URL: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsueberpruefung_stellungnahme_rsk.pdf [27.04.2013]
- Spiegel Online (2012): EU-Stresstest – Sicherheitsmängel bei zwölf deutschen AKW. Bericht vom 01.10. – URL: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/eu-stresstest-sicherheitsluecken-bei-zwoelf-deutschen-akw-a-858881.html> [27.04.2013]
- TEPCO (2012): Mid-and-long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi. Nuclear Power Station Units 1-4. 25.01. –
URL: <http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap> [03.05.2013]