



5200 Brugg, 05. Mai 2011

Stand der Abklärungen zum KKW-Unfall von Fukushima (Japan) und Stand der Massnahmen und der vorzeitigen Sicherheitsüberprüfungen bei den schweizerischen Kernkraftwerken

1 Zusammenfassung

Am 11. März 2011 ereignete sich an der Nordostküste Japans das stärkste bekannte Erdbeben der Geschichte Japans. Alle betroffenen Kernkraftwerke haben die direkten Einwirkungen des Erdbebens gut überstanden. Der vom Erdbeben ausgelöste Tsunami hat aber anschliessend auf dem Areal des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi eine Vielzahl von Hilfsanlagen, Wasserfassungen, Rohrleitungen etc. zerstört. Dadurch versagten die Strom- und Kühlwasserversorgung der insgesamt sechs Reaktorblöcke am Standort. Trotz Notfallmanagementmassnahmen konnten bei vier Reaktorblöcken schwere Schäden nicht vermieden werden. Es kam zu erheblichen Freisetzungen von Radioaktivität in die Umwelt. Die Bevölkerung wurde weiträumig evakuiert.

Nach jedem bedeutenden Ereignis in einem Kernkraftwerk muss die Frage der Übertragbarkeit auf die Schweiz sorgfältig geprüft werden. In erster Linie muss untersucht werden, ob unmittelbare und mittelfristige Massnahmen in der Schweiz getroffen werden müssen. Das ENSI hat dazu eine interne Task-Force eingesetzt.

Aufgrund des heutigen Kenntnisstands zu den Unfallursachen in Japan konzentrieren sich die Untersuchungen in der Schweiz auf die Gefährdungsannahmen für Erdbeben und Hochwasser, auf die Verfügbarkeit von Strom und Kühlwasser bei Extremereignissen sowie auf das Notfallmanagement.

Der Unfallablauf in Fukushima ist technisch gut nachvollziehbar; es sind keine unerwarteten Phänomene aufgetreten. In den letzten Jahren ist die Gefährdung durch Naturereignisse in der Schweiz nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen neu beurteilt worden. Sie liegt auf einem im weltweiten Vergleich niedrigen bis mittleren Niveau. Extremereignisse, die mit der Situation in Fukushima vergleichbar sind, treten in der Schweiz sehr selten auf. Die Sicherheit der Kernkraftwerke in der Schweiz wird durch die neuen Erkenntnisse aus Japan nicht grundsätzlich in Frage gestellt.

Deshalb ist die ENSI-Task-Force in einem ersten Abklärungsschritt zum Schluss gekommen, dass keine unmittelbare Gefahr für die Schweizer Bevölkerung droht und daher keines der Schweizer Kernkraftwerke vorsorglich abgeschaltet werden muss.

Nach bedeutenden Ereignissen, die auf der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES der Stufe 2 oder höher zugeordnet sind, muss die Erreichung der Ausserbetriebnahmekriterien überprüft werden. Das ENSI hat diese Überprüfung am 18. März 2011 angeordnet. Dabei ist insbesondere die sicherheitstechnische Beherrschung der Kombination von Erdbeben und erdbebenbedingtem Hochwasser, die besonders grosse Anforderungen stellen kann, nachzuweisen. Insgesamt werden von den Betreibern drei Nachweise gefordert, die gestaffelt einzureichen sind:

- Nachweis der Beherrschung des 10 000-jährlichen Erdbebens bis zum 31. März 2012
- Nachweis der Beherrschung des 10 000-jährlichen Hochwassers bis zum 30. Juni 2011
- Nachweis der Beherrschung der Kombination von Erdbeben und erdbebenbedingtem Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks bis zum 31. März 2012

Falls die Betreiber bis zu diesen Daten nicht nachweisen können, dass ein Schadensfall mit erhöhter Strahlenbelastung ausgeschlossen werden kann, wird das ENSI die vorläufige Ausserbetriebnahme



des entsprechenden Kraftwerks anordnen. Allfällige Nachrüstmassnahmen sind umzusetzen, während das Kernkraftwerk abgeschaltet ist.

Auch wenn keine unmittelbare Gefahr droht und die Ausserbetriebnahmekriterien nicht erreicht werden, muss das Ereignis bezüglich der Auswirkungen auf die Sicherheit bewertet werden. Im Rahmen dieser Ereignisanalyse sind die nötigen Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit abzuleiten und umzusetzen. Diese Arbeiten werden voraussichtlich mehrere Jahre dauern und können vorgenommen werden, während das Kernkraftwerk in Betrieb ist.

Wir befinden uns zurzeit in einem sehr frühen Stadium der Ereignisanalyse. Erste Sofortmassnahmen im Bereich Notfallmanagement wurden vom ENSI bereits angeordnet. Insbesondere muss zur Bekämpfung von schweren Unfällen jedes Kernkraftwerk bis zum 1. Juni 2011 Zugang zu einem externen Lager haben, in dem zusätzliche Sicherheitsausrüstungen bereitstehen.

Darüberhinaus hat das ENSI die Bewilligungsinhaber aufgefordert, die Kühlwasserversorgung sowie den Schutz und die Kühlung der Brennelementbecken aufgrund der Erkenntnisse von Fukushima bis zum 31. März 2011 neu zu überprüfen.

Das ENSI hat die termingerecht eingereichten Berichte inzwischen überprüft und Schwachstellen identifiziert, insbesondere im Bereich der Kühlung der Brennelementbecken in Notsituationen. Eine vorläufige Ausserbetriebnahme ist deshalb aber nicht nötig.

In einer neuen Verfügung, die den Bewilligungsinhabern am 5. Mai 2011 zugestellt wird, verlangt das ENSI Massnahmenvorschläge zur Behebung der identifizierten Schwachstellen sowie zusätzliche Nachweise zur Erdbeben- und Hochwassersicherheit der Brennelementbecken und zum Schutz der Brennelementbecken vor Wasserstoffexplosionen.

