

Fukushima und was wir daraus lernen können, Versuch einer Bewertung nach 80 Tagen

1. Vorbemerkung

Japan, 11.03.2011: Ein schweres Erdbeben, ein gewaltiger Tsunami und in der Folge eine schwere Reaktorkatastrophe. Eigentlich ist es noch zu früh, aber ich will trotzdem versuchen aufzuzeigen, welche Lehren wir 80 Tage nach dem Ereignis aus der Reaktorkatastrophe ziehen können bzw. müssen.

Allerdings muss ich vorab zwei Einschränkungen machen: Erstens ist das Ereignis noch nicht abgeschlossen. Zwar gehen Radioaktivitätsfreisetzungen und Strahlenpegel langsam zurück, aber die Kühlung erfolgt immer noch größtenteils in offenen Kreisläufen. Und zweitens sind alle verfügbaren Informationen nach wie vor lückenhaft und zum Teil auch widersprüchlich. Endgültige Schlüsse sind erst nach einer sorgfältigen Analyse möglich.

2. Das Wichtigste im Überblick

Erdbeben und Tsunami vom 11.03.2011 haben in Japan über eine halbe Million Menschen obdachlos gemacht und fast 30000 Todesopfer gefordert. Weite Landstriche sind auch heute noch verwüstet, mehr als 100000 Menschen leben immer noch in Notunterkünften, und der gewaltige wirtschaftliche Schaden wird Japan noch Jahre zu schaffen machen.

Zu den Folgen gehört auch eine schwere Reaktorkatastrophe im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi (insgesamt 6 Reaktoren). Große Mengen Radioaktivität wurden freigesetzt und rund 80000 Menschen mussten evakuiert werden, zusätzlich zu den direkt durch Erdbeben und Tsunami obdachlos gewordenen. Japanische Experten hoffen zwar, dass zumindest die meisten der Evakuierten Ende des Jahres wieder dauerhaft in ihre Häuser zurück kehren können, aber ob das wirklich möglich sein wird, bleibt abzuwarten. Das einzige Gute ist, dass es bisher weder Strahlentote noch Fälle von akuter Strahlenkrankheit gibt und dass diesbezüglich auch weiterhin gute Aussichten bestehen, weil die meisten Strahlenpegel im Kraftwerk und in der Umgebung bereits deutlich gefallen sind und langsam weiter fallen. Aber solange die Reaktoren noch nicht vollständig unter Kontrolle sind und ihre Kühlung immer noch größtenteils in offenen Kreisläufen erfolgt, sind weitere Verschärfungen nicht ausgeschlossen.

Klar ist es mit dem wirtschaftlichen Schaden der Reaktorkatastrophe: Dieser erhöht den Gesamtschaden von Erdbeben und Tsunami erheblich und der Betreiber TEPCO, immerhin der größte private Stromversorger Asiens, wird möglicherweise daran bankrott gehen.

Zwar bleiben die Radioaktivitätsfreisetzungen weit hinter denen damals in Tschernobyl angefallenen zurück¹, doch drängen sich Vergleiche zwangsweise auf. Aber damals waren die Randbedingungen völlig andere, Tschernobyl konnte mit Recht als „für unsere Kraftwerke nicht maßgebend“ bezeichnet werden. Doch Fukushima ist jetzt in einem hochtechnisierten Industrieland mit demokratisch geprägten Gesellschaftsstrukturen passiert. Da ist zunächst von einer grundsätzlichen Übertragbarkeit auf andere Industrieländer auszugehen. Es muss daher sorgfältig zwischen drei Möglichkeiten abgewogen werden:

- a. Fukushima lehrt uns, dass die bisher vorliegenden Wahrscheinlichkeitsberechnungen für schwere Störfälle in Kernkraftwerken falsch waren und das „Restrisiko“ wesentlich höher ist als bisher angenommen, insbesondere, dass es höher ist als die bei einem Verzicht auf Kernenergie unvermeidbar auf uns zukommenden Risiken – dann sollen wir so rasch wie möglich aus der Kernenergie aussteigen
- b. In Fukushima ist „nichts anderes“ passiert als das, was aufgrund des „Restrisikos“ ohnehin irgendwann einmal hat passieren können, heute, morgen, oder erst in 100000 Jahren, nun ist es eben am 11.03.2011 und in Japan passiert – dann hat einfach „die Wahrscheinlichkeit zugeschlagen“, aber die Wahrscheinlichkeitsangaben stimmen weiterhin und Kernenergie ist weiterhin akzeptierbar
- c. Fukushima war für Kernkraftwerke (generell oder zumindest für die deutschen Kernkraftwerke) nicht repräsentativ, sondern „wesentlich weniger sicher“, dieses „wesentlich-weniger-sicher“ ist mit klaren Fakten zu belegen und es hat auch maßgeblichen Anteil am Zustandekommen der Katastrophe gehabt – dann ändert sich an der grundsätzlichen Akzeptierbarkeit der Kernenergie mit anderen Kraftwerken als in Fukushima auch nichts.

