



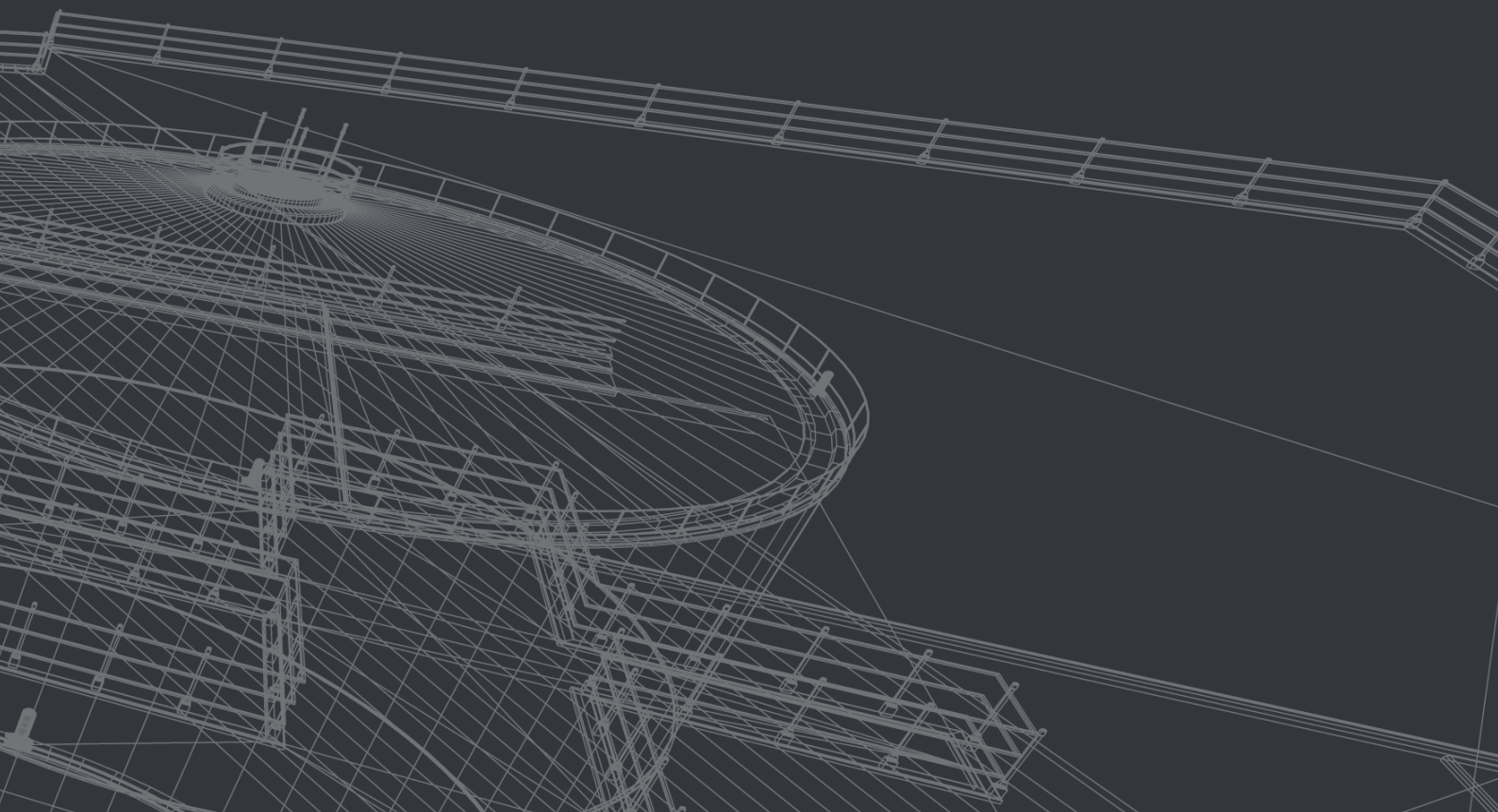
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

Schlussbericht

Aktionsplan

Fukushima



Inhalt

1.	Einleitung	2
2.	Schutz gegen naturbedingte Ereignisse	3
2.1.	Schutz gegen Erdbeben	3
2.2.	Schutz gegen externe Überflutungen	5
2.3.	Erhöhung der Sicherheitsmargen für Erdbeben und externe Überflutungen	7
2.4.	Schutz gegen extreme Wetterbedingungen	8
3.	Schutz gegen den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen	10
3.1.	Verlust der Wechselstromversorgung	10
3.2.	Verlust der ultimativen Wärmesenke	11
4.	Schutz gegen schwere Unfälle (Severe Accident Management)	12
4.1.	Einrichtung eines externen Lagers	12
4.2.	Erhalt der Containmentintegrität	13
4.3.	Einsatzstrategie der Notfallorganisationen beim Langzeiteinsatz	14
4.4.	Schadstoffausbreitung in Fliessgewässern	15
4.5.	Auswirkungen von nichtnuklearen Gefahrstoffen	18
5.	Nationales Notfallmanagement	19
5.1.	Neufestlegung von Anforderungen an Mess- und Prognosesysteme	19
5.2.	Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzeptes	20
5.3.	Umsetzung der neuen IAEA-Notfallklassierung	21
5.4.	Anforderungen an Kommunikationseinrichtungen	21
6.	Nationale Aufsicht	22
6.1.	Aufsicht in den Schweizer Kernkraftwerken im Bereich der Sicherheitskultur	22
6.2.	Reflexion der Aufsichtskultur des ENSI	23
7.	Internationale Zusammenarbeit	24
7.1.	Internationaler Erfahrungsrückfluss	24
7.2.	Internationale Aufsicht und Kooperation	24
7.3.	EU-Stresstest Follow-Up	26
8.	Zusammenfassung und weiteres Vorgehen	27
8.1.	Stand der Untersuchungen und daraus resultierender Massnahmen	27
8.2.	Vergleich des Umfangs der durchgeführten Untersuchungen mit den aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten internationalen Empfehlungen	30
8.3.	Weiteres Vorgehen	30
9.	Abkürzungen	31
10.	Referenzen	32

1. Einleitung

Unmittelbar nach den Reaktorunfällen im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Dai-Ichi am 11. März 2011 hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) Sofortmassnahmen und zusätzliche Überprüfungen der Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke verfügt. Die Sofortmassnahmen umfassten

- a) die Einrichtung eines gemeinsamen externen Notfalllagers für die Schweizer Kernkraftwerke einschliesslich der erforderlichen anlagenspezifischen Anschlüsse für Notfallausrüstungen sowie
- b) die Nachrüstung von Zuführungen zur externen Bespeisung der Brennelementlagerbecken.

Gegenstand der zusätzlichen, durch die Kraftwerksbetreiber durchzuführenden Überprüfungen war zum einen die Auslegung der Schweizer Kernkraftwerke gegen die naturbedingten Ereignisse Erdbeben und Überflutung sowie deren Kombination und zum anderen die Kühlmittelversorgung der Sicherheitssysteme zur Kühlung des Reaktorkerns und der Brennelemente in den Lagerbecken.

Zudem hat das ENSI eine vertiefte Analyse des Unfallgeschehens in Fukushima durchgeführt und sich an der von der European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) in Folge des Reaktorunfalls in Japan organisierten Überprüfung der europäischen Kernkraftwerke (EU-Stresstest) im Jahr 2011 beteiligt.

Aus den genannten Untersuchungen wurden insgesamt 43 Prüfpunkte abgeleitet. Die Abarbeitung dieser Prüfpunkte erfolgte im Rahmen des schweizerischen «Aktionsplanes Fukushima», indem diese zu 20 Untersuchungsschwerpunkten zusammengefasst wurden. Das ENSI hat in den Jahren 2012 bis 2015 jeweils einen Bericht zum Stand der Bearbeitung der Untersuchungsschwerpunkte veröffentlicht. Gemäss der Übersicht in den Anhängen 1 und 2 des letzten Berichts Aktionsplan Fukushima 2015 /1/ stand noch der Abschluss von 8 Untersuchungsschwerpunkten aus. Die diesbezüglichen Untersuchungen wurden seitens ENSI in den Jahren 2015 und 2016 abschliessend durchgeführt. Sofern aus den 20 Untersuchungsschwerpunkten zusätzliche Massnahmen resultierten, wurde bzw. wird deren Umsetzung im laufenden Aufsichtsverfahren durch das ENSI weiterverfolgt.

Basierend auf den Überprüfungen im Rahmen des EU-Stresstests hat die ENSREG im Jahr 2012 eine umfangreiche Liste von Empfehlungen zur Erhöhung der Sicherheit der europäischen Kernkraftwerke verabschiedet /2/. Zudem hat die IAEA ebenfalls im Jahr 2012 in einer ausserordentlichen Sitzung der Convention on Nuclear Safety (CNS), an der auch das ENSI aktiv vertreten war, weitere Empfehlungen abgeleitet /3/, die insbesondere die Aufgaben und die Verantwortung der weltweiten Aufsichtsbehörden für Kernkraftwerke betrafen. Im Rahmen der Umsetzung der ENSREG-Empfehlungen (EU-Stresstest Follow-Up) hat das ENSI im Bericht /4/ aufgezeigt, inwieweit diese internationalen Empfehlungen über die vom ENSI identifizierten Prüfpunkte abgedeckt sind.