Die Anordnungen des ENSI umfassen somit eine Reihe von zeitlich gestaffelten Untersuchungen und Massnahmen. Die wichtigsten Termine sind der 30. Juni 2011 und der 31. März 2012. Zu diesen Daten sind die Nachweise zu den Ausserbetriebnahmekriterien einzureichen, die für den Weiterbetrieb der Kernkraftwerke entscheidend sind.

Parallel zu den laufenden Arbeiten in der Schweiz finden weitere Überprüfungen statt, die es erlauben werden, die Ergebnisse des ENSI zu vergleichen resp. einer unabhängigen Prüfung zu unterziehen. Dazu gehören der freiwillige EU-Stresstest, der auch für die Schweizer Kernkraftwerke durchgeführt werden wird, sowie die im November 2011 stattfindende IAEA-Überprüfungsmision, an der internationale Experten die Aufsichtspraxis des ENSI untersuchen werden. Zudem bietet sich die Einholung einer Zweitmeinung der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) zu wichtigen ENSI-Entscheiden an.

Die Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima haben bisher keinen grundsätzlichen Änderungsbedarf an den schweizerischen gesetzlichen Grundlagen aufgezeigt. Fukushima hat aber Fragen organisatorischer und planungstechnischer Art zu den schweizerischen Notfallschutzkonzepten aufgeworfen. In Fukushima dauert die Evakuierung bereits mehr als einen Monat an. Eine derart lange Evakuierungszeit könnte bei einem Aufenthalt in Schutzräumen, wie er in der Schweiz heute vorgesehen ist, kaum durchgesetzt werden. Die Planungs- und Umsetzungsarbeiten zu der neu gesetzlich vorgesehenen vorsorglichen Evakuierung sollten deshalb mit Priorität vorangetrieben werden.

Aufgrund der beobachteten Schwierigkeiten der japanischen Betriebsmannschaft empfiehlt das ENSI den zuständigen Bundesbehörden dafür zu sorgen, dass bei schweren Unfällen künftig spezialisierte Einheiten mit ihrem Personal und Material schnell zur Unterstützung der Betriebsmannschaft beigezogen werden können.

2 Interpretation des Unfallablaufs

Am 11. März 2011 ereignete sich an der Nordostküste Japans das stärkste in der Geschichte Japans bekannte Erdbeben. Insgesamt 14 Reaktorblöcke an vier Standorten waren direkt vom Beben betroffen. Die elf zum Zeitpunkt des Bebens laufenden Reaktoren schalteten automatisch ab. Alle Reaktorblöcke haben die direkten Einwirkungen des Erdbebens nach heutigem Informationsstand gut überstanden. Das Beben hat die Infrastruktur ausserhalb der Kernkraftwerke schwer beschädigt. Insbesondere zerstörte das Beben Hochspannungsleitungen, wodurch das Stromnetz weiträumig zusammenbrach.

Auch ein abgeschalteter Reaktor muss wegen der immer noch produzierten Nachwärme weiter gekühlt werden. Dafür werden Strom und Kühlwasser benötigt. Weil das externe Stromnetz ausgefallen war, wurden bei allen betroffenen Kernkraftwerken die für diesen Fall vorgesehenen Notstromdieselmotoren erfolgreich gestartet.

Rund eine Stunde nach dem Beben erreichte der Tsunami die Küste. Besonders betroffen war die Region um Fukushima mit den Kernkraftwerkstandorten Fukushima Daiichi und Fukushima Daini. Diese Kernkraftwerke waren für Tsunamis mit Wellenhöhen von rund 6 m ausgelegt. Der eintreffende Tsunami hatte eine Wellenhöhe von rund 14 m und überflutete beide Kernkraftwerksgelände.

Der für japanische Verhältnisse mittelstarke Tsunami hat am Standort Fukushima Daiichi eine Vielzahl von Hilfsanlagen, Wasserfassungen, Rohrleitungen etc. auf dem Kraftwerksgelände zerstört. Dadurch versagten die Notstromversorgung und die Kühlwasserversorgung für alle sechs Reaktorblöcke auf dem Gelände. Drei dieser Reaktorblöcke waren zum Zeitpunkt des Bebens in Betrieb, drei waren im Revisionsstillstand. Der Standort Fukushima Daini liegt etwas höher, weshalb dort nur die Kühlwasserversorgung ausfiel, die Notstromversorgung aber erhalten blieb.

Obwohl das Kernkraftwerk Fukushima Daini von einem Extremereignis betroffen war, das die Anlagenauslegung deutlich übertraf, konnte die Betriebsmannschaft die vier Reaktoren mit Notfallschutzmassnahmen drei Tage lang ohne externes Kühlwasser stabil halten, bis die Pumpen der Meerwasserfassungen repariert waren.

Am Standort Fukushima Daiichi gelang das nicht. Dort war wie erwähnt zusätzlich zur Kühlwasserversorgung auch die Notstromversorgung ausgefallen. Für diesen Fall verfügten die beiden neueren Reaktorblöcke 2 und 3 noch über eine dampfgetriebene Notkühlpumpe und konnten so während 14 bzw. 21 Stunden gekühlt werden, bis die Batterien leer waren und deshalb keine Steuerung mehr möglich war. Der älteste Block 1 verfügte über keine dampfgetriebene Notkühlpumpe und konnte bereits eine Stunde nach Eintreffen des Tsunami nicht mehr gekühlt werden.

Ohne Kühlung verdampfte das Wasser im Reaktor, der Wasserstand sank und die Brennelemente heizten sich immer stärker auf. Ab einer Temperatur von rund 1200°C reagierte das Hüllrohrmaterial der Brennelemente mit dem Wasserdampf. Bei der Reaktion wurde Wasserstoff und zusätzliche Wärme produziert. Die Hüllrohre wurden stark beschädigt. Die Brennelemente brachen auseinander und schmolzen vermutlich auch teilweise. Dabei trat sehr viel Radioaktivität aus.