Im Fall a. ist Kernenergie nach Fukushima prinzipiell abzulehnen. In den Fällen b. und c. darf sie weiter genutzt werden, aus Fukushima sind „nur“ so viele Lehren wie möglich zu ziehen, um das Risiko möglichst noch weiter zu senken.

In Deutschland hat die Bundesregierung unmittelbar nach Bekanntwerden der Reaktorkatastrophe ein 3-monatiges Moratorium für die Laufzeitverlängerung der KKW verhängt und die ältesten 7 Kernkraftwerke vorläufig abgeschaltet. In dieser Zeit sollten 2 Kommissionen Grundlagen für das weitere Vorgehen erarbeiten. Bei Redaktionsschluss für diese Arbeit hier (26.05.2011) lagen erste Ergebnisse der Reaktorsicherheitskommission (RSK) vor², von der sogenannten „Ethik-Kommission“³ gab es erst einen Entwurf, der Zeitungsmeldungen zufolge noch deutlich verändert werden könnte.

In diesem Beitrag hier will ich zunächst die Chronologie der Ereignisse kurz zusammenfassen und versuchen, die Ursachen des Unglücks zu identifizieren. Auf dieser Basis werde ich dann

¹ Maßgeblich für die großen Freisetzungsmengen in Tschernobyl waren die schwere Explosion im Reaktorkern, das lang anhaltende Feuer des heiß brennenden Graphits und das Fehlen eines vergleichbaren Sicherheitsbehälters. Diesbezüglich sind die Verhältnisse in Fukushima grundlegend anders.

² RSK-INFORMATION, Nummer RSK 437, 16.05.2011: „STELLUNGNAHME: Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“; in den Medien wird diese Sicherheitsüberprüfung üblicherweise mit dem Namen „Stresstest“ versehen.

³ Die Kommission „Sichere Energieversorgung“ steht unter dem Vorsitz des früheren Umweltministers Klaus Töpfer und des Präsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft Matthias Kleiner.

eine vorläufige Bewertung 80 Tage nach dem Unglück wagen. Die Vorläufigkeit muss ich nochmals ausdrücklich betonen (siehe Ziff. 1). Abschließend werde ich noch einen Ausblick in die Zukunft versuchen.

3. Chronologie der Ereignisse in Fukushima Daiichi

- 11.03. 14:46 Erdbeben Stärke 9 (Richterskala), Blöcke 1 bis 3 automatisch abgeschaltet (Blöcke 4 bis 6 außer Betrieb), kompletter Netzausfall, Notstromdiesel planungsgemäß angelaufen, Kernkühlung planungsgemäß.
- 11.03. 15:41 Tsunami mit Wellenhöhe 14 m, Ausfall aller Notstromdiesel („station blackout“), Kernkühlung von Block 1 bis 3 weiter über turbinengetriebene Pumpen, solange Batteriekapazität reicht (erforderlich zur Regelung)
- 11.03 16:31 Ausfall Kernkühlung in Block 1, vermutlich infolge Erschöpfung der Batterien, einige Zeit später auch in Block 2 und 3
- 12.03. 00:49 Druckerhöhung im Sicherheitsbehälter Block 1 (vermutlich Abblasen Sicherheitsventile Primärkreis), Brennelemente teilweise nicht mehr mit Wasser bedeckt, werden heiß, Wasserstoffbildung durch Reaktion des Zircaloy (Hüllmaterial der Brennstäbe) mit Wasser bei hohen Temperaturen, Übertritt des Wasserstoffs in den Sicherheitsbehälter, keine Knallgasbildung, da mit Stickstoff gefüllt („inertisiert“)
- 12. 03. 14:30 Gezielte, gefilterte Druckentlastung Sicherheitsbehälter Block 1 zum Vermeiden Überdruckversagens, Wasserstoff gelangt ins Reaktorgebäude, vermischt sich mit Raumluft, Knallgasbildung
- 12.03. 15:36 Schwere Explosion im Reaktorgebäude Block 1 (vermutlich Knallgas), massive Zerstörung des oberen Gebäudeteils, Sicherheitsbehälter wahrscheinlich unbeschädigt
- 12.03. 20:20 Einspeisung borierten (Verhinderung einer erneuten Kettenreaktion von Kernspaltungen) Meerwassers in den Reaktordruckbehälter Block 1 zur Kühlung der Brennelemente
- 14.03. Grundsätzlich analoge Entwicklung in Block 3 wie zuvor in Block 1: Schwere Explosion im Reaktorgebäude (vermutlich Knallgas) mit massiver Zerstörung des oberen Gebäudeteils, Sicherheitsbehälter wahrscheinlich unbeschädigt
- 14.03. Mit 84 °C stark erhöhte Temperatur im Brennelementelagerbecken von Block 4 gemessen
- 15.03. Im Detail etwas andere, im Ergebnis aber weitgehend ähnliche Entwicklung in Block 2 wie zuvor in Block 1 und 3: Schwere Explosion im Reaktorgebäude (vermutlich Knallgas) mit massiver Zerstörung des oberen Gebäudeteils, Sicherheitsbehälter vermutlich auch beschädigt (im Bereich der Kondensationskammer)