Der Aufbau des Schlussberichtes Aktionsplan Fukushima orientiert sich an den 6 Themenbereichen, die in den ENSREG- und den CNS-Empfehlungen angesprochen werden. In den Kapiteln 2 bis 7 dieses Berichtes wird zu jedem dieser Themenbereiche dargelegt, welche Untersuchungen im Rahmen des schweizerischen «Aktionsplanes Fukushima» durchgeführt und welche Erkenntnisse daraus abgeleitet wurden. Im Kapitel 8 dieses Berichtes werden die aus den Untersuchungen abgeleiteten Erkenntnisse zusammengefasst und der Umfang der durchgeführten Untersuchungen dahingehend bewertet, inwieweit die internationalen Empfehlungen darüber abgedeckt sind.

2. Schutz gegen naturbedingte Ereignisse

2.1. Schutz gegen Erdbeben

Überprüfung der generellen Anlagenauslegung

Die schweizerischen Kernkraftwerke reichten aufgrund der Verfügungen des ENSI im Jahr 2012 neue deterministische Nachweise der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens (Sicherheitserdbeben) ein. Als Gefährdungsannahme wurde ein Zwischenergebnis aus dem laufenden PEGASOS Refinement Project (PRP-IH) zugrunde gelegt. Zudem war zu untersuchen, inwieweit durch ein seismisch bedingtes Versagen vorgelagerter Stauanlagen eine Überflutung des Anlagenareals ausgelöst werden könnte. Der Nachweis musste sowohl für die Kernkühlung wie auch für die Brennelementbeckenkühlung geführt werden. Hierfür konnte die seismische Widerstandsfähigkeit der erforderlichen Komponenten auch probabilistisch mittels sogenannter «Fragilities» bestimmt werden.

Die eingereichten Nachweise bezüglich der Sicherstellung der Kernkühlung stützten sich insbesondere auf die seismisch sehr robusten gebunkerten Notstandssysteme ab. Als wesentliche Voraussetzung für die Wirksamkeit der Notstandssysteme wurde zudem die Integrität des Reaktorkühlsystems nachgewiesen. Die Nachweise bezüglich der Sicherstellung der Kühlung der Brennelemente in den Lagerbecken der Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg konzentrierten sich auf den Integritätserhalt der Lagerbecken und die passive Verdampfungskühlung. Im Gegensatz zu den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt konnten die für die aktive Kühlung der Brennelementbecken erforderlichen Nachwärmeabfuhrsysteme in den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg nicht kreditiert werden.

Nach der Prüfung der eingereichten Unterlagen kam das ENSI zum Ergebnis, dass für alle Schweizer Kernkraftwerke der Nachweis erbracht wurde, dass die Kernkühlung wie auch die Brennelementbeckenkühlung im Fall eines Sicherheitserdbebens einzelfehlersicher gewährleistet ist. Die Anlagen können in einen sicheren Zustand überführt und dort über 72 Stunden mit auf dem Anlagengelände verfügbaren Notfallmitteln gehalten werden. Die ENSI-Stellungnahmen enthielten insbesondere noch Forderungen nach ergänzenden Untersuchungen zur seismischen Robustheit der Brennelementbecken selbst sowie deren Anschlussleitungen und der Stauanlage Mühleberg. Die im Rahmen des Aufsichtsverfahrens eingereichten Untersuchungen bestätigten, dass sowohl die Integrität der Brennelementbecken wie auch die Standfestigkeit der Stauanlage Mühleberg bei dem oben genannten Sicherheitserdbeben gewährleistet sind. Ungeachtet dessen wurde die Stauanlage Mühleberg im Frühjahr 2014 seismisch noch ertüchtigt.

Da die für die aktive Kühlung der Brennelemente in den Lagerbecken erforderlichen Nachwärmeabfuhrsysteme in den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg seismisch nicht ausreichend robust sind, hatte das ENSI die seismische Ertüchtigung dieser Systeme bereits im Jahr 2011 verfügt. Beide Anlagen haben entschieden, die bestehenden Notstandssysteme so zu erweitern, dass diese auch noch die Brennelementbeckenkühlung übernehmen können. Die diesbezüglichen Konzept- und Ausführungsfreigaben sind seitens ENSI erteilt worden. Die Inbetriebnahme der neuen Brennelementbeckenkühlsysteme wird Ende des Jahres 2016 bzw. 2017 erfolgen.

Unabhängig von den nach dem Unfall in Fukushima durchzuführenden Erdbebennachweisen haben die Schweizer Kernkraftwerke dem ENSI die im Rahmen des bereits vorher initiierten PEGASOS Refinement Projects (PRP) neu ermittelten seismischen Gefährdungsannahmen Ende 2013 eingereicht. Die Prüfung durch das ENSI ergab, dass insbesondere die Verfeinerungen des Teilprojekts 2 (Erschütterungsausbreitung) und des Teilprojekts 3 (Baugrundeinfluss am Standort) im PRP einen bedeutenden Fortschritt darstellen. Allerdings wurden im Teilprojekt 1 (Charakterisierung der Erdbebenherde) aus Sicht des ENSI wichtige Aspekte nicht in angemessener Tiefe bearbeitet, so dass die Ergebnisse des Teilprojektes 1 und damit die im PRP ermittelten seismischen Gefährdungsannahmen seitens ENSI nicht anerkannt wurden.

Im Jahr 2015 initiierte das ENSI eigene Erdbebengefährdungsberechnungen, in deren Rahmen die Ergebnisse des PRP-Teilprojektes 1 durch den entsprechenden Teil des Rechenmodells des Schweizerischen Erdbebendienstes ersetzt wurden. Die anderen PRP-Teilprojekte wurden übernommen. Die daraus resultierenden, neuen seismischen Gefährdungsannahmen wurden seitens ENSI im Jahr 2016 unter der Bezeichnung «Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015» verfügt. Basierend auf diesen Gefährdungsannahmen sind durch die Schweizer Kernkraftwerke neue deterministische und probabilistische Erdbebennachweise gestaffelt bis 2020 durchzuführen und einzureichen.

Im Hinblick auf den neu geforderten deterministischen Erdbebennachweis hatte das ENSI in den Jahren 2013 und 2014 methodische Vorgaben festgelegt, die u.a. auch detailliertere Anforderungen bezüglich der Ermittlung der seismischen Widerstandsfähigkeit wichtiger Komponenten beinhalten. Zudem ist die ausreichende Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke sowohl gegen Erdbeben mit einer Überschreitungshäufigkeit von 10^{-3} pro Jahr (Störfallkategorie 2) wie auch 10^{-4} pro Jahr (Störfallkategorie 3) nachzuweisen. Die Vorgaben für die probabilistischen Erdbebennachweise sind in der Richtlinie ENSI-A05 festgelegt.

Überprüfung der seismischen Robustheit der Isolation und des Druckentlastungssystems des Containments (2013)

Die Schweizer Kernkraftwerke haben im Jahr 2012 ergänzend zu den durchgeführten Erdbebennachweisen für das 10'000-jährliche Erdbeben (Sicherheitserdbeben) auch die seismische Robustheit der Isolation und des Druckentlastungssystems des Containments untersucht. Dem Erhalt der Containmentintegrität als letzte Aktivitätsbarriere kommt insbesondere dann eine wesentliche Bedeutung zu, wenn die Integrität des Reaktorkühlsystems nicht gewährleistet werden könnte. Hierfür waren alle Durchdringungen im Containment zu identifizieren und die Art der Absperrungen einschliesslich der ggf. erforderlichen Ansteuerung und Stromversorgung darzulegen. Die Möglichkeit einer manuellen Absperrung von Absperrarmaturen konnte kreditiert werden, wenn diese Armaturen ausserhalb des Containments abgeordnet waren. Die in den Schweizer Kernkraftwerken bereits Anfang der neunziger Jahre nachgerüsteten Druckentlastungssysteme der Containments dienen der Verringerung der Folgen schwerer Unfälle.

Die eingereichten Untersuchungen konnten sich nicht nur auf die Notstandssysteme abstützen, da die für die Sicherstellung der Isolation des Containments erforderlichen Absperrarmaturen zum Teil von den herkömmlichen Sicherheitssystemen versorgt und angesteuert werden, sofern diese nicht «fail-safe» ausgelegt sind. Die Druckentlastungssysteme der Containments sind hingegen so ausgelegt, dass diese passiv ansprechen oder aber auch manuell in Betrieb genommen werden können, ohne dass hierfür eine Hilfsenergie erforderlich wäre. Vor diesem Hintergrund waren die diesbezüglichen Untersuchungen auf die seismische Robustheit der mechanischen Komponenten begrenzt. Als Ergebnis der Untersuchungen hat das Kernkraftwerk Gösgen die für die elektrische Versorgung der ausserhalb des Containments liegenden Absperrarmaturen des Containments erforderlichen Notstromdieselaggregate in den Jahren 2014 und 2015 seismisch deutlich ertüchtigt.

Nach der Prüfung der eingereichten Unterlagen kam das ENSI zum Ergebnis, dass die Isolation des Containments und die Druckentlastungssysteme in allen Schweizer Kernkraftwerken unter Zugrundelegung der Zwischenergebnisse aus dem laufenden PEGASOS Refinement Project (PRP-IH) ausreichend seismisch robust sind. Ungeachtet dessen plant das KKL die seismische Robustheit des Druckentlastungssystems des Containments nochmals zu erhöhen. Die entsprechenden Anträge für Ertüchtigungsmassnahmen werden im Aufsichtsverfahren zurzeit bearbeitet.

Überprüfung der Notwendigkeit einer Erdbebeninstrumentierung (2014)

In Rahmen der Analysen zum EU-Stresstest ist das ENSI zur Erkenntnis gelangt, dass sich die in den japanischen Kernkraftwerken vorgelagert über die Erdbebeninstrumentierung ausgelösten automatischen Reaktorschnellabschaltungen bei den aufgetretenen schweren Erdbeben bewährt haben. Eine derartige Auslösung ist in den Schweizer Kernkraftwerken bisher nicht umgesetzt.