Das verdampfende Wasser und der produzierte Wasserstoff führten zu einem starken Druckanstieg im Containment, einer den Reaktor umschliessenden Sicherheitshülle. Um weitere Schäden zu vermeiden, wurde die stark radioaktive Mischung aus Dampf, Stickstoff und Wasserstoff über Ventile ins Reaktorgebäude geleitet. Der Wasserstoff in den Reaktorgebäuden explodierte und zerstörte die obere Dachkonstruktionen der Blöcke 1 und 3 sowie das Containment von Block 2.

Die in den Reaktorgebäuden befindliche Radioaktivität konnte somit in die Umgebung gelangen. Weitere Radioaktivität gelangte in die Umgebung, als am 15. März 2011 die Brennelementbecken der Reaktorblöcke 3 und 4 aufgrund ungenügender Wasserzufuhr zu sieden begannen und Schäden an den dort gelagerten Brennelementen auftraten.

Die Bevölkerung innerhalb eines Umkreises von 20 km um das Kernkraftwerk wurde sehr frühzeitig und professionell evakuiert. Für den Umkreis bis 30 km wurden Jodprophylaxe und Aufenthalt im Haus angeordnet. Aufgrund der frühzeitigen Umsetzung der Schutzmassnahmen, bevor Radioaktivität aus dem Kernkraftwerk austrat, konnten unmittelbare Schäden für die Bevölkerung vermieden werden.

Aus technischer Sicht sind beim Unfallablauf in Fukushima keine überraschenden Phänomene aufgetreten. Aufgrund einer ersten Analyse werden bei den betroffenen Reaktorblöcken folgende Schwächen in der Auslegung vermutet:

- Es fehlen gebunkerte, hochwassersichere Notstandssysteme.
- Es fehlt eine diversitäre Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme.
- Die Brennelementbecken waren nur ungenügend gegen interne und externe Einwirkungen geschützt.
- Die Brennelementbeckenkühlung ist keine besonders geschützte Sicherheitsfunktion.
- Die Containmentdruckentlastung erfolgte ins Innere des Reaktorgebäudes.

Zum japanischen Notfallmanagement bestehen viele offene Fragen. Es ist davon auszugehen, dass die Infrastruktur ausserhalb des Kraftwerks schwer beschädigt und die Zugänglichkeit inner- und ausserhalb des Areals stark erschwert war. Trotzdem ist es schwer erklärbar, warum es so lange dauerte, bis die Notstromversorgung bzw. die Kühlung wiederhergestellt werden konnten. Wäre es gelungen, in nützlicher Zeit mobile Dieselgeneratoren und mobile Pumpen anzuschliessen, hätte zumindest bei den Reaktorblöcken 2 und 3 die Möglichkeit bestanden, einen Kernschaden zu vermeiden. Noch unverständlicher ist, dass es innerhalb der ersten drei Tage nicht möglich war, Wasser in die Brennelementbecken einzuspeisen und so das Sieden und die Radioaktivitätsfreisetzung bei den Becken der Blöcke 3 und 4 zu verhindern.

Die externe Unterstützung der Betriebsmannschaft war ebenfalls ungenügend. Gemäss den verfügbaren Informationen war die Betriebsmannschaft während mehrerer Tage ganz auf sich allein gestellt und mit der Situation überfordert. Erst mit grosser Verzögerung ist eine Unterstützung durch die japanische Armee und die Feuerwehr von Tokio mit schweren Mitteln angelaufen.

Der Unfall von Fukushima wirft auch Fragen zu den in Japan geltenden gesetzlichen Sicherheitsanforderungen auf. Nach dem Erdbeben von Kashiwasaki Kariwa vom 16. Juli 2007 sind nun weniger als vier Jahre später erneut japanische Kernkraftwerke von einem auslegungsüberschreitenden Erdbeben getroffen worden. In den letzten 500 Jahren war Japan zudem von 19 Tsunamis betroffen, welche die Auslegung der Fukushima-Standorte übertrafen. Beides lässt Zweifel an den im japanischen Regelwerk vorgegebenen Gefährdungsannahmen aufkommen.

Zurzeit ist der Unfallablauf erst in groben Zügen bekannt. Genaue Angaben zur Auslegung der betroffenen Anlagen und zu den technischen Details fehlen weitgehend. Die Abklärungen werden durch die sehr zurückhaltende Informationspolitik der japanischen Stellen zusätzlich erschwert. Aufgrund des heutigen Kenntnisstands über den Unfallablauf ergeben sich aus Sicht des ENSI für in Betrieb stehende Kernkraftwerke folgende Fragen:

- **Gefährdungsannahmen:** Sind die den Sicherheitsnachweisen zugrunde gelegten Gefährdungsannahmen für Erdbeben und Hochwasser nach wie vor korrekt? Wurden insbesondere die möglichen Folgeschäden adäquat berücksichtigt?
- **Externe Ereignisse:** Genügen die heute gegen externe Ereignisse geforderten Schutzmassnahmen? Sind die Systeme zur Versorgung des Reaktors und der Brennelementbecken mit Strom und Kühlwasser ausreichend vor externen Ereignissen geschützt?

- **Schwere Unfälle:** Genügen die Schutzmassnahmen gegen schwere auslegungsüberschreitende Störfälle? Kann die Verfügbarkeit von Strom und Kühlwasser insbesondere bei lange andauernden Störfällen verbessert werden?
- **Notfallmanagement:** Sind angemessene Notfallmanagementmassnahmen, insbesondere bei lange andauernden Störfällen, vorbereitet? Ist auch bei erschwerter Zugänglichkeit eine externe Unterstützung der Betriebsmannschaft gewährleistet?

3 Übertragbarkeit auf die Schweiz

Nach jedem bedeutenden Ereignis in einer Kernanlage stellt sich die Frage der Übertragbarkeit auf die schweizerische Situation und der notwendigen Lehren, die daraus abzuleiten sind. Das ENSI hat zur Klärung dieser Fragen eine interne Task-Force eingesetzt. Die Arbeiten befinden sich zurzeit in einem sehr frühen Stadium. Der Unfallablauf muss im Rahmen von umfangreichen Untersuchungen detailliert aufgeklärt werden. Das ENSI wird sich auch in den entsprechenden internationalen Untersuchungsgremien aktiv engagieren.