15.03. Feuer im Bereich des Brennelementlagerbeckens Block 3, vermutlich waren die Brennelemente nicht mit Wasser bedeckt und das Zircaloy hat in der Luft bei hohen Temperaturen zu brennen angefangen

15.03. Feuer (vermutlich Zircaloybrand) und Explosion (vermutlich Knallgas) im Bereich des Brennelementlagerbeckens Block 4, schwere Gebäudeschäden

Bis 26.05.: Kühlung der Reaktorkerne Block 1 bis 3 und der Brennelementlagerbecken Block 1 bis 4 zunächst mit Meerwasser und dann mit Frischwasser in größtenteils offenen Kreisläufen; Wiederherstellen der externen Stromversorgung, Aufräumarbeiten nach den Explosionen, Raumluftfilterung und Wiederbetreten Reaktorgebäude Block 1 mit dem Ziel, geschlossene Kühlkreisläufe herzustellen, Dekontaminationsarbeiten im Gelände; Freisetzung von Radioaktivität und Strahlenbelastung gehen langsam zurück, verordnete Evakuierungen (ca. 80000 Betroffene) und Beschränkungen zum Verzehr und Verkauf bestimmter Nahrungsmittel bleiben aufrecht; erheblich erschwerte Arbeitsbedingungen bei den Aufräumarbeiten (Trümmerhaufen, völlig zerstörte Infrastruktur, hohe Strahlenbelastung), bisher 30 Personen mit Dosen über 100 mSv belastet, in keinem Fall 250 mSv erreicht⁴, bisher 5 Todesfälle im Kernkraftwerk (2 beim Tsunami ertrunken, 2 durch Verletzungen bei den Knallgasexplosionen, 1 Schwächeanfall, vermutlich Herz/Kreislauf-Versagen).

4. Was ist neu an Fukushima?

Als Tschernobyl passierte, hat man noch argumentieren können, dass das in einem Land mit völlig anderen Randbedingungen (Gesellschaftsstrukturen, Sicherheitskultur, für militärische Bedürfnisse gebauter Reaktortyp, etc.) geschehen ist, so etwas war einfach kein Maßstab für das, was hierzulande bei unseren Kernkraftwerken passieren kann. Aber Fukushima hat sich in Japan ereignet, in einem hochtechnisierten Industrieland mit demokratischer Gesellschaftsstruktur und hoher Sicherheitskultur, das ist neu. In Fukushima hat sich schmerzhaft das „Restrisiko“ eines Kernkraftwerkes realisiert. Und was dort passieren konnte – so argumentieren viele –, das kann auch bei uns passieren. Daher habe Fukushima gezeigt, dass man Kernenergie nicht einsetzen darf.

Aber ist das wirklich so einfach? Dass sich ein Restrisiko auch einmal realisieren kann, haben wir immer schon gewußt. Ja, diese Möglichkeit steckt sogar untrennbar im Begriff „Restrisiko“ drinnen. Die Wahrscheinlichkeit ist klein, aber irgendwann einmal kann es doch passieren! Das kann morgen sein, oder erst in 100000 Jahren. Und dieses Restrisiko haben wir, jedenfalls die Mehrheit der Menschen in Deutschland, immer akzeptiert. Auch höchstgerichtliche Entscheidungen haben seine Zulässigkeit ausdrücklich bestätigt.

Aber diese prinzipielle Zulässigkeit eines Restrisikos ist nur der eine Teil unserer Entscheidungsbasis, der andere – und in meinen Augen noch viel wichtigere Teil – ist der

⁴ Millisievert (mSv) sind das Maß für die gesundheitliche Bedeutsamkeit einer Strahlenexposition. Bei 250 mSv treten keine Symptome akuter Strahlenkrankheit auf. Das langfristige Krebsrisiko, das normalerweise etwa im Bereich von 20 bis 25 % liegt, wird durch Dosen von 250 mSv rechnerisch um 1 % erhöht. Infolge der Abhängigkeit der Krebsrate von sehr vielen (außerpersönlichen und von der persönlichen Lebensführung abhängigen) Parametern ist eine Erhöhung um 1 % statistisch nur sehr schwer nachweisbar.

Vergleich: Wir haben uns mit dem Restrisiko der Kernkraftwerke abgefunden, nicht, weil wir es für Null gehalten hätten, sondern weil wir es nach sorgfältiger Untersuchung für kleiner gehalten haben als die bei einem Verzicht auf Kernkraftwerke unvermeidbar auf uns zukommenden Risiken. Jedenfalls stimmt das so für mich persönlich und es stimmt auch für alle Kollegen, mit denen ich mich jemals ernsthaft über solche Probleme unterhalten habe, und ich habe solche Diskussionen oft geführt. Ob die Kleinheit des Restrisikos allein genügt, die Akzeptierbarkeit der Kernenergie zu begründen, kann meines Erachtens offen bleiben, die für mich entscheidende Frage ist, ob der Risikovergleich für oder gegen die Kernenergie spricht. Spricht er jetzt mit den Erkenntnissen aus Fukushima gegen die Kernenergie, ist diese falsch und der Ausstieg ist schnellstmöglich zu vollziehen, spricht er aber weiterhin für die Kernenergie, ist diese auch weiterhin verantwortbar und der Ausstieg ist falsch.