Vor diesem Hintergrund hat das ENSI Mitte des Jahres 2013 eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die Vor- und Nachteile einer über die Erdbebeninstrumentierung vorgelagert ausgelösten Reaktorschnellabschaltung untersucht. In einem ersten Schritt wurden die heutige Erdbebeninstrumentierung und deren Integration in die Notfallabläufe für jedes Schweizer Kernkraftwerk dokumentiert. Zudem wurde der Stand von Wissenschaft und Technik bei Erdbebenfrühwarnsystemen erhoben und international Informationen über den Einsatz einer Erdbebeninstrumentierung zur automatischen Schnellabschaltung zusammengestellt.

International zeigte sich, dass eine Reaktorschnellabschaltung über eine vorgelagerte Erdbebeninstrumentierung nur in Kernkraftwerken erfolgt, die in Gebieten mit erhöhter seismischer Aktivität liegen. Durch eine frühzeitige Auslösung der Reaktorschnellabschaltung kann erreicht werden, dass die für die Reaktorschnellabschaltung erforderlichen Komponenten einer geringeren erdbebenbedingten Belastung ausgesetzt sind. Um diesen Sicherheitsgewinn einordnen zu können, wurde auf Basis vorliegender probabilistischer Sicherheitsanalysen für die Schweizer Kernkraftwerke die mögliche Reduktion der Kernschadenshäufigkeit abgeschätzt. Dieses Reduktionspotential liegt je nach Anlage zwischen 10^{-7} bis 10^{-8} pro Jahr. Die mögliche Fehlauflösung von Reaktorschnellabschaltungen über eine vorgelagerte Erdbebeninstrumentierung würde allerdings auch eine leichte Erhöhung der Kernschadenshäufigkeit bedingen.

Aufgrund der Untersuchungen kam das ENSI zum Ergebnis, dass auch unter Berücksichtigung des Nachrüststandes der in Europa betriebenen Kernkraftwerke die Nachrüstung einer Erdbebeninstrumentierung zur vorgelagerten Auslösung einer Reaktorschnellabschaltung in den Schweizer Kernkraftwerken nicht erforderlich ist.

2.2. Schutz gegen externe Überflutungen

Überprüfung der generellen Anlagenauslegung

Die Schweizer Kernkraftwerke haben aufgrund der Verfügungen des ENSI im Jahr 2011 neue deterministische Nachweise der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers eingereicht. Hierfür waren die in den Rahmenbewilligungsgesuchen für neue Kernkraftwerksprojekte neu bestimmten Hochwassergefährdungsannahmen zugrunde zu legen. Sofern ein Verstopfen der Flusswassereinlaufbauwerke nicht nachweislich ausgeschlossen werden konnte, war das Versagen der betroffenen Kühlwasserversorgungen zu unterstellen. Der Nachweis wurde nur für die Kernkühlung geführt, da das 10'000-jährliche Hochwasser im Gegensatz zum Sicherheitserdbeben nicht als unmittelbar eintretendes Ereignis einzuordnen und die Integrität der Brennelementbecken dadurch nicht gefährdet ist. Damit stehen selbst bei einem Verlust der Systeme zur Brennelementbeckenkühlung ausreichend grosse Zeitfenster für die Sicherstellung der Notkühlung der Brennelemente in den Lagerbecken zur Verfügung.

Die eingereichten Nachweise für die Sicherstellung der Kernkühlung stützten sich insbesondere auf die Sicherheitssysteme ab, deren Kühlwasserversorgung über vom Flusswasser unabhängige Brunnenwassersysteme gewährleistet ist. Eine Verstopfung der Flusswassereinlaufbauwerke hat somit keinen Einfluss auf die Funktion dieser Systeme. Im Kernkraftwerk Gösgen ist dies das zweisträngige Notstandsystem, in den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt sind dies zudem noch die herkömmlichen Sicherheitssysteme. Das Kernkraftwerk Mühleberg verfügte zum damaligen Zeitpunkt nicht über eine von der Aare unabhängige Kühlwasserversorgung, so dass der Nachweis geführt werden musste, dass die Flusswasserfassungen infolge des 10'000-jährlichen Hochwassers nicht verstopfen. Bedingt durch die besondere Lage des Kernkraftwerks Mühleberg war zudem nachzuweisen, dass die in der Nähe befindlichen Stauanlagen den Belastungen durch das 10'000-jährliche Hochwasser standhalten.

Nach der Prüfung der eingereichten Unterlagen kam das ENSI zum Ergebnis, dass für alle Schweizer Kernkraftwerke der Nachweis erbracht wurde, dass die Kernkühlung im Fall eines 10'000-jährlichen Hochwassers einzelfehlersicher gewährleistet ist. Die Anlagen können in einen sicheren Zustand überführt und dort über 72 Stunden mit auf dem Anlagengelände verfügbaren Notfallmitteln gehalten werden. Es musste davon ausgegangen werden, dass mit Ausnahme des Standortes Leibstadt die Standorte der anderen Schweizer Kernkraftwerke bei dem unterstellten 10'000-jährlichen Hochwasser überflutet werden und somit insbesondere der Dichtheit der für die Notstandfunktionen erforderlichen Gebäude eine wesentliche Bedeutung zukommt. In diesen Kernkraftwerken wurde der Hochwasserschutz der Notstandgebäude punktuell verbessert. In den Kernkraftwerken Mühleberg und Gösgen wurde zudem der Hochwasserschutz weiterer Gebäude durch die Möglichkeit des Aufbaus mobiler Hochwasserschutzwände weiter verbessert und die bestehenden Vorschriften bezüglich einer frühzeitigeren Hochwasserwarnung und daraufhin zu ergreifender, vorbeugender Hochwasserschutzmassnahmen angepasst. Aufgrund der Errichtung einer Hochwasserschutzmauer im Jahr 2013 ist nicht mehr damit zu rechnen, dass der Standort des Kernkraftwerks Gösgen bei dem unterstellten 10'000-jährlichen Hochwasser überflutet wird.

Bezüglich der zusätzlich für das Kernkraftwerk Mühleberg zu erbringenden Nachweise kam das ENSI zum Ergebnis, dass die Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen einem 10'000-jährlichen Hochwasser standhalten und dass aufgrund der Vielzahl und unterschiedlichen Ausführung der Kühlwasserpfade die Kühlwasserversorgung des Notstandsystems gewährleistet bleibt. Vor dem Hintergrund neuer Erkenntnisse bezüglich einer möglichen Verstopfung der Flusswasserfassungen hatte das Kernkraftwerk Mühleberg weitere Kühlwasserpfade nachgerüstet und das Kühlwassereinlaufbauwerk für das Notstandsystem modifiziert. Mit der im Jahr 2015 in Betrieb genommenen Noteinspeisung über das Hochwasserreservoir Runtigenrain verfügt das Kernkraftwerk Mühleberg wie die anderen Schweizer Kernkraftwerke über eine überflutungssichere Kühlwasserversorgung.

Überprüfung der Auswirkungen der Verklauung wasserbaulicher Einrichtungen

In der Verfügung im Jahr 2012 hatte das ENSI auch gefordert, dass im Rahmen einer Sensitivitätsstudie verklauungsgefährdete Engstellen standortspezifisch zu identifizieren und die Auswirkungen einer Verklauung (teilweiser oder vollständiger Verschluss von Fliessquerschnitten als Folge von Treibgut) auf die standortspezifische Hochwassergefährdung als auslegungsüberschreitendes Störfallszenario zu untersuchen waren.

Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen kam das ENSI zum Ergebnis, dass das Kernkraftwerk Leibstadt auf Grund seiner erhöhten Lage nicht durch allfällige Verkläunungen betroffen ist. Im Rahmen der Untersuchungen der anderen Schweizer Kernkraftwerke wurden die relevanten verkläunungsgefährdeten Engstellen identifiziert und die daraus resultierenden Überflutungssituationen bewertet. Aus Sicht des ENSI zeigten die standortspezifischen Untersuchungen, dass Verkläunungen, insbesondere von wasserbaulichen Einrichtungen, nicht zu einer wesentlichen Verschärfung der Hochwassergefährdung beitragen und damit keinen Cliff-Edge-Effekt (siehe Kapitel 2.3) auslösen können.

Mit den durchgeführten Analysen bezüglich der Hochwassergefährdung der Schweizer Kernkraftwerke wurde ein im internationalen Vergleich hoher Stand der Technik erreicht.

2.3. Erhöhung der Sicherheitsmargen für Erdbeben und externe Überflutungen

Im EU-Stresstest wurden im Jahre 2011 erste Sicherheitsmargenuntersuchungen für externe Ereignisse in den Schweizer Kernkraftwerken durchgeführt. Um diese Analysen zu erweitern und zu vertiefen, wurde im Aktionsplan Fukushima eine Analyse zur Erhöhung der Sicherheitsmargen (ERSIM) aufgenommen. Das Projekt ERSIM hatte zum Ziel, die bestehenden Sicherheitsmargen der Schweizer Kernkraftwerke gegen externe Ereignisse sowohl für die Kühlung des Reaktors wie auch für die Kühlung der Brennelementbecken systematisch zu analysieren und basierend auf den Ergebnissen Bereiche zu identifizieren, wo Nachrüstungen unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismässigkeit zu einer weiteren Verminderung des Risikos beitragen können. In einem ersten Schritt wurden die Ereignisse Erdbeben und Überflutung analysiert. Hierfür waren die den Erdbeben- und Überflutungsnachweisen (siehe Kapitel 2.1 und 2.2) zugrunde liegenden Gefährdungsannahmen zu verwenden.