Bei der Analyse von Ereignissen im Ausland und der Ableitung von Massnahmen für die Schweiz ist gemäss der geltenden Rechtslage ein in Abhängigkeit der Gefährdungslage abgestuftes Vorgehen in drei Schritten massgebend. Dabei sind drei Fragen zu beantworten:

1. Droht eine unmittelbare Gefahr?
2. Ist eines der Kriterien erfüllt, die eine vorläufige Ausserbetriebnahme nötig machen?
3. Sind Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit notwendig?

Im ersten Schritt ist abzuklären, ob eine *unmittelbare Gefahr* vorliegt. Unmittelbare Gefahr bezeichnet eine Situation, die bei ungehindertem Ablauf mit hoher Wahrscheinlichkeit in naher Zukunft zu einem Schaden führt. Droht eine solche Gefahr, kann das ENSI gestützt auf Art. 72 Abs. 3 des Kernenergiegesetzes (KEG, SR 732.1) umgehend Massnahmen anordnen, die von der erteilten Bewilligung abweichen. Das ENSI kann insbesondere die umgehende Ausserbetriebnahme anordnen. Die notwendigen Analysen und allfällige Nachrüstmassnahmen sind umzusetzen, während das Kernkraftwerk abgeschaltet ist.

Nach bedeutenden Ereignissen, die auf der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES der Stufe 2 oder höher zugeordnet sind, muss in einem zweiten Schritt die Erreichung der *Ausserbetriebnahmekriterien* überprüft werden. Der Bewilligungsinhaber muss nach Art. 2 Abs. 1 Bst. c der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken („Ausserbetriebnahmeverordnung“, SR 732.114.5) die Auslegung seines Kernkraftwerks im Hinblick auf die Kernkühlbarkeit bei Störfällen, die Integrität des Primärkreislaufs und die Integrität des Containments untersuchen. Während der dafür nötigen Analysen kann das Kernkraftwerk weiter betrieben werden. Die Ausserbetriebnahme erfolgt, wenn die Analysen zeigen, dass die Dosisgrenzwerte nach Art. 94 Abs. 3–5 und Art. 96 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung nicht eingehalten werden. Allfällige Nachrüstmassnahmen sind umzusetzen, während das Kernkraftwerk abgeschaltet ist.

Auch wenn keine unmittelbare Gefahr droht und die Ausserbetriebnahmekriterien nicht erreicht werden, muss das Ereignis gemäss Art. 33 Abs. 1 Bst. a der Kernenergieverordnung (KEV, SR 732.11) bezüglich der Auswirkungen auf die Sicherheit und insbesondere auf das Risiko bewertet werden. Im Rahmen dieser *Ereignisanalyse* sind die nötigen *Massnahmen* zur Gewährleistung bzw. Erhöhung der Sicherheit abzuleiten. Sowohl die Ereignisanalyse als auch die Umsetzung der daraus abgeleiteten Massnahmen können im vorliegenden Fall vorgenommen werden, während das Kernkraftwerk in Betrieb ist.

In den folgenden Kapiteln werden diese drei Vorgehensstufen näher erläutert.

4 Überprüfung auf unmittelbare Gefahr

Der Unfallverlauf in Fukushima kann aufgrund der durch den Tsunami verursachten Zerstörungen an den Hilfsanlagen auf dem Kraftwerksareal gut nachvollzogen werden. Aus technischer Sicht sind keine unerwarteten Phänomene aufgetreten. Die Überprüfung auf unmittelbare Gefahr reduziert sich deshalb auf die Frage, ob die Gefährdungen durch Naturereignisse in der Schweiz aufgrund der Erkenntnisse in Fukushima grundsätzlich neu eingeschätzt werden müssen.

Die Schweiz ist kein klassisches Erdbebengebiet. Ein Extremerdbeben mit Tsunami, wie es in Japan aufgetreten ist, kann für die Schweiz ausgeschlossen werden. Im Unterschied zu Japan liegen für die Schweiz zudem aktuelle Neubeurteilungen der Gefährdungen durch Erdbeben und Hochwasser aufgrund der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse vor. Dabei hat sich gezeigt, dass die Erdbebengefährdung in der Vergangenheit unterschätzt wurde. Zudem liegen die neu ermittelten Hochwasserhöchstpegel teilweise etwas höher als die in der Vergangenheit bestimmten Werte. Trotzdem liegen auch die neu bestimmten Gefährdungen auf einem im weltweiten Vergleich niedrigen bis mittleren Niveau.

Alle Kernkraftwerke in der Schweiz haben aufgrund dieser neuen Erkenntnisse ihre probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) unter Berücksichtigung der neuen Erdbebengefährdungen überarbeitet und beim ENSI eingereicht. Neben Erdbeben sind auch weitere externe Ereignisse wie Überflutung, Extremwinde und Flugzeugabsturz in den probabilistischen Sicherheitsanalysen berücksichtigt. Die PSA-Studien zeigen, dass das Kriterium der IAEA zur Kernschadenshäufigkeit von allen Werken eingehalten wird.

Aufgrund der Tatsache, dass in der Schweiz aktuelle, nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen erstellte Gefährdungsbeurteilungen vorliegen und die PSA-Studien zeigen, dass das IAEA-Kriterium deutlich eingehalten wird, kommt das ENSI zum Schluss, dass die Sicherheit der bestehenden Kernkraftwerke durch die neuen Erkenntnisse aus Japan nicht grundsätzlich in Frage gestellt wird. Eine unmittelbare Gefahr besteht nicht, insbesondere weil die angesprochenen Extremereignisse sehr selten auftreten.

5 Überprüfung der Ausserbetriebnahmekriterien

Art. 2 Abs. 1 Bst. c der „Ausserbetriebnahmeverordnung“ (SR 732.114.5) fordert, dass die Auslegung der schweizerischen Kernkraftwerke unverzüglich zu überprüfen ist, wenn in einem in- oder ausländischen Kernkraftwerk ein Ereignis eingetreten ist, das nach der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES in der Stufe 2 oder höher eingereicht wurde.