Man kann es auch anders ausdrücken: Die Gretchenfrage ist, ob Fukushima tatsächlich zeigt, dass die Risiken der Kernenergie sehr viel größer sind als bisher angenommen (und insbesondere auch größer als die unvermeidbaren Risiken bei einem Verzicht auf Kernenergie; Fall a. in Ziff. 2), oder ob Fukushima „nur“ der Fall war, mit dem man – jedenfalls vom Prinzip her – immer schon hat rechnen müssen und der jetzt eben eingetreten ist (Fall b. in Ziff. 2)? Neu an Fukushima ist, dass es eindeutig zu kurz gegriffen wäre, das Ereignis nur als Lernbeispiel zu begreifen, wie wir die Sicherheit der Kernkraftwerke noch weiter erhöhen können. Fukushima fordert auch eine grundlegende Neubewertung der Risiken mit und ohne Kernenergie. Nur damit werden wir unserer Verantwortung gerecht.

Natürlich gibt es noch eine dritte Möglichkeit: Fukushima war ja vielleicht „ein besonderes Kraftwerk“ mit wesentlich geringerem Sicherheitsstand (insbesondere im Vergleich zu deutschen Anlagen), diese Sicherheitsdefizite sind eindeutig benennbar, sie waren maßgeblich für die Reaktorkatastrophe verantwortlich und sie können bei anderen Kernkraftwerken (insbesondere bei den deutschen) sicher ausgeschlossen werden. Wenn das zutrifft, ändert sich am Risikovergleich und an der Akzeptierbarkeit der Kernenergie (mit anderen Kraftwerken als in Fukushima) natürlich nichts (Fall c. in Ziff. 2). Dass es Sicherheitsunterschiede zwischen verschiedenen Kernkraftwerken, auch innerhalb der westlichen Länder gibt, ist eine Trivialität. Falls dieser Fall c. der Ziff. 2 aber zutrifft, ist es vielleicht doch neu, dass diese Unterschiede so groß sind.

5. Fukushima bestätigt auch bisherige Erkenntnisse

Fukushima hat uns aber nicht nur die angegebene Aufgabe „Neubewertung der Risiken“ gestellt, Fukushima hat uns auch (erneut) gezeigt, dass große Unglücke in komplexen Anlagen nicht aus einer singulären Ursache heraus passieren, sondern nur dann, wenn viele Ursachen zusammen kommen. Es ist diese Erfordernis des Zusammentreffens vieler Ursachen, das die geringe Wahrscheinlichkeit eines schweren Störfalls und damit das geringe Restrisiko bewirkt. In Fukushima liegen einige Ursachen Jahre zurück und beruhen auf Entscheidungen, die in Ruhe und ohne Zeitdruck gefällt wurden, andere Ursachen liegen in den ad hoc und unter Stress im Zuge der Störfallbeherrschung getroffenen Entscheidungen bzw. gesetzten Handlungen. Erst alle Ursachen zusammen haben zu dem gravierenden Ereignis geführt, das nun vorliegt. Man muss die Ursachen identifizieren, muss klären, warum

sie zustande gekommen sind und ob bzw. wie man sie vielleicht hätte vermeiden können oder wenigstens zukünftig vermeiden kann. Dann erst kann man aus dem Ereignis „Fukushima“ angemessene Schlüsse ziehen. Einen Versuch hierzu will ich nachfolgend machen.

6. Das auslösende Ereignis

Japan ist ein Erdbebenland. Das Beben am 11.03.2011 war das schwerste, das in Japan jemals gemessen worden ist. Berücksichtigt man auch Rekonstruktionen aufgrund historischer Berichte, war es sogar das schwerste seit mindestens 1000 Jahren. Es war also ein echtes „Jahrtausendereignis“, wenn nicht mehr. Mit 9,0 auf der Richter-Skala war es auf den ersten Blick klar stärker als das für die Auslegung des KKW Fukushima Daiichi zugrunde gelegte Beben mit angeblich 8,2⁵. Aber genau genommen wird ein KKW nicht nach irgendeinem Richter-Wert ausgelegt, sondern nach einem definierten Beschleunigungsspektrum in horizontaler und vertikaler Richtung, für das der Richter-Wert höchstens eine grobe Näherung liefert. Soweit erkenntlich, hat Fukushima Daiichi – so wie auch alle anderen Kernkraftwerke im betroffenen Gebiet – das Erdbeben vom 11.03.2011 ohne gravierende Schäden überstanden. Offensichtlich hat die Auslegung samt Reserven ausgereicht. Man kann darüber diskutieren, ob man in Zukunft nicht noch weitere Auslegungsreserven einbauen soll, um vielleicht auch noch stärkere Erdbeben auszuhalten, aber einen direkten entsprechenden Handlungsbedarf kann man aus Fukushima wohl nicht ableiten. Wohl aber hat das Erdbeben den Ausfall des kompletten Stromnetzes bewirkt und damit erheblich zum Ereignisablauf beigetragen.