Im Gegensatz zu den durchgeführten Nachweisen waren alle zur Störfallbeherrschung verfügbaren Systeme und Ausrüstungen in der Sicherheitsmargenanalyse zu berücksichtigen. Hierfür waren sogenannte Abfahrpfade zu definieren, mit denen die Anlagen nach Störfällen in einen sicheren Zustand überführt und gehalten werden können. Für jeden dieser Abfahrpfade waren die Sicherheitsmargen auszuweisen. Die Schweizer Kernkraftwerke verfügen über drei Abfahrpfade:

- Der erste Abfahrpfad besteht aus den herkömmlichen, bereits bei der ursprünglichen Auslegung vorgesehenen Sicherheitssystemen.
- Die speziell geschützten Notstandssysteme stellen den zweiten Abfahrpfad dar. Er ist vornehmlich für die Beherrschung extremer, externer Ereignisse sowie Einwirkungen Dritter vorgesehen.
- Die in allen Kernkraftwerken implementierten präventiven Notfallmassnahmen bilden den dritten Abfahrpfad. Hierbei handelt es sich um gegebenenfalls vor Ort vom Betriebspersonal zu ergreifende Massnahmen, die in spezifischen Notfallvorschriften festgelegt sind und die unter Einsatz fest installierter oder auf dem Kraftwerksgelände verfügbarer mobiler Einrichtungen durchgeführt werden können.

Für die Durchführung der Sicherheitsmargenanalysen waren folgende weitere Randbedingungen festgelegt:

- Als sicherer Zustand der Anlage ist der kalt abgeschaltete Zustand massgebend.
- Als Basisszenario ist der langfristige Notstromfall zu unterstellen.
- Die Sicherheitsmargen der Strukturen, Systeme und Komponenten der einzelnen Abfahrpfade sind explizit auszuweisen.
- Die Durchführbarkeit der erforderlichen Operateurhandlungen ist unter Berücksichtigung der bestehenden Vorschriften und Zeitfenster zu bewerten.
- Es sind sogenannte Cliff-Edge-Effekte (z. B. Verlust der Integrität des Primärkreises, Bypass des Containments, Verlust der gesamten Wechselstromversorgung) zu untersuchen, die zu erschwerten Bedingungen in der Störfallbeherrschung führen.

Nach der Prüfung der eingereichten Sicherheitsmargenanalysen kam das ENSI zum Ergebnis, dass mit Ausnahme des Kernkraftwerks Gösgen alle Schweizer Kernkraftwerke über deutliche Sicherheitsmargen verfügen, um die Kernkühlung und die Brennelementbeckenkühlung bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben sicherzustellen. Zu diesem Ergebnis haben die im Kapitel 2.1 dargelegten Ertüchtigungsmassnahmen entscheidend beigetragen.

Das Kernkraftwerk Gösgen hatte in den Sicherheitsmargenanalysen eine im Vergleich zum PRP-IH (siehe Kapitel 2.1) deutlich höhere seismische Gefährdung unterstellt. Daher sind keine Sicherheitsmargen mehr für den ersten Abfahrpfad vorhanden und die des zweiten Abfahrpfades sind nahezu aufgebraucht. Der dritte Abfahrpfad weist hingegen deutliche Sicherheitsmargen für die Kernkühlung auf. Zwischenzeitlich wurden seitens des Betreibers zahlreiche Ertüchtigungen durchgeführt bzw. sind noch geplant, um die seismische Robustheit des ersten und zweiten Abfahrpfades zu erhöhen. Darüber hinaus ist im Hinblick auf den Langzeitbetrieb ein umfangreiches Nachrüstprojekt initiiert worden, mit dem für den zweiten Abfahrpfad eine deutliche Sicherheitsmarge gegenüber den neuen vom ENSI im Jahr 2016 verfügbaren Erdbebengefährdungsannahmen erreicht werden soll. Hierbei handelt es sich um ein längerfristig angelegtes Nachrüstprojekt.

Die seitens ENSI vom Kernkraftwerk Beznau ergänzend geforderten Analysen zeigen auf, dass im Anlagenzustand «kalt abgestellt» geringere seismische Sicherheitsmargen als im Anlagenzustand «heiss abgestellt» vorhanden sind. Das ENSI wird im Aufsichtsverfahren weiterverfolgen, inwieweit die Sicherheitsmargen im Anlagenzustand «kalt abgestellt» noch erhöht werden können.

Bezüglich einer naturbedingten Überflutung verfügen alle Schweizer Kernkraftwerke über deutliche Sicherheitsmargen. Zu diesem Ergebnis haben die im Kapitel 2.2 dargelegten Ertüchtigungsmassnahmen entscheidend beigetragen.

2.4. Schutz gegen extreme Wetterbedingungen

Überprüfung der generellen Anlagenauslegung

Im Nachgang zum EU-Stresstest und gestützt auf die Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) hat das ENSI die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke im Rahmen des Aktionsplans Fukushima aufgefordert, eine umfassende Untersuchung zur Beurteilung der Gefährdung durch extreme Wetterbedingungen mit einer Häufigkeit grösser gleich 10^{-4} pro Jahr durchzuführen. Hierfür legte das ENSI die Anforderungen an die probabilistischen Gefährdungsanalysen und an die Nachweise des ausreichenden Schutzes der Anlagen fest. Ferner wurde eine Analyse der Sicherheitsmargen verlangt.

Demnach waren die Gefährdungen Wind, Tornado, Lufttemperaturen, Flusswassertemperaturen, lokaler Starkniederschlag, Schnee, Hagel, vereisender Regen, Trockenheit, Waldbrand sowie extreme Sommer- und Winterbedingungen zu untersuchen. Für die Erstellung der Gefährdungsanalysen wurden seitens der Betreiber Spezialisten für mathematische und statistische Auswertungen herangezogen.

Nach der Prüfung der eingereichten Gefährdungsanalysen kam das ENSI zum Ergebnis, dass in einigen Punkten (z.B. bezüglich Plausibilität der Gefährdungsergebnisse und regionalspezifischer Auswertungen) noch weitere, vertiefte Analysen notwendig sind. Das ENSI forderte die Betreiber auf, bis zur nächsten Periodischen Sicherheitsüberprüfung die Gefährdungsanalysen für extreme Winde und extreme Temperaturen auf der Basis einer regionalen Betrachtung (Daten von mehreren Messstationen) und – falls vorhanden – historischer Daten neu zu bestimmen. Für den geforderten Nachweis des ausreichenden Schutzes der Anlagen legte das ENSI provisorische Gefährdungswerte fest.

Die eingereichten Nachweise für die Sicherstellung der Kernkühlung stützten sich insbesondere auf die in sehr robusten Gebäuden untergebrachten Notstandssysteme ab. Hierbei wurde unterstellt, dass prinzipiell jede Extremwettergefährdung die Sicherheit der Anlage beeinträchtigen kann, jedoch hinsichtlich durchführbarer Massnahmen zur Beherrschung unterschiedlich grosse Zeitfenster zur Verfügung stehen.

Gegen unmittelbar einwirkende Gefährdungen insbesondere durch Wind, Tornado und Starkregen können nur bedingt vorsorgliche Massnahmen zur Reduktion der Einwirkung auf die Anlage ergriffen werden. Diese Gefährdungen müssen durch die Auslegung der Anlage, insbesondere den ausreichenden Schutz der Gebäude, beherrscht werden. Bei extremen Lufttemperaturen, Schneefall und Waldbrand bestehen in der Regel mehrere Stunden bis Tage Vorlaufzeit. Die Einwirkungsdauer ist jedoch in der Regel länger als bei den unmittelbar auftretenden Gefährdungen. Während der längeren Vorlaufzeit können wirksame Massnahmen zur Beherrschung dieser Gefährdungen getroffen werden. So konnten z.B. bei mehrtägigem, extremem Schneefall vorsorgliche Massnahmen zur Reduktion der Schneelast auf den Gebäuden kreditiert werden. Gefährdungen wie Trockenheit oder extreme Winter- bzw. Sommerbedingungen kündigen sich über noch längere Zeiträume an, so dass auch hier vorbeugend wirksame Massnahmen ergriffen werden können. Die vorhandenen Zeitfenster sind so gross, dass die Anlage – falls notwendig – rechtzeitig vorsorglich und geordnet abgefahren werden kann.

Nach der Prüfung der eingereichten Unterlagen kam das ENSI zum Ergebnis, dass für alle Schweizer Kernkraftwerke der Nachweis erbracht wurde, dass die Kernkühlung im Fall extremer Wetterbedingungen mit einer Häufigkeit grösser gleich 10^{-4} pro Jahr einzelfehlersicher gewährleistet ist. Die Anlagen können in einen sicheren Zustand überführt und dort über 72 Stunden gehalten werden.

Erhöhung der Sicherheitsmargen

In Ergänzung zu den im Projekt ERSIM durchgeführten Sicherheitsmargenanalysen (siehe Kapitel 2.3) waren auch Sicherheitsmargen bei extremen Wetterbedingungen von den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke auszuweisen, wobei bei nicht unmittelbar auftretenden Gefährdungen auch mobile, auf dem Kraftwerksgelände gelagerte Einrichtungen berücksichtigt werden konnten.

Nach der Prüfung der eingereichten Sicherheitsmargenanalysen kam das ENSI zum Ergebnis, dass alle Schweizer Kernkraftwerke insbesondere aufgrund der gebunkerten Bauweise der Notstandssysteme und der vom Flusswasser unabhängigen Kühlwasserversorgung als sehr robust gegen extreme Wetterbedingungen zu bewerten sind. Die Robustheit der Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg gegen extreme Wetterbedingungen wurde durch den Ersatz der Notstromversorgung (Projekt AUTANOVE) bzw. durch die Nachrüstung einer vom Flusswasser unabhängigen Kühlwasserversorgung des Notstandsystems (siehe Kapitel 2.2) erhöht.