Der Unfall in Fukushima wurde von den japanischen Behörden auf der INES-Stufe 7 eingereicht. Das ENSI hat bereits am 18. März 2011 eine Überprüfung der Auswirkungen von Erdbeben und Hochwasser angeordnet und am 1. April 2011 die Vorgehensweise und die bei der Überprüfung zu beachtenden Randbedingungen, insbesondere bezüglich der zu berücksichtigenden Folgeschäden durch externe Extremereignisse, vorgegeben. Insgesamt werden von den Betreibern drei Nachweise gefordert, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

5.1 Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben

Wie erwähnt, kann in der Schweiz auf eine aktuelle Neubeurteilung der Erdbebengefährdung zurückgegriffen werden. Die im Rahmen des Projekts PEGASOS verwendete Methodik genügt den höchsten wissenschaftlichen Ansprüchen und ist weltweit führend. Die Resultate von PEGASOS wurden vom ENSI überprüft und 2007 publiziert.

In einer zweiten Projektphase werden nun die PEGASOS-Resultate verfeinert und die Standorteigenschaften der Kernkraftwerke detaillierter untersucht. Die Resultate des Folgeprojekts „PEGASOS Refinement Project (PRP)“ werden voraussichtlich 2012 vorliegen.

Da die endgültigen PRP-Ergebnisse heute noch nicht vorliegen, muss sich die neue Auslegungsüberprüfung auf aktuelle Zwischenresultate zur Erdbebengefährdung abstützen. Dabei sind die bei den japanischen Beben gewonnenen neuen Erkenntnisse zum Verhalten der Gebäude und Einbauten ebenfalls zu berücksichtigen.

Um die Sicherheit möglichst zeitnah beurteilen zu können, sind die überarbeiteten Sicherheitsnachweise gestaffelt einzureichen. Bis zum 30. November 2011 sind die Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für die zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Erdbebens relevanten Ausrüstungen einzureichen. Der deterministische Nachweis der Beherrschung des 10 000-jährlichen Erdbebens ist mit Hilfe der neu bestimmten Erdbebenfestigkeitsnachweise bis zum 31. März 2012 neu zu führen.

Nach Abschluss des Projekts PRP und der darauffolgenden Überprüfung der Ergebnisse durch das ENSI wird das ENSI die Erdbebengefährdung neu festlegen. Auf dieser Grundlage werden die seismischen Gefährdungsannahmen erneut zu analysieren und die Erdbebenfestigkeitsnachweise zu aktualisieren sein.

5.2 Überprüfung der Auslegung bezüglich Hochwasser

Der auf das Erdbeben folgende Tsunami hat in Fukushima Daiichi vermutlich sämtliche Hilfsanlagen, Wasserfassungen, Rohrleitungen etc. auf dem Kraftwerksgelände zerstört oder unverfügbar gemacht. Der grosse Umfang der hochwasserbedingten Zerstörungen war bei der Auslegung des Kernkraftwerks nicht berücksichtigt worden und weist darauf hin, dass die Gefährdung durch Extremhochwasser neu beurteilt werden muss.

Auch in der Schweiz können extreme Hochwasser, z. B. als Folge des Versagens von Stauanlagen, nicht ausgeschlossen werden. Für die Rahmenbewilligungsgesuche für neue KKW wurde für die Standorte Beznau, Gösgen und Mühleberg die Hochwassergefährdung nach modernen Methoden neu bestimmt. Die Folgeschäden von Hochwasser wie Verstopfung oder Zerstörung von Einlaufbauwerken durch mitgeführtes Geschiebe und Schwemmgut wurden in diesem Zusammenhang jedoch nicht detailliert untersucht.

Der deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Hochwassers ist durch die Kraftwerksbetreiber basierend auf den für die Rahmenbewilligungsgesuche neu bestimmten Hochwassergefährdungen bis zum 30. Juni 2011 zu führen. Dabei sind die Erkenntnisse aus Fukushima, insbesondere die Folgeschäden des Hochwassers, im Detail zu berücksichtigen.

5.3 Überprüfung der Auslegung bezüglich der Kombination von Erdbeben und Hochwasser

Die Kombination von Erdbeben und Hochwasser stellt, wie die Ereignisse in Japan gezeigt haben, besonders grosse Anforderungen. Die Infrastruktur ausserhalb des Kraftwerks wurde durch das Beben und den Tsunami schwer beschädigt. Die Zugänglichkeit innerhalb und ausserhalb des Areals war dadurch stark erschwert, was Notfallschutzmassnahmen zusätzlich behinderte.

Das Projekt PEGASOS hat gezeigt, dass die bisher für die Erdbebensicherheitsnachweise der Stauanlagen verwendeten Gefährdungsannahmen zu niedrig waren. Um die Kombination von Erdbeben mit einem durch das Erdbeben ausgelösten Versagen der Stauanlagen ausschliessen zu können, sind die deterministischen Erdbebennachweise für die Stauanlagen im Einflussbereich der schweizerischen Kernkraftwerke aufgrund von aktuellen Erdbebengefährdungsannahmen bis zum 31. März 2012 zu überarbeiten.

Falls bei einem 10 000-jährlichen Erdbeben ein unkontrollierter Wasserabfluss nicht ausgeschlossen werden kann, ist der deterministische Nachweis für die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks zu führen. Dabei ist das instantane, vollständige Versagen der Stauanlagen und der Ausfall aller von der Flutwelle betroffenen Kühlwasserfassungen zu unterstellen.

6 Ereignisanalyse und Ableitung von Massnahmen

Bis heute sind nur wenige technische Details zum Unfallablauf in Japan bekannt. Die technische Ereignisanalyse muss sich deshalb zum heutigen Zeitpunkt auf vom konkreten Unfallablauf unabhängige Aspekte konzentrieren.