Das Erdbeben war es also nur indirekt. Eine der Folgen des Erdbebens war ein schwerer Tsunami. Ausgelegt war Fukushima Daiichi (wie angeblich alle anderen Kernkraftwerke in Japan auch) auf einen Tsunami mit einer Wellenhöhe von 5,7 m, der Tsunami am 11.03.2011 hatte am Ort des Kraftwerkes eine Wellenhöhe von etwa 14 m. Das ist fast das Dreifache! Der Tsunami hat vor allem alle Notstromdiesel beschädigt und kann damit als der eigentliche Auslöser des Unglücks angesehen werden.

7. Ursachen

Tsunami-Auslegung

Werte siehe oben. Angeblich hat es in Japan in den letzten etwa 500 Jahren 16 Tsunamis mit Wellen von über 10 m Höhe gegeben. Wenn das stimmt, war nicht nur die Auslegung von Fukushima Daiichi für das Ereignis am 11.03.2011 zu schwach, sondern es war wohl auch grundsätzlich die Tsunami-Auslegung aller japanischen KKW unzureichend (Fehler in den Genehmigungsanforderungen). Das Wort „Tsunami“ kommt aus dem Japanischen. Wieso hat Japan (jedenfalls aus heutiger Sicht) für die Auslegung seiner KKW gegen Erdbeben „vernünftig hohe“ und für die Auslegung gegen Tsunami so viel niedrigere Anforderungen gestellt? Für mich ist diese Unausgewogenheit nicht nachvollziehbar.

⁵ Achtung, die Richter-Skala ist eine logarithmische Skala, ein Beben der Stärke 9 ist daher 10 Mal so stark wie eines der Stärke 8.

Im Jahr 2004 hat es im Indischen Ozean einen schweren Tsunami gegeben, der über 200000 Todesopfer gefordert hat. Dem Vernehmen nach wurde daraufhin in Japan beschlossen, Kernkraftwerke generell gegen 15 m hohe Tsunamiwellen auszuliegen. Viele KKW wurden auch entsprechend nachgerüstet. Für Fukushima Daiichi wurde eine solche Nachrüstung – angeblich aus Kostengründen – abgelehnt. Am Standort befinden sich sechs Reaktoren, und eine Nachrüstung gegen Tsunami ist zwar natürlich nicht umsonst zu bekommen, aber sie dürfte relativ billig sein, weil „nur“ die Schutzmauern bzw. -Dämme erhöht werden müssen und an der eigentlichen Anlage keine Änderungen notwendig sind. Aber für Fukushima Daiichi wurde eine Nachrüstung abgelehnt. Schaut Japan gebannt auf Erdbeben und verdrängt dabei sogar die Gefahr von Tsunamis?

Anzahl und räumliche Trennung der Notstromdiesel

Der komplette Ausfall der Stromversorgung („station blackout“) gilt seit langem als eines der schwerwiegendsten Ereignisse in einem Kernkraftwerk. In Fukushima Daiichi waren je Block 2 Notstromdiesel vorhanden. Nach deutschen Maßstäben ist das klar zu wenig. Außerdem war es möglich, dass alle Diesel durch die gleiche Ursache (den Tsunami) zerstört wurden. Eine konsequente räumliche Trennung und Vorsorge gegen gemeinsam verursachte Ausfälle sind ansonsten Stand der Technik.

Wasserstoff-Auslegung

Dass bei einem Störfall in einem Kernkraftwerk durch verschiedene Prozesse Wasserstoff gebildet werden kann, war immer schon bekannt. In Harrisburg ist es als Folge dieser Wasserstoffbildung zu einer Knallgasexplosion im Sicherheitsbehälter gekommen. Der hat das ausgehalten, aber das Ereignis hat das Wasserstoffproblem weltweit ins Bewusstsein der Experten gerückt. Überall wurden Nachrüstungen zu seiner Beherrschung vorgenommen. In Deutschland wurden Rekombinatoren zur katalytischen Verbrennung des Wasserstoffs eingebaut und es wurde eine gezielte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters über Ventil, Filter und Rohrleitungen bis zur Oberkante Kamin vorgesehen (das sogenannte „Wallmann-Ventil“). Sofern dort noch Wasserstoff austritt, wird er in der freien Atmosphäre zu unbedenklichen Konzentrationen verdünnt. In Fukushima Daiichi wurde auch nachgerüstet, aber ohne Rekombinatoren und das Gasgemisch aus dem Sicherheitsbehälter wurde nicht zum Kamin oder sonstwie in die Atmosphäre, sondern nur bis ins Reaktorgebäude abgeleitet. Dort sollte es sich mit der Raumluft vermischen und über die Lüftungsanlage abtransportiert werden. Aber bei einem station blackout funktioniert die Lüftungsanlage nicht, im Reaktorgebäude entsteht mehr oder weniger unvermeidlich Knallgas und da Zündquellen praktisch immer vorhanden sind, muss das auch explodieren. Genau so ist es gekommen. Die Knallgasexplosionen haben die Anlagen in Trümmerfelder verwandelt. Die dabei entstandenen Schäden sind der eigentliche Grund, warum es jetzt so schwierig ist, geschlossene Kühlkreisläufe wiederherzustellen.