Aus der Prüfung hat das ENSI insbesondere bezüglich der Gefährdungen Starkregen und extreme Temperaturen weitere Massnahmen zur genaueren Quantifizierung der vorhandenen Sicherheitsmargen des Abfahrpfades 1 und zur Erhöhung der Sicherheitsmargen identifiziert. Die Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen zielen insbesondere darauf ab, den Schutz sicherheitsrelevanter Gebäude der Abfahrpfade 1 gegen Wasser- und Temperatureintrag zu verbessern. Die Umsetzung der Forderungen steht noch aus und wird vom ENSI im Aufsichtsverfahren verfolgt.

3. Schutz gegen den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen

3.1. Verlust der Wechselstromversorgung

Das ENSI hat nach dem Unfall in Fukushima mit den Verfügungen im Jahr 2011 u.a. auch eine Neubewertung der Vorsorgemassnahmen für einen Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung gefordert. In den Schweizer Kernkraftwerken setzt diese Annahme voraus, dass sowohl die externe Netz- und Eigenbedarfsversorgung wie auch die mehrfachredundanten Notstrom- und Notstandstromversorgungen ausgefallen sind. Lediglich die zeitlich begrenzte Gleichstromversorgung über Batterien wurde als verfügbar angenommen.

Kühlung des Reaktors und der Brennelementbecken

Basierend auf den in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen kam das ENSI zum Schluss, dass alle Schweizer Kernkraftwerke über gezielte Vorsorgemassnahmen verfügen, um diesen auslegungsüberschreitenden Störfall zu beherrschen und die Kernkühlung sicherzustellen. Je nach Anlage kann mit Hilfe batteriegestützter Sicherheitssysteme und/oder passiver Druckbegrenzungs- bzw. Druckentlastungseinrichtungen die Zeit bis zur Einleitung von Notfallmassnahmen, die ohne Stromversorgung durchführbar sind, überbrückt werden. Zudem wurden als direkte Konsequenz aus dem schweren Unfall in Fukushima räumlich getrennte Zuführungen zur externen Bespeisung der Brennelementbecken mittels mobiler Einrichtungen nachgerüstet.

Die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke erweiterten aufgrund der Erkenntnisse aus dem schweren Unfall in Fukushima die bestehenden Strategien zur Beherrschung eines Ausfalls der gesamten Wechselstromversorgung, indem auch die Stromversorgung grösserer, sicherheitsrelevanter Komponenten wieder hergestellt werden kann. Hierfür wurden dieselgetriebene Generatoren grösserer Leistung entweder auf den Dächern der Notstandgebäude fest installiert oder an unterschiedlichen Orten auf dem Anlagenareal zur flexiblen Nutzung aufgestellt und die erforderlichen Anschlüsse nachgerüstet.

Basierend auf den im Jahr 2012 durchgeführten Inspektionen in allen Schweizer Kernkraftwerken kam das ENSI zum Ergebnis, dass

- auf den Anlagengeländen weitgehend ausreichende Notfallmittel (Feuerwehrpumpen, Tanklöschfahrzeuge, Dieselgeneratoren) vorhanden sind,
- die hierfür erforderlichen Einspeise- und Anschlussstellen hergestellt, räumlich separiert und zugänglich sind,
- die Notfallmittel erdbeben- und überflutungssicher gelagert sind,
- die vorgehaltenen Mengen an Betriebsmitteln (Dieseltreibstoff und Schmieröl) ausreichend sind, um einen Betrieb der Notfallmittel über 7 Tage aufrecht zu erhalten.

Mit der Beschaffung zusätzlicher Notfallmittel und der Anpassung der bestehenden Notfallvorschriften wurden die bestehenden Strategien in den Schweizer Kernkraftwerken zur Sicherstellung der Kernkühlung wie auch der Brennelementbeckenkühlung bei Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung gezielt weiter entwickelt. Die hierfür erforderlichen Notfallmittel sind auf dem Anlagengelände verfügbar und können wirksam eingesetzt werden. Zudem kann aufgrund der Errichtung des externen Notfallagers Reitnau im Jahr 2011 als direkte Konsequenz aus dem schweren Unfall in Fukushima auf weitere Notfallmittel zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 4.1).

Containmentabschluss während des Revisionsstillstands

Der Containmentabschluss ist während der Revisionsstillstände teilweise aufgehoben, um den für die Revisionsarbeiten erforderlichen Materialtransport durchführen zu können und dem Revisionspersonal den Zugang in das Containment zu ermöglichen. Falls während dieses Zeitraums ein Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung eintreten sollte, ist die erforderliche Wiederherstellung des Containmentabschlusses nur unter erschwerten Bedingungen durchführbar.

Das ENSI konkretisierte den diesbezüglichen Untersuchungsumfang, indem von den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke die für die Wiederherstellung des Containmentabschlusses benötigten Hilfsmittel (Notbeleuchtung, Werkzeuge), das benötigte Personal, bestehende Anweisungen und Arbeitsschritte in den Vorschriften sowie die Dauer des Schliessvorganges zu analysieren waren. Basierend auf diesen Analysen haben die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke mehrere Verbesserungen identifiziert. Diese betreffen insbesondere Massnahmen zum schnelleren Schliessen des Containment-Materialtors. Die Umsetzung der Massnahmen verfolgt das ENSI im Aufsichtsverfahren.

Nach der Prüfung der eingereichten Analysen kam das ENSI zum Ergebnis, dass bei einem Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung der Containmentabschluss während des Revisionsstillstands in den Schweizer Kernkraftwerken mit den technischen Hilfsmitteln rechtzeitig sichergestellt werden kann, bevor Anlagenzustände erreicht werden, bei denen es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe kommen könnte.

3.2. Verlust der ultimativen Wärmesenke

Das ENSI hat nach dem Unfall in Fukushima mit den Verfügungen im Jahr 2011 u.a. eine Neubewertung der Kühlwasserversorgung der Schweizer Kernkraftwerke gefordert. Die Schweizer Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt verfügen neben der flusswassergestützten Kühlwasserversorgung (ultimative Wärmesenke) noch über brunnenwassergestützte Kühlwasserversorgungen, über die bei Verlust der ultimativen Wärmesenke die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor und die Kühlung der sicherheitsrelevanten Systeme gewährleistet ist.

Das Kernkraftwerk Mühleberg verfügte zum damaligen Zeitpunkt nicht über eine von der Aare unabhängige Kühlwasserversorgung. Die Kühlwasserversorgung erfolgte zwar über zwei sehr unterschiedlich ausgeführte Einlaufbauwerke, diese sind aber ausschliesslich flusswasserversorgt. Die Überprüfung der Auslegung gegen Überflutung zeigte (siehe Kapitel 2.2), dass eine gleichzeitige Verstopfung dieser Einlaufbauwerke bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser nicht ausgeschlossen werden kann. Mit der im Jahr 2015 nachgerüsteten, überflutungssicheren Noteinspeisung über das Hochwasserreservoir Runtigenrain verfügt das Kernkraftwerk Mühleberg wie die anderen Schweizer Kernkraftwerke über eine vom Flusswasser unabhängige Kühlwasserversorgung.

4. Schutz gegen schwere Unfälle (Severe Accident Management)

Die Schweizer Kernkraftwerke verfügten bereits vor dem Unfall in Fukushima über Entscheidungshilfen zur Begrenzung der Auswirkungen schwerer Unfälle (SAMG), die alle Anlagenzustände abdecken. Im Rahmen des anlagenspezifischen Severe Accident Managements stehen die Vermeidung oder Beendigung des Kernschmelzvorganges, der Erhalt der Integrität des Containments als letzte Rückhaltebarriere und die Begrenzung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung im Vordergrund. Aus den Untersuchungen des Unfallgeschehens in Fukushima wurden auch bezüglich des Severe Accident Managements punktuelle Verbesserungen abgeleitet.

4.1. Einrichtung eines externen Lagers

Die Schweizer Kernkraftwerke haben aufgrund der Verfügung des ENSI im Frühjahr 2011 als Sofortmassnahme ein gemeinsames externes Notfalllager zum 1. Juni 2011 in Betrieb genommen, in dem zusätzliche Einsatzmittel für schwere Unfälle eingelagert wurden. Der Standort musste so gewählt werden, dass das Lager nicht von einer grossflächigen Überflutung der Kraftwerksstandorte betroffen und das Lager selbst erdbebensicher ist. Zudem war der Mindestumfang der einzulagernden Einsatzmittel festgelegt.

Basierend auf dem von der Betreibergesellschaft eingereichten Einsatzkonzept kam das ENSI zum Ergebnis, dass das im aargauischen Reitnau eingerichtete Lager für die Zwecke eines erweiterten Notfallschutzes der Schweizer Kernkraftwerke bei schweren Unfällen grundsätzlich geeignet ist. Das Lager erfüllt die Erdbebenanforderungen für Bauwerke der BWK III nach SIA-Norm 261 und die zentrale Lage des Lagers zu den Kraftwerksstandorten wurde als vorteilhaft bewertet.

Das ENSI überzeugte sich im Rahmen von Inspektionen zudem davon, dass die in der Inventarliste angegebenen Einsatzmittel im Lager in einsatzbereitem Zustand und im geforderten Mindestumfang vorhanden sind, die Einsatzmittel periodisch gewartet werden und die Laderampen wie auch die Transportflächen für einen Abtransport der Einsatzmittel per LKW oder per Helikopter zu jeder Tages- und Nachtzeit verfügbar sind.