Im Folgenden wird das Vorgehen bei den Nachrüstmassnahmen bezüglich der Einwirkungen von Erdbeben und Hochwasser auf die Anlage sowie der Auswirkungen von redundanzübergreifenden Fehlern (gemeinsam verursachte Ausfälle) auf die Strom- und Kühlwasserversorgung dargelegt. Zudem werden die bereits angeordneten Sofortmassnahmen im Bereich des Notfallschutzmanagements vorgestellt.

Die unten stehenden Ausführungen bilden den heutigen, vorläufigen Stand der Abklärungen ab. Es ist davon auszugehen, dass mit fortschreitender Analyse des Unfallablaufs weitere und spezifischere Erkenntnisse und Massnahmen hinzukommen werden.

6.1 Nachrüstmassnahmen

Die Schweiz betreibt zwei Siedewasserreaktoren, die in ähnlicher Bauart auch in Fukushima in Betrieb waren. Sie sind jedoch nicht baugleich und unterscheiden sich namentlich bezüglich Reaktorleistung, Containmentaufbau und Schutz der Sicherheitssysteme. Die schweizerischen Kernkraftwerke wurden in den letzten 20 Jahren laufend verbessert. Sie verfügen über speziell verstärkte Notstandssysteme, welche die Sicherheit auch bei seltenen Extremereignissen gewährleisten können. Zudem wurde in allen schweizerischen Kernanlagen – neben einer Reihe von anderen Verbesserungsmassnahmen – ein System zur gefilterten Containmentdruckentlastung nachgerüstet. Dank dieser Nachrüstung erfolgt eine allfällige Druckentlastung in der Schweiz gefiltert über den Kamin und nicht ins Innere des Reaktorgebäudes. Dadurch kann sich im Unterschied zu Fukushima kein Knallgas im Reaktorgebäude sammeln und explodieren.

Dennoch hat der Unfall in Fukushima auch Fragen zur Auslegung der schweizerischen Kernkraftwerke aufgeworfen. Am 18. März 2011 hat das ENSI die Bewilligungsinhaber aufgefordert, folgende Aspekte der Auslegung bis zum 31. März 2011 neu zu überprüfen:

- Ist die Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme aus einer diversitären, erdbeben-, hochwasser- und verunreinigungssicheren Quelle gewährleistet (Zusatzversorgung über Grundwasserbrunnen)?
- Sind allfällige ausserhalb des Primärcontainments befindliche Brennelementbecken genügend gegen externe und interne Einwirkungen geschützt?
- Ist die Brennelementbeckenkühlung eine besonders geschützte Sicherheitsfunktion und kann sie über das gebunkerte Notstandssystem versorgt und gesteuert werden?

Bis zum 31. August 2011 müssen die Bewilligungsinhaber anschliessend darlegen, welche Verbesserungsmassnahmen zur Behebung der identifizierten Schwachstellen vorgesehen werden.

Das ENSI hat die termingerecht eingereichten Berichte überprüft und die folgenden Schwachstellen identifiziert:

- KKW Beznau: Das Erdbebenverhalten des Brennelementlagergebäudes ist verbesserungsbedürftig. Die Brennelementbeckenkühlung ist nicht genügend vor Erdbeben und Überflutung geschützt. Die Abstützung auf vor Ort durchzuführende Handmassnahmen ist vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus Japan nicht ausreichend. Die Notfallmassnahmen zur Wiederherstellung der Kühlung nach Erdbeben oder Überflutung sind unvollständig.
- KKW Gösgen: Der Füllstand und die Temperatur des Brennelementbeckens werden im Hauptkommandoraum angezeigt, nicht aber im Notstandleitstand.
- KKW Leibstadt: Der Füllstand und die Temperatur des Brennelementbeckens werden im Hauptkommandoraum angezeigt, aber nicht störfallfest. Im Notstandleitstand werden diese Messwerte nicht angezeigt.
- KKW Mühleberg: Die Kühlmittelversorgung für das Notstandsystem weist keine Alternative zur Kühlwasserentnahme aus der Aare auf. Die Brennelementbeckenkühlung ist nicht genügend vor Erdbeben und Überflutung geschützt. Die Notfallmassnahmen zur Wiederherstellung der Kühlung nach Erdbeben oder Überflutung sind unvollständig.

Diese festgestellten Mängel stellen keine unmittelbare Gefahr für die Bevölkerung dar und erfordern deshalb keine vorläufige Ausserbetriebnahme. Bis zum 31. August 2011 sind jedoch Verbesserungsmaßnahmen zur Behebung dieser Schwachstellen beim ENSI einzureichen.

Das ENSI verlangt von allen Kernkraftwerken Massnahmenvorschläge zur Behebung der genannten Schwachstellen sowie zusätzliche Nachweise zur Erdbeben- und Hochwassersicherheit der Brennelementbecken und zum Schutz der Brennelementbecken vor Wasserstoffexplosionen.

Eine Verfügung mit entsprechenden Forderungen wurde den Bewilligungsinhabern am 5. Mai 2011 zugestellt.

6.2 Notfallmanagement

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Unfall von Fukushima ist, dass eine weiträumig zerstörte Infrastruktur die Notfallmassnahmen der Betriebsmannschaft stark behindern kann. Auch in der Schweiz sind z.B. aufgrund einer Kombination von Erdbeben und Hochwasser solche Umstände nicht gänzlich auszuschliessen. Um in solchen Fällen die Einsatzbereitschaft von externen mobilen Notfallschutzmitteln wie Notstromaggregaten, Pumpen, Werkzeugen und Borierungsmitteln sicherzustellen, hat das ENSI am 18. März 2011 gestützt auf Art. 72 Abs. 2 KEG folgende Massnahmen verfügt:

- Zur Bekämpfung von schweren Unfällen muss jedes Kernkraftwerk bis zum 1. Juni 2011 Zugang zu einem externen Lager haben, in dem erdbeben- und überflutungssicher zusätzliche Sicherheitsausrüstungen bereitstehen. Der Standort der externen Lager soll so gewählt werden, dass die gelagerten Ausrüstungen trotz der an den KKW-Standorten zu berücksichtigenden Ereignisse einsatz- und transportfähig bleiben. Die Ausrüstungen müssen mit in der Schweiz verfügbaren Helikoptern transportierbar sein.
- Bei allen schweizerischen Kernkraftwerken sind die entsprechenden externen Anschlüsse für die mobilen Sicherheitseinrichtungen soweit nötig bis zum 31. Dezember 2012 nachzurüsten bzw. anzupassen.
- Wo nicht vorhanden, sind bis zum 31. Dezember 2012 zwei räumlich getrennte Zuführungen zur externen Bespeisung der Brennelementbecken nachzurüsten.