Eine Erklärung, warum auf Rekombinatoren verzichtet wurde und warum das potentiell wasserstoffhaltige Gasgemisch einer Sicherheitsbehälter-Druckentlastung nur ins Reaktorgebäude und nicht in die Atmosphäre abgeführt wurde, habe ich nicht gefunden. Selbst bei funktionierender Lüftungsanlage erscheint mir diese Auslegung bedenklich, bei

Ausfall der Lüftungsanlage muss sie fast zwangsweise zur Knallgasexplosion führen. Es sieht so aus, dass dieser Pfad der Knallgasbildung in Fukushima Daiichi übersehen worden ist.

Herantransportierte Notstromdiesel passen nicht

Innerhalb weniger Stunden nach dem Tsunami wurden Ersatz-Notstromdiesel antransportiert. Diese konnten aber nicht angeschlossen werden, da angeblich die Steckverbindungen der Kabel nicht gepasst haben. Warum sie nicht provisorisch angeklemt werden konnten, ist unbekannt. Eine mögliche Erklärung könnte eventuell darin liegen, daß es in Japan zwei verschiedene Stromnetze gibt, eines mit 50 und eines mit 60 Hertz. Sind vielleicht die falschen Diesel antransportiert worden?

Fehlender Dieseltreibstoff

Als die Kühlung mit externen Dieselaggregaten bzw. Motorpumpen endlich wieder funktionierte, ist sie für einige Stunden erneut ausgefallen, weil der Dieseltreibstoff ausgegangen und Ersatz nicht rechtzeitig herbei geschafft worden war. Übersehen? Eine Erklärung hierfür habe ich nirgends gefunden.

Fehlendes Meerwasser

Nach einigen Tagen wurde mit Meerwasser gekühlt. Dann kam es erneut zu einer Unterbrechung von mehreren Stunden, weil das Becken, aus dem das Meerwasser angesaugt wurde, offenbar unbemerkt leergelaufen ist und nicht rechtzeitig nachgefüllt worden war. Auch hierfür ist mir eine Erklärung nicht bekannt.

Übersehene Brennelementlagerbecken?

Einen heißen Reaktor zu kühlen, ist schwierig. Der befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf, in dem sich entsprechender Druck aufbaut. Wenn man keine Hochdruckpumpen zur Verfügung hat (kein Strom vorhanden), muss man zuerst den Druck abbauen, um dann kaltes Wasser einspeisen zu können. In Fukushima wurde das vermutlich zu spät begonnen, scheint dann aber – von den genannten Unterbrechungen abgesehen – einigermaßen funktioniert zu haben. Durch die Knallgasexplosionen wurde das alles allerdings viel schwieriger.

Wesentlich anders ist das bei einem Brennelementlagerbecken. Das ist ein großes, offenes Becken (in Fukushima innerhalb des Reaktorgebäudes, aber außerhalb des Sicherheitsbehälters), das mit kaltem Wasser gefüllt ist, in dem die abgebrannten Brennelemente mit mehreren Metern Wasserüberdeckung untergebracht sind. Zur Kühlung muss man nur kaltes Wasser hineinschütten. Eine grobe Überschlagsrechnung zeigt, dass etwa 10 Liter pro Sekunde reichen sollten. In Fukushima wurde 3 Tage nach dem Tsunami eine deutlich angestiegene Wassertemperatur im Lagerbecken gemessen, mindestens in Block 4, ein deutlicher Hinweis auf unzureichende Kühlung. Aber es wurde offensichtlich nichts unternommen, obwohl die Gebäude bis zu den Knallgasexplosionen noch weitgehend uneingeschränkt begehbar waren. Einen Tag später war dann allem Anschein nach alles Wasser aus dem Becken von Block 3 verdampft und die deswegen nicht mehr gekühlten Brennelemente hatten sich so sehr überhitzt, dass ihr Hüllmaterial (Zircaloy) in Luft zu

brennen und mit noch vorhandenem Wasserdampf chemisch unter Freisetzung von Wasserstoff zu reagieren begonnen hat. Der Wasserstoff hat sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Knallgas vermischt und dieses ist heftig explodiert, mit schweren Gebäudeschäden als Folge. In Block 4 ist etwas später offensichtlich das Gleiche passiert, in den Blöcken 1 und 2 vermutlich auch. Eine Erklärung, warum nicht wenigstens eine provisorische Wasserzufuhr versucht wurde, ist mir nicht bekannt. Besprühungen vom Hubschrauber aus sowie mit Wasserwerfern wurden erst nach Zerstörung der Reaktorgebäude durch Knallgasexplosionen aufgenommen, anfänglich mit wenig Erfolg, später dann mit dem Einsatz von eigentlich für Beton gedachten Autopumpen mit Erfolg.