Im Rahmen der Gesamtnotfallübung (GNU) 2013 wurden die im Betriebskonzept des Lagers festgehaltenen Abläufe von der Alarmierung über die Bereitstellung bis zum Transport der Einsatzmittel zum an der Übung beteiligten Kernkraftwerk getestet. Die Auswertung der Übung ergab, dass die Kommunikation und Information zwischen dem beteiligten Kernkraftwerk und der Betreibergesellschaft des Lagers Reitnau bezüglich Zeitpunkt, Inhalt und Reihenfolge der angeforderten Materialtransporte zu verbessern ist. Mit der Optimierung der Bestelllisten, der klaren Kennzeichnung der Einsatzmodule und der Einführung eines Transportscheines wurden hierfür die Voraussetzungen geschaffen. Der Einsatz von Mitteln aus dem Lager Reitnau wurde nochmals im Rahmen der GNU 2015 geübt. Im Schlussbericht zur GNU 2015 wurde festgehalten, dass die Erkenntnisse aus der GNU 2013 erfolgreich umgesetzt wurden und sich das Einsatzkonzept bewährt hat.

In einem abschliessenden Schritt wurde seitens ENSI die Einbindung des externen Lagers Reitnau in die Vorschriften der Schweizer Kernkraftwerke überprüft. Nach der Prüfung der von den Betreibern angepassten Vorschriften kam das ENSI zum Ergebnis, dass die Zuständigkeiten im Notfallstab für die Anforderung der Einsatzmittel aus dem Lager Reitnau ordnungsgemäss in die anlagenspezifischen Notfallanweisungen aufgenommen wurden.

4.2. Erhalt der Containmentintegrität

Das ENSI hat nach dem Unfall in Fukushima mit den Verfügungen in den Jahren 2011 und 2013 u.a. auch eine Neubewertung der Vorsorgemassnahmen gegen eine Wasserstoffbildung bei Ausfall der Kernkühlung und der Brennelementbeckenkühlung gefordert. Die Gefährdung von Gebäudestrukturen durch Wasserstoffdeflagrationen und -detonationen innerhalb des Containments als Folge unzulässig hoher Wasserstoffkonzentrationen wurde für die Schweizer Kernkraftwerke bereits frühzeitig untersucht. Daraus wurden vorsorgliche Massnahmen zur Begrenzung der Wasserstoffkonzentration im Containment abgeleitet und in allen Schweizer Kernkraftwerken realisiert.

Wasserstoffentstehung bei Ausfall der Kühlung der Brennelementbecken

Nach der Explosion des Reaktorgebäudes in einem der abgeschalteten Kernkraftwerksblöcke in Fukushima wurde anfänglich angenommen, dass diese durch eine unzulässig hohe Wasserstoffkonzentration infolge einer Zirkon-Wasser-Reaktion im Brennelementbecken hervorgerufen worden sei. Diese Annahme wurde im Jahr 2012 durch entsprechende Analyseberichte aus Japan widerlegt, da keine Hinweise auf Brennstoff- und Hüllrohrschäden im Brennelementbecken vorlagen.

Vor diesem Hintergrund wurden die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke seitens ENSI aufgefordert, weitere potentielle Wasserstoffquellen in den Brennelementlagerbecken zu untersuchen. Nach der Prüfung der eingereichten Untersuchungen kam das ENSI zum Ergebnis, dass die durch Radiolyse im Beckenwasser produzierten Mengen an Wasserstoff für ein zündfähiges Gemisch nicht ausreichend sind.

Die weiteren Untersuchungen konzentrierten sich daher auf den Erhalt der Brennelementbeckenkühlung, um unzulässig hohe Wasserstoffkonzentration infolge Freilegung der Brennelemente von vornherein zu verhindern. Aus diesen Untersuchungen leitete das ENSI die Notwendigkeit von Nachrüstmassnahmen ab. Diese betrafen die Füllstand- und Temperaturüberwachung und die Notbespeisung der Brennelementbecken sowie die Ertüchtigung der Brennelementbeckenkühlsysteme in den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg. Mit Ausnahme der Ertüchtigung der Kühlsysteme (siehe Kapitel 2.1) sind diese Nachrüstungen weitgehend umgesetzt.

Wasserstoffentstehung bei Ausfall der Kernkühlung

Derzeit verfügen die Schweizer Kernkraftwerke je nach Auslegung über verschiedene Systeme zur Vermeidung unzulässig hoher Wasserstoffkonzentrationen innerhalb des Containments, wie aktive Zünder, aktive oder passive Rekombinatoren oder aktive/passive Durchmischungssysteme. Das Kernkraftwerk Mühleberg verfügt als einzige Anlage über ein inertisiertes Containment. Zudem sind alle Anlagen mit einer gefilterten Containment-Druckentlastung ausgerüstet.

Das ENSI hatte die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke aufgefordert, die bisher getroffenen Massnahmen zum Schutz gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen bezüglich folgender Punkte nochmals zu überprüfen:

- Robustheit der bestehenden Wasserstoffmessungen,
- Behandlung der Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen in den bestehenden Entscheidungshilfen zur Begrenzung der Auswirkungen schwerer Unfälle (SAMG),
- Erweiterung der Vorsorgemassnahmen zum Wasserstoffabbau,
- Konsequenzen einer Wasserstoffausbreitung ausserhalb des Containments.

Nach der Prüfung der eingereichten Untersuchungen kam das ENSI zum Ergebnis, dass alle Schweizer Kernkraftwerke bereits einen hohen Schutz gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen aufweisen. Ungeachtet dessen werden die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt passive Rekombinatoren bzw. passive Rekombinatoren in Verbindung mit passiven Zündern innerhalb des Containments nachrüsten. Beide Anlagen haben diesbezügliche Umsetzungskonzepte eingereicht, die seitens ENSI bereits positiv bewertet wurden bzw. noch abschliessend zu bewerten sind. Damit werden zukünftig alle Schweizer Kernkraftwerke über passive Massnahmen zum Wasserstoffabbau verfügen. Das Kernkraftwerk Beznau wird die bestehende Wasserstoffabbaukapazität durch den Einbau zusätzlicher, passiver Rekombinatoren innerhalb des Containments erhöhen. Ein entsprechender Konzeptantrag wurde seitens ENSI freigegeben.

Eine zündfähige Wasserstoffkonzentration in Bereichen ausserhalb des Containments ist bei auslegungsgemässer Dichtheit des Containments und bei erfolgreicher Durchführung der vorgesehenen Notfallmassnahmen gemäss den Untersuchungen nicht zu erwarten. Ungeachtet dessen beabsichtigen die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt im Rahmen der oben genannten Umsetzungskonzepte auch noch passive Rekombinatoren im Ringraum der Reaktorgebäude nachzurüsten. Das Kernkraftwerk Mühleberg hat ein Konzept entwickelt, um mit mobilen Messgeräten die Wasserstoffkonzentration im Reaktorgebäude messen und darauf basierend Notfallmassnahmen zur Reduktion der Wasserstoffkonzentration im Reaktorgebäude treffen zu können. Dieses Konzept wurde seitens ENSI positiv bewertet und im Rahmen des Unfallmanagements umgesetzt. Zurzeit führt das Kernkraftwerk Beznau noch Untersuchungen durch, welche anlagenspezifischen Massnahmen zur Verringerung der Wasserstoffkonzentration ausserhalb des Reaktorgebäudes getroffen werden könnten.

Darüber hinaus hat das ENSI noch weitere Ertüchtigungsmassnahmen gefordert, die insbesondere den Ersatz der bestehenden Wasserstoffmessungen im Containment des Kernkraftwerks Gösgen und zusätzliche Notfallmassnahmen zur Erhaltung der Filterfunktion des Containment-Druckentlastungssystems im Kernkraftwerk Mühleberg auch nach mehrfachen Wasserstoffexplosionen im Druckentlastungspfad betreffen. Diese Massnahmen wurden zwischenzeitlich umgesetzt.

4.3. Einsatzstrategie der Notfallorganisationen beim Langzeiteinsatz

Der Unfall in Fukushima hat deutlich aufgezeigt, dass die Einsatzbereitschaft und Funktionsfähigkeit der Notfallorganisationen auch unter erschwerten Umgebungsbedingungen langfristig gewährleistet sein muss. Vor diesem Hintergrund inspizierte das ENSI im Jahr 2012 die Notfall- und Ersatznotfallräume an den Standorten der Schweizer Kernkraftwerke. Basierend auf diesen Inspektionen kam das ENSI zum Ergebnis, dass die bisherigen Einsatzstrategien bezüglich des Einsatzes und des Schutzes des im Notfall erforderlichen Personals bei dem zugrunde gelegten Schwerunfallszenario sowie die Mittel und die Verfahren zur Überwachung der Luftqualität in den Notfall- und Ersatznotfallräumen noch nicht ausreichend festgelegt sind. Insbesondere forderte das ENSI die Überprüfung der Einrichtung zusätzlicher anlagenexterner Notfalleinsatzräume.