Es ist geplant, weitergehende Untersuchungen bezüglich der Berücksichtigung von Einschränkungen der Personalverfügbarkeit bei lange andauernden Unfallabläufen, Nichtzugänglichkeit aufgrund von Zerstörungen, Explosionsgefahr oder hohem Strahlenpegel anzuordnen, sobald detailliertere Informationen zum Unfallablauf bekannt sind.

7 Weiteres Vorgehen

Wie dargelegt, hat das ENSI bereits eine Reihe von Untersuchungen und Massnahmen angeordnet. Die entsprechenden Unterlagen sind gestaffelt über den Zeitraum bis Ende 2012 einzureichen. Es ist davon auszugehen, dass das ENSI aufgrund der Prüfung der eingereichten Unterlagen sowie als Folge der Ergebnisse der Ereignisanalyse weitere Forderungen stellen wird. Bis der Unfall von Fukushima vollständig aufgearbeitet ist und alle Nachrüstmassnahmen umgesetzt sind, werden voraussichtlich mehrere Jahre vergehen.

Die wichtigsten Termine sind der 30. Juni 2011 und der 31. März 2012. Dann sind die Ergebnisse der Ausserbetriebnahmenachweise einzureichen, die für den Weiterbetrieb der Kernkraftwerke entscheidend sind.

Im Rahmen der politischen Diskussion über die Weiterführung der Kernenergie wird von verschiedenen Seiten versucht, die Glaubwürdigkeit, Kompetenz und Unabhängigkeit des ENSI in Frage zu stellen. Das Vertrauen der Öffentlichkeit in die gewissenhafte Arbeitsweise des ENSI ist eine Grundvoraussetzung, damit das ENSI seine Funktion als unabhängige Aufsichtsbehörde und Treuhänderin der Sicherheit vollumfänglich wahrnehmen kann.

Um das Vertrauen der Öffentlichkeit zu wahren, legt das ENSI bei der Aufarbeitung des Unfalls von Fukushima grossen Wert auf Transparenz und offene Information. Es informiert laufend über die getroffenen Anordnungen und die anstehenden Termine. Zusätzlich sollen die Schlussfolgerungen und Forderungen des ENSI einer unabhängigen Überprüfung unterzogen und das Resultat dieser Überprüfungen transparent gemacht werden. Dazu bieten sich heute drei Instrumente an:

- **EU-Stresstest:** Die EU wird alle Kernkraftwerke aufgrund der Erkenntnisse in Japan einer einheitlichen Überprüfung unterziehen. Die entsprechenden Kriterien werden zurzeit vorbereitet und sollen bis Ende Mai von der Europäischen Kommission verabschiedet werden. Der sog. Stresstest wird durch die nationalen Aufsichtsbehörden angeordnet. Die Resultate werden von den nationalen Aufsichtsbehörden überprüft und anschliessend einem Peer Review unterzogen. Das ENSI wird die Schweizer KKW-Betreiber verpflichten, den freiwilligen EU-Stesstest für ihre Anlagen durchzuführen. Damit wird es möglich sein, das Sicherheitsniveau der schweizerischen Kernkraftwerke im internationalen Vergleich zu messen.
- **IAEA-Überprüfungsmision:** In der Schweiz wird vom 21. November bis 2. Dezember 2011 eine internationale Überprüfung durch Experten der IAEA durchgeführt. Im Rahmen dieser Mission werden die Anforderungen des schweizerischen Regelwerks und die Aufsichtspraxis des ENSI durch ein internationales Team von rund 20 Experten im Detail untersucht und falls nötig Empfehlungen ausgesprochen. Die IAEA-Mission ermöglicht somit eine unabhängige Bewertung der in der Schweiz angewandten gesetzlichen Anforderungen sowie der vom ENSI praktizierten Aufsicht.
- **Zweitmeinung zu ENSI-Entscheiden:** Die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) prüft grundsätzliche Fragen der nuklearen Sicherheit und kann sich im Rahmen von nuklearen Bewilligungsverfahren darüber aussprechen, ob die vorgesehenen Vorkehrungen zum Schutz von Mensch und Umwelt ausreichen. In der aktuellen Situation ist es sinnvoll, wichtige Entscheide des ENSI durch die Zweitmeinung der KNS abzustützen.

8 Überprüfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen

Die Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima haben bisher keinen grundsätzlichen Änderungsbedarf an den schweizerischen gesetzlichen Grundlagen im Kernenergiebereich aufgezeigt. Ein gewisser Klärungsbedarf bestand zum Vorgehen bei der Überprüfung der Ausserbetriebnahmekriterien. Das ENSI hat deshalb die Vorgehensweise sowie die bei der Überprüfung zu beachtenden Randbedin-



gungen, insbesondere bezüglich der zu berücksichtigenden Folgeschäden durch externe Extremereignisse, vorgegeben. Diese Vorgaben sollen in Zukunft auf Richtlinienstufe verankert werden.

Auch im Bereich des externen Notfallschutzes drängen sich keine Änderungen auf Stufe Gesetz oder Verordnung auf. Der Unfall von Fukushima hat aber Fragen organisatorischer und planungstechnischer Art zu den schweizerischen Notfallschutzkonzepten und zum Einbezug weiterer Bundesstellen im Katastrophenfall aufgeworfen.

Bisher haben sich die schweizerischen Notfallschutzkonzepte stark auf die vertikale Evakuierung in die bestehenden Schutzräume abgestützt. In Japan wurde die Bevölkerung innerhalb eines Umkreises von 20 km um das Kernkraftwerk sehr frühzeitig und professionell evakuiert. Für den Umkreis bis 30 km wurde die Evakuierung auf freiwilliger Basis angeordnet. Diese Massnahmen haben sich in Japan gut bewährt. Dadurch konnten Schäden für die Bevölkerung vermieden werden. Selbst heute, über einen Monat nach dem Unfall, sind weite Gebiete immer noch mit Restriktionen belegt.

Eine derart lange Evakuierungszeit könnte jedoch bei einem Aufenthalt in Schutzräumen in der Schweiz kaum durchgesetzt werden. Mit der Revision der Notfallschutzverordnung vom 1. Januar 2011 wurde neu die Möglichkeit der vorsorglichen Evakuierung auch in der Schweiz gesetzlich verankert. Die zugehörigen Planungs- und Umsetzungsarbeiten sollten aufgrund der vorliegenden Erfahrungen aus Japan zeitnah angegangen werden.

Während die externen Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung vorbildlich abgewickelt wurden, hat die externe Unterstützung der Betriebsmannschaft von Fukushima viele Fragen aufgeworfen. Gemäss den verfügbaren Informationen war die Betriebsmannschaft während mehrerer Tage ganz auf sich allein gestellt und mit der Situation überfordert. Erst mit grosser Verzögerung ist eine Unterstützung durch die Armee und weitere Stellen mit schweren Mitteln angelaufen.

Aufgrund der beobachteten Schwierigkeiten der japanischen Betriebsmannschaft empfiehlt das ENSI den zuständigen Bundesbehörden dafür zu sorgen, dass bei schweren Unfällen künftig spezialisierte Einheiten mit ihrem Personal und Material schnell zur Unterstützung der Betriebsmannschaft beigezogen werden können. Solche Einsätze müssten konkret vorbereitet und geplant werden. Es ist abzuklären, welche externen Leistungen im Katastrophenfall erbracht werden können (Einheit, Personalbedarf, Zeitdauer, einsetzbare Mittel), und ob die heutigen Verfahren geeignet sind, die Hilfe schnell genug zu aktivieren.

**Anhang: Meilensteine im Rahmen der Abklärungen zum Unfall von Fukushima**

| Datum | Typ | |
|-----------------------|---------------|--|
| 18.03.2011 | Verfügung | Erste Verfügung des ENSI mit der Anordnung der Überprüfung der Ausserbetriebnahmekriterien, der Überprüfung der Auslegung bezüglich Kühlwasserversorgung und Brennelementbecken, sowie der Umsetzung von Sofortmassnahmen im Bereich Notfallmanagement |
| 31.03.2011 | Bericht | Einreichung der Angaben zur Auslegung der Kühlwasserversorgung und Brennelementbecken durch die Betreiber |
| 01.04.2011 | Verfügung | Zweite Verfügung des ENSI zur Festlegung der Vorgehensweise bei der Überprüfung der Ausserbetriebnahmekriterien |
| 05.05.2011 | Verfügung | Dritte Verfügung des ENSI mit den Ergebnissen der Überprüfung der am 31.03.2011 von den Betreibern eingereichten Berichte und daraus abgeleiteten zusätzlichen Auflagen zu den am 31.08.2011 einzureichenden Verbesserungsmassnahmen, sowie mit der Forderung nach zusätzlichen Nachweisen zu den Brennelementbecken |
| 01.06.2011 | Umsetzung | Errichtung eines externen Lagers für Notfallschutzmittel durch die Betreiber |
| 01.06.2011 *) | Verfügung | <i>Vierte Verfügung des ENSI betreffend die Durchführung des EU-Stresstests durch die Betreiber</i> |
| 30.06.2011 | Nachweis | Einreichung der überarbeiteten Hochwassersicherheitsnachweise durch die Betreiber |
| 31.08.2011 | Stellungnahme | Stellungnahme des ENSI zu den am 30.06.2011 eingereichten Hochwassersicherheitsnachweisen |
| 31.08.2011 | Bericht | Einreichung von Verbesserungsmassnahmen in den Bereichen Kühlwasserversorgung und Brennelementbecken durch die Betreiber |
| 15.09.2011 *) | Bericht | <i>Einreichung der Antworten zum EU-Stresstest durch die Betreiber</i> |
| 31.10.2011 | Stellungnahme | Stellungnahme des ENSI zu den am 31.08.2011 eingereichten Verbesserungsmassnahmen |
| 15.11.2011 *) | Stellungnahme | <i>Stellungnahme des ENSI zu den am 15.09.2011 eingereichten Stresstestberichten der Betreiber</i> |
| 21.11.2011-02.12.2011 | Stellungnahme | Überprüfungsmission der IAEA |
| 30.11.2011 | Nachweis | Einreichung der Erdbebenfestigkeitsnachweise durch die Betreiber |
| 09.12.2011 *) | Stellungnahme | <i>Stellungnahme der ENSREG zu den nationalen EU-Stresstestergebnissen</i> |
| 31.01.2012 | Stellungnahme | Stellungnahme des ENSI zu den am 30.11.2011 eingereichten Erdbebenfestigkeitsnachweisen |
| 31.03.2012 | Nachweis | Einreichung der Erbebensicherheitsnachweise sowie der Sicherheitsnachweise für die Kombination von Erdbeben und erdbebeninduziertem Stauanlagenversagen durch die Betreiber |
| 31.05.2012 | Stellungnahme | Stellungnahme des ENSI zu den am 31.03.2012 eingereichten Erbebensicherheitsnachweisen |
| 31.12.2012 | Umsetzung | Nachrüstung von Anschlüssen für mobile externe Notfallschutzmittel |

*) Die Arbeiten im Rahmen des EU-Stresstests erscheinen in kursiver Schrift. Die genauen Daten für den Ablauf des EU-Stresstests werden voraussichtlich Ende Mai 2011 festgelegt. Die aufgeführten Termine sind deshalb als vorläufig zu betrachten.