8. Bewertung

Vielleicht gibt es noch weitere Ursachen. Aber die oben identifizierten haben alle zum Zustandekommen und zur Schwere des Unglücks beigetragen. Zur Beantwortung der Gretchenfrage, ob Fukushima die bisherigen Wahrscheinlichkeitsberechnungen für schwere Störfälle bei Kernkraftwerken widerlegt und das „Restrisiko“ deshalb viel höher ist als bislang angenommen, muß man daher diese Ursachen auf die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens bzw. auf ihre Vermeidbarkeit hin überprüfen. Dazu muß man zunächst einmal verstehen, warum diese Ursachen überhaupt „passiert“ sind. Mit den vorliegenden Informationen ist das für mich jedenfalls nur zum Teil möglich. Die Pannen während der Ereignisbeherrschung können vielleicht durch die totalen Verwüstungen des gesamten Gebietes durch Erdbeben und Tsunami und durch den Stress infolge der unter diesen Umständen drohenden Kernschmelze irgendwie erklärt werden. Jedenfalls ist es prinzipiell vorstellbar, dass dann auch die selbstverständlichsten Dinge manchmal nicht mehr richtig funktionieren. Wie wahrscheinlich das ist, kann allerdings ohne sehr viel detailliertere Informationen über Randbedingungen und Umfeld, in dem diese Pannen geschehen sind und auch über das Ausmaß an Training für entsprechende Notfälle nicht beurteilt werden. Hier sind noch sorgfältige Untersuchungen notwendig.

Die vorangegangenen Planungsfehler (Auslegungsdefizite beim Überflutungsschutz, bei der Zuverlässigkeit der Stromversorgung und bei der Vorsorge gegen Wasserstoffexplosionen) aber können keinesfalls durch Stress erklärt werden, für die Entscheidungen hatte man immer ausreichend Zeit. Wieso sie in Japan dennoch passiert sind, kann ich auf Basis der vorliegenden Informationen schlichtweg nicht verstehen. Trotzdem kann man mit Bezug auf diese Auslegungsfehler jetzt schon sehr zuverlässig aussagen, dass ohne sie die Reaktorkatastrophe von Fukushima nicht eingetreten wäre. Bei diesbezüglich gleicher Auslegung hätte das Kraftwerk dem Tsunami genauso stand gehalten wie dem Erdbeben, die Notstromversorgung wäre nicht ausgefallen und wenn dennoch aus irgendeinem Grunde Wasserstoff gebildet worden wäre, wäre er schadlos beseitigt oder abgeleitet worden, es gäbe keine zerstörten Reaktorgebäude, kein Trümmerfeld und eventuell notwendige Reparaturarbeiten könnten sehr viel leichter durchgeführt werden.

In Deutschland sind diese auf den identifizierten Auslegungsdefiziten beruhenden Unglücksursachen nicht nur vermeidbar, sondern sie sind durch die vorhandene Auslegung bereits grundsätzlich ausgeschlossen. Insofern ist eine Übertragbarkeit der Ereignisse in

Fukushima auf deutsche Anlagen klar zu verneinen, die Auslegung von Fukushima bleibt weit hinter dem deutschen Standard zurück⁶. Das wurde von der RSK in ihrem Ergebnisbericht auch nachdrücklich bestätigt, die RSK hat den deutschen Anlagen eine hohe Basis-Robustheit gegenüber Unfällen, wie dem in Fukushima aufgetretenen, bescheinigt. Natürlich verbleibt da noch ein Prüfbereich: Es wäre ja auch denkbar, dass die Ereignisse in Fukushima letztlich auch die wesentlich schärferen Auslegungen der deutschen Kernkraftwerke als unzureichend ausweisen. Anhaltspunkte hierfür sehe ich allerdings keine, auch der Stresstest der RSK liefert keine.

Noch kann man es nicht endgültig beurteilen, aber die momentane Bewertung weist klar auf eine Besonderheit von Fukushima hin: Die Anlage war nur auf eine wesentlich geringere Sicherheit ausgelegt und diese geringere Auslegung hatte einen wesentlichen Anteil am Zustandekommen der Katastrophe. Vorbehaltlich weiterer Ergebnisse aus den noch ausstehenden detaillierteren Analysen gibt Fukushima keinen Hinweis auf grundsätzliche Fehler in der bisherigen Risikobewertung deutscher Kernkraftwerke (Fall c. in Ziff. 2).

Aber vieles ist noch unklar. Man muss einfach zur Kenntnis nehmen, dass gravierende Planungsfehler und Bearbeitungsspannen im hochentwickelten Land Japan passiert sind. Allein dieses muss uns Anlass geben, die Ereignisse und deren Ursachen sorgfältig zu analysieren, um dann eine endgültige Antwort auf die genannte Gretchenfrage bezüglich der Wahrscheinlichkeiten mit und ohne Kernkraftwerke (auf höchstem Sicherheitsniveau) zu finden. Nur, wer meint, die Antwort ohne eine solche sorgfältige Analyse geben zu können, der entscheidet meines Erachtens auf der Basis von Vorurteilen oder nach sachfremden Gesichtspunkten.

Blicken wir einmal über Deutschland hinaus: Die Welt ist durch Fukushima vielleicht nachdenklicher geworden und alle versprechen eine sorgfältige Prüfung und dann verantwortliche Entscheidungen auf der Basis des Prüfungsergebnisses. Mit vorweggenommenen Abschalt-Entscheidungen ohne Prüfungsergebnis ist jedenfalls kein anderes Land dem Schritt Deutschlands gefolgt.

9. Ausblick

Das Ergebnis der Überprüfung von Fukushima kann ich nicht vorwegnehmen. Aber diese Überprüfung findet nicht in einer stationären Welt statt, vielmehr könnten wir gerade am Beginn eines tiefgreifenden Umbruchs in der „Energieversorgung der Menschheit“ stehen und das weitere Schicksal der Kernenergie könnte sehr viel stärker von diesem Umbruch beeinflusst werden als vom Überprüfungsergebnis bezüglich Fukushima. Dieser Umbruch wird – wenn er denn tatsächlich kommt – durch neue Bohrtechniken (horizontales Bohren) und neue Abbautechniken für Öl- und insbesondere Gasvorkommen in Schiefergesteinen („Fracking“) ausgelöst. Dass in solchen Gesteinen riesige Öl- und Gasvorkommen enthalten

⁶ Maßgeblich hier wie dort ist stets die (standortspezifische) Ereignishäufigkeit, gegenüber der eine Anlage ausgelegt sein muss. In Deutschland gibt es natürlich keine großen Tsunamis, aber es gibt Hochwässer, die eine Anlage prinzipiell ähnlich gefährden können. Gefordert wird eine Auslegung mindestens auf ein 10000-jähriges Hochwasser und in allen Anlagen sind darüber hinaus noch „signifikante Sicherheitsreserven“ eingebaut. Für Fukushima siehe die in Ziff. 6 und 7 zum Tsunami gemachten Angaben. Die Unterschiede sind gravierend.

sind (und dass diese weltweit sehr gut verteilt sind), ist seit langem bekannt, nur erschienen diese Vorkommen immer als nicht abbauwürdig, die Kosten waren einfach viel zu hoch. Die neuen Techniken scheinen aber gerade das zu ändern. Diese Vorkommen werden jetzt sehr wahrscheinlich zu vergleichsweise billigen Vorkommen, sie werden die Reichweite der fossilen Energieträger mindestens auf einige Jahrhunderte anheben („Verknappung“ wäre dann kein Argument mehr) und sie werden die (Energie-)Abhängigkeit der Welt von wenigen und politisch instabilen Ländern aufheben. In den USA ist die Entwicklung am weitesten fortgeschritten und die USA sind als Folge davon in den letzten 3 Jahren vom größten Gasimporteureur zu einem bedeutenden Gasexporteur geworden. Wenn die Entwicklung das hält, was viele sich von ihr versprechen, wird die Energiewelt in einigen Jahren ganz anders ausschauen als heute. Erneuerbare Energien und Kernenergie (in neu zu errichtenden Kraftwerken) werden dann wirtschaftlich voraussichtlich keine Chance mehr haben und außer in Nischenanwendungen nur überleben können, wenn das Klimaproblem wirklich ernst genommen wird. Dann aber könnte auch zwischen Kernenergie und Erneuerbaren nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten entschieden werden, wobei mögliche Konsequenzen von Fukushima natürlich mit zu berücksichtigen sind. Insofern bleibt also die Frage, ob die Klimarisiken oder die Kernenergie Risiken die größeren sind, wahrscheinlich auch nach Fukushima relevant, jedenfalls in der Welt, in Deutschland gehen die Uhren manchmal anders.

10. Zusammenfassung

Erdbeben und Tsunami haben in Japan fast 30000 Todesopfer gefordert und schwerste wirtschaftliche Schäden verursacht. Die in der Folge eingetretene Reaktorkatastrophe in Fukushima hat die gesundheitlichen Auswirkungen nur geringfügig vergrößert, den wirtschaftlichen Schaden aber erheblich gesteigert. Die vorliegenden Informationen sind noch lückenhaft und zum Teil auch widersprüchlich, aber vorangegangene Planungs- bzw. Auslegungsfehler und bei der Störfallbeherrschung eingetretene Pannen lassen sich klar als Ursachen der Reaktorkatastrophe identifizieren. Aufgrund dieser Auslegungsfehler ist eine unmittelbare Übertragbarkeit des Ereignisses auf deutsche Anlagen, für die wesentlich schärfere Anforderungen gelten, auszuschließen. Welche Konsequenzen dennoch zu ziehen sind, kann erst in detaillierteren Analysen geklärt werden. Weltweit wird die Katastrophe vermutlich zu einer engeren Harmonisierung der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke führen, das weitere Schicksal der Kernenergie wird aber voraussichtlich von anderen Entwicklungen am Energiesektor stärker beeinflusst werden als von Fukushima.