Die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke reichten im Februar 2013 die Ergebnisse der Überprüfung ihrer Einsatzstrategie für die Notfallorganisation im Hinblick auf einen langandauernden Einsatz über Tage und Wochen ein. Demnach stehen den Notfallorganisationen an den Kraftwerksstandorten neben dem Hauptkommandoraum und dem Notfallraum bei deren Nichtverfügbarkeit auch eine gebunkerte Notsteuerstelle und ein gebunkertes Ersatznotfallraum zur Verfügung. Eine wesentliche Grundvoraussetzung für die langfristige Nutzung dieser Räume ist, dass Strahlenschutzmaterial in ausreichender Menge vorhanden ist. In diesem Zusammenhang wurden zusätzliche Massnahmen zur Überwachung der radiologischen Situation in den Notfall- und Ersatznotfallräumen ergriffen. Des Weiteren planen die Betreiber die bisherigen Einsatzstrategien so zu erweitern, dass auch zusätzliche, anlagenexterne Notfalleinsatzräume zur Verfügung stehen.

Im Rahmen der Bewertung der erweiterten Einsatzstrategien inspizierte das ENSI im Jahr 2013 das auf den Kraftwerksgeländen vorhandene Strahlenschutzmaterial und kam zum Ergebnis, dass ausreichend Material vorhanden ist, um den vorgesehenen Personalbestand in der ersten Phase nach einem schweren Unfall zweckmässig mit persönlichen Schutzmitteln auszurüsten. Zudem legten die Betreiber im Nachgang zu diesen Inspektionen den hierfür erforderlichen Mindestbestand an Strahlenschutzpersonal neu fest. Die Unterschreitung des Mindestbestands gilt als organisatorisches Abschaltkriterium, das in den jeweiligen Kraftwerksreglementen angepasst wurde.

Nach der Prüfung der erweiterten Einsatzstrategien kam das ENSI zum Schluss, dass mit den zusätzlich geplanten Notfalleinsatzräumen der anlageninterne Notfallschutz nochmals verbessert wird. Es wurden umfangreiche Untersuchungen zu den radiologischen Auswirkungen eines schweren Unfalls auf das sich auf der Anlage befindliche Personal durchgeführt und gezielt Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet. Zwischenzeitlich haben alle Betreiber externe Räumlichkeiten für ihre Notfallorganisationen identifiziert. Nach Auffassung des ENSI ist es erforderlich, externe Notfallzentren fest als Option in die Notfallplanungen einzubeziehen, so dass diese im Bedarfsfall als Anlaufstelle für die gesamte Notfallorganisation dienen können, und die Notfallunterlagen entsprechend anzupassen. Daher wurden konkrete Anforderungen an die zu errichtenden externen Notfallzentren gestellt, die insbesondere die Ausstattung mit Kommunikationsmitteln und Strahlenschutzgeräten sowie die Festlegung von Kriterien für deren Bezug betrafen. Des Weiteren wurde gefordert, dass die Tauglichkeit der neuen externen Notfallzentren für die Verlegung der Notfallstäbe durch eine interne Übung bis Ende des 1. Quartals 2017 aufzuzeigen ist. Die Umsetzung dieser Forderungen wird durch das ENSI im Rahmen der Aufsicht verfolgt.

Die Notfällräume des ENSI (GENORA) wurden 2012 ebenfalls einer Prüfung unterzogen. Punktuell wurden Verbesserungen hinsichtlich der Erdbebenfestigkeit bereits umgesetzt, weitere Ertüchtigungsmöglichkeiten werden geprüft. Zur Aufrechterhaltung des Notfalleinsatzes insbesondere bei extremen, naturbedingten Ereignissen wurde auch das Konzept eines alternativen Standorts für die Notfällräume des ENSI verfolgt. Um Synergieeffekte zu nutzen, wurde mit der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) vereinbart, dass der Standort der NAZ in Zürich als Ersatzstandort der ENSI-Notfallorganisation genutzt wird. Nach der Bereitstellung der erforderlichen IT-Infrastruktur und Notfalldokumentation wurden der Zutritt der ENSI-Mitarbeiter geregelt und Einsatzübungen durchgeführt. Der Ersatzstandort der ENSI-Notfallorganisation wurde Ende des Jahres 2016 für einsatzbereit erklärt.

4.4. Schadstoffausbreitung in Fließgewässern

Im Rahmen des Aktionsplans Fukushima überprüfte das ENSI u.a. die für Störfälle bestehenden Abläufe und Massnahmen des Notfallschutzes hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zum Schutz des Trinkwassers. Das ENSI führte im Jahr 2013 zusammen mit den im Notfallschutz beteiligten Amtsstellen Nationale Alarmzentrale (NAZ), Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bundesamt für Umwelt (BAFU) und den betroffenen Kantonen eine diesbezügliche Situationsanalyse durch. Die Analyse zeigte, dass die gesetzlichen Regelungen sowie die bestehenden Abläufe und Massnahmen des Notfallschutzes grundsätzlich geeignet sind, um die Menschen und die Umwelt zu schützen. In einigen wenigen Punkten, die in vier Arbeitspaketen zusammengefasst wurden, bestand jedoch ein Überprüfungsbedarf. Der Stand der Bearbeitung der Arbeitspakete stellt sich wie folgt dar:

Arbeitspaket 1: Überprüfung der Störfälle hinsichtlich radioaktiver Abgaben über den Wasserpfad und der Notwendigkeit eines Konzepts für den Umgang mit grossen Mengen kontaminierten Wassers

Ende des Jahres 2013 legten alle Schweizer Kernkraftwerke dar, mit welchen radioaktiven Abgaben in den Wasserpfad bei Betriebsstörungen und Auslegungsstörfällen zu rechnen ist. Das ENSI überprüfte die eingereichten Berichte und schloss sich den dortigen Aussagen an, dass es nur bei den Auslegungsstörfällen «Erdbeben» und «externe Überflutung» zu Aktivitätsabgaben in den Fluss oder das Grundwasser kommen könnte. Die Abgaben wurden für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt mit weniger als $5,5 \cdot 10^{11}$ Bq bzw. mit weniger als $4,1 \cdot 10^{13}$ Bq für das Kernkraftwerk Mühleberg abgeschätzt und sind aus Sicht des ENSI als sehr konservativ zu bewerten, da angenommen wurde, dass die gesamte Aktivität aus den defekten Behältern oder Systemen direkt in den Fluss gelangt. Eine rückhaltende Wirkung von Gebäuden wurde nicht kreditiert. Sofern des Weiteren keine Schutzmassnahmen für die Bevölkerung getroffen würden, wäre mit diesen Abgaben eine zusätzliche Ingestionsdosis über den Wasserpfad je nach Abflussmenge des Flusses von 0,1 bis 3,3 mSv für eine Person, die in der Umgebung der Kernkraftwerke lebt, verbunden. Diese äusserst konservativ abgeschätzte Ingestionsdosis liegt deutlich unter der nach Art. 94 Strahlenschutzverordnung (StSV) bei Auslegungsstörfällen zulässigen Dosis für eine Person aus der Bevölkerung von 100 mSv.

Den Ende des Jahres 2015 eingereichten Untersuchungen zur Bewertung der Abgabe flüssiger radioaktiver Stoffe bei auslegungsüberschreitenden Störfällen (schwere Unfälle) lagen 5 Schadenszustände zugrunde, die von einer Kernbeschädigung im Reaktordruckbehälter bis hin zu einer die Reaktorgebäudestruktur durchdringenden Kernschmelze reichten. Nach der Prüfung dieser Untersuchungen kam das ENSI zum Schluss, dass selbst bei einem Extremereignis mit Kernschmelze und Beschädigung des Containments keine grösseren Kontaminationen von Grundwasser und Fließgewässern zu erwarten sind, da die Bodenplatten und Betonstrukturen der Reaktorgebäude sehr robust ausgeführt und Notfallmassnahmen zur Kühlung der Kernschmelze vorhanden sind.

Auch die Situation in Fukushima, wo permanent Grundwasser in das Reaktorgebäude eindringt und zu einem grossen Anfall an radioaktiv kontaminierten Wasser führt, ist aufgrund der Grundwassersituation an den Standorten und der Robustheit der Reaktorgebäude nicht auf Schweizer Kernkraftwerke übertragbar. Das ENSI erachtet daher weitere Vorsorgemassnahmen hinsichtlich Rückhaltung und Aufbereitung radioaktiv kontaminierten Wassers als nicht angemessen.

Arbeitspaket 2: Überprüfung der Meldewege

Die Überprüfung der Meldewege erfolgte unter der Federführung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS). In einem ersten Schritt wurden die Prozesse zwischen den Bundesstellen BABS, ENSI und BAG überprüft. Die Überprüfung durch die Bundesstellen zeigte, dass die Meldewege zwischen den Kernkraftwerken und den Bundesstellen und Kantonen etabliert sind. Trotzdem ergaben sich Optimierungen in den Prozessabläufen. Insbesondere unterscheidet das BABS neu zwischen den Abläufen bei einer Warnung bzw. Alarmierung der Bevölkerung durch Meldung einer Kernanlage und den Abläufen bei einem automatischen Messwertalarm der Messsysteme zur Überwachung der Ortsdosisleistung, der Luft- und Wasseraktivität. Das BABS hat die entsprechenden Prozessabläufe angepasst. Auch das ENSI hat als Ergebnis der Überprüfung seine Arbeitsvorschriften für den Picketingenieur mit expliziten Vorgaben für den Wasserpfad ergänzt.

In einem zweiten Schritt wurden die betroffenen Kantone in die Überprüfung mit einbezogen. Auch hier zeigte sich, dass die etablierten Prozesse weitgehend ausreichen, gewisse Prozessabläufe jedoch zu ergänzen bzw. zu optimieren waren. Dazu gehörten insbesondere die Alarmierungsprozesse und Meldewege zu den Wasserwerken in den Kantonen. Anfang Mai 2016 wurde der Stand der Umsetzung in einer Übung überprüft. Mittlerweile haben alle betroffenen Kantone die notwendigen Prozesse angepasst und eingeführt. Die Warnmeldung der NAZ an die Kantone wurde ebenfalls diskutiert und die überarbeitete Fassung an die betroffenen Kantone in Vernehmlassung geschickt. Die noch ausstehenden Aufgaben wurden ebenfalls erledigt. Das BABS plant im 1. Quartal 2017 die Alarmierungsprozesse und Meldewege bei einer Abgabe von radioaktiven Stoffen in die Fliessgewässer mittels einer Alarmierungsübung zu verifizieren. Im Anschluss daran sind periodische Alarmierungsübungen vorgesehen.

Arbeitspaket 3: Überprüfung der radiologischen Kriterien für Alarmierung und Einleitung von Sofortmassnahmen

Das ENSI hat zusammen mit dem BAG und dem BABS die radiologischen Kriterien für die Alarmierung und die Sofortmassnahmen bei einem Eintrag von radioaktiven Stoffen in Aare und Rhein überprüft und in einer Aktennotiz dokumentiert. Die radiologischen Kriterien werden wie folgt überwacht:

- Mit den fünf neu installierten Messsonden des BAG unterhalb der Schweizer Kernkraftwerke wird das Flusswasser kontinuierlich hinsichtlich der Dosisleistung und der Aktivität von Gamma-Strahlern überwacht. Bei Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Cs-137 (Voralarm) bzw. des in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) festgelegten Grenzwertes für Cs-137 (Alarm) erfolgt eine automatische Alarmierung des BABS und des BAG. Nach einer Überprüfung der Alarme hinsichtlich einer Fehlauflösung werden bei einem Voralarm die betroffenen Trinkwasserentnahmestellen und gegebenenfalls die Hauptwarnzentrale Weil am Rhein informiert. Bei einem Alarm werden die Kantone gewarnt und die nötigen Schutzmassnahmen eingeleitet.
- Die Schweizer Kernkraftwerke müssen gemäss ihrem Abgabereglement, das Teil der Betriebsbewilligung ist, und der Richtlinie ENSI-Bo3 jede unzulässige radioaktive Abgabe (unzulässig bezüglich Menge, Konzentration, Abgabepfad oder fehlende Kontrolle bzw. Bilanzierung) sowie eine Überschreitung der Immissionsgrenzwerte gemäss Art. 102 Abs. 2 StSV melden. Bei einer unzulässigen Abgabe überprüft das ENSI die Einhaltung der FIV-Grenzwerte mit Hilfe von konservativen Faustregeln. Werden diese verletzt, werden die Kantone gewarnt und die nötigen Schutzmassnahmen eingeleitet. Überschreiten die Emissionen die internationalen Orientierungsgrössen für Emissionen, so wird auch die Hauptwarnzentrale Weil am Rhein informiert. Neben einer Abschätzung der Aktivitätskonzentration im Fluss erlauben die Faustregeln auch eine Abschätzung der Fliesszeiten von den Kernkraftwerksstandorten zu den Trinkwasserentnahmestellen. Damit die Schweiz ihre internationale Verpflichtung im Rahmen des Warndienstes Rhein vollumfänglich erfüllt, wurde in der aktuellen Ausgabe der Richtlinie ENSI-Bo3 (November 2016) eine Meldeschwelle für geplante Tritium-Abwasserabgaben von 5000 GBq aufgenommen.

Arbeitspaket 4: Überprüfung und Ergänzung des Umgebungsüberwachungsprogramms

Das BAG hat federführend die bestehenden Umgebungsüberwachungsprogramme überprüft und als Ergebnis ein neues automatisches Messnetz zur Überwachung der Radioaktivität im Flusswasser (URAnet aqua) in Betrieb genommen. Das Netz besteht aus fünf Natrium-Jodid-Messsonden zur Überwachung der Gamma-Aktivität im Flusswasser flussabwärts der Schweizer Kernkraftwerke. Sie befinden sich in Radelfingen, Hagneck, Aarau, Laufenburg und Basel. Nach einer Testphase ist das Messnetz seit November 2015 operativ. Die Sonden erreichen für Cs-137 eine Nachweisgrenze von 1 Bq/l bei einer Messzeit von einer Stunde. Damit kann die Einhaltung des Immissionsgrenzwertes von 10 Bq/l für Cs-137 sicher überwacht werden. Die Sonden liefern 10 Minuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte. Die Tagesmittelwerte sind unter www.radenviro.ch [unter Messnetz «URAnet aqua»] verfügbar.

Mit den regelmässigen Tests der Warnungs- und Alarmwege, die im Jahr 2017 beginnen sollen, werden alle Tätigkeiten im Rahmen der oben genannten Arbeitspakete abgeschlossen sein.

4.5. Auswirkungen von nichtnuklearen Gefahrstoffen

Bei auslegungsüberschreitenden Störfällen (schwere Unfälle) sind in den Notfallstrategien der Schweizer Kernkraftwerke häufig Eingriffe durch das Eigenpersonal vor Ort vorgesehen. Auf dem Gelände jedes Kernkraftwerks sind entzündliche sowie explosive Flüssigkeiten oder Gase, ätzende oder gesundheitsgefährdende Chemikalien vorhanden. Das ENSI hat daher untersucht, inwieweit konventionelle Gefahrstoffe die Beherrschung schwerer Unfälle in den Schweizer Kernkraftwerken beeinträchtigen könnten und welche Gegenmassnahmen vorhanden sind.

Abklärungen bei den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke haben ergeben, dass bei Freisetzungen oder Bränden der gelagerten nichtnuklearen Gefahrstoffe die bei schweren Unfällen erforderlichen Notfallmassnahmen durchgeführt werden können. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass im Kernkraftwerk Beznau die Standsicherheit von Druckgasflaschenbatterien mit Wasserstoff bei einem starken Erdbeben detaillierter zu überprüfen war. Die Analysen des Betreibers konnten eine ausreichende Standsicherheit nachträglich bestätigen. Das Kernkraftwerk Gösgen hat einen Lagerort für Teile der Chemikalienschutz-ausrüstung verlegt, während im Kernkraftwerk Leibstadt vier weitere Chemikalienanzüge angeschafft werden. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wurden keine zusätzlichen Gegenmassnahmen identifiziert.

5. Nationales Notfallmanagement

Als Folge des Unfalls in Fukushima wurde im Auftrag des Bundesrats die interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX) einberufen. Experten aus sechs Departementen, der Bundeskanzlei, der Kantone und des ENSI untersuchten 56 organisatorische und gesetzgeberische Notfallschutzmassnahmen im Hinblick auf Verbesserungspotentiale. Das ENSI war für 4 dieser Massnahmen federführend und hat deren Bearbeitung mit anderen Bundesstellen und Kantonen koordiniert. Der Stand der Bearbeitung der Massnahmen wird nachfolgend dargestellt.

5.1. Neufestlegung von Anforderungen an Mess- und Prognosesysteme

Die Mess- und Prognosesysteme zur Erfassung und Bewertung der radiologischen Lage bei einem schweren Unfall in der Schweiz umfassen das automatische Netzwerk zur Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernanlagen, die Übermittlung von Anlagenparametern der Kernanlagen an das ENSI und das Rechnersystem des ENSI für die Prognoseberechnungen der atmosphärischen Ausbreitung von radioaktiven Stoffen. In Zusammenarbeit mit Bundesstellen und den Kernkraftwerksbetreibern wurden die Anforderungen an Mess- und Prognosesysteme unter Berücksichtigung der Lehren aus Fukushima neu festgelegt und darauf basierend die Redundanz und Ausfallsicherheit der Mess- und Prognosesysteme bei Extremereignissen überprüft. Hieraus resultierten folgende Verbesserungen:

- Das Ortsdosisleistung(ODL)-Messsystem ist bezüglich Telekommunikation, Infrastruktur und Stromversorgung zu ertüchtigen. Die hierfür erforderlichen Massnahmen sind in die strategische Planung der nächsten Jahre für die Entwicklung und Instandhaltung des ODL-Messsystems eingeflossen. Insbesondere wurde die Hardware der Zentrale für das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) im Jahr 2016 erneuert sowie Betriebs- und Datenbanksystem auf den aktuellen Stand gebracht. Zudem stehen ab Ende 2016 Teile der MADUK-Zentrale am Ersatzstandort der ENSI-Notfallorganisation so bereit, dass im Bedarfsfall die Zentrale auch vom Standort der NAZ betrieben werden kann (siehe auch Kapitel 4.3). Die detaillierte Spezifikation der neuen MADUK-Messsonden mit den erweiterten Anforderungen bezüglich Telekommunikation, Infrastruktur und Stromversorgung wird vom ENSI im Jahr 2017 erarbeitet.
- Die Anforderungen an die automatische Übertragung der Anlageparameter bei schweren Erdbeben sind in der Richtlinie ENSI-B12 zu konkretisieren. Eine Neuauflage der Richtlinie ENSI-B12 ist im Jahr 2018 geplant.
- Für das neue System JRODOS/LASAT zur Berechnung der Dosen in der Umgebung von Kernanlagen bei schweren Unfällen infolge Freisetzung und Ausbreitung radioaktiver Stoffe wurde im Jahr 2016 eine vollwertige Redundanz beim Ersatzstandort der ENSI-Notfallorganisation geschaffen. Das System JRODOS/LASAT ersetzt das seit Mitte der Neunzigerjahre eingesetzte System ADPIC.

Im Rahmen der zurzeit laufenden Totalrevision der Strahlenschutzverordnung sowie der Revision der Notfallschutzverordnung und der ABCN-Einsatzverordnung werden u.a. die Bestimmungen zur Probenahme- und Messorganisation, zur Beurteilung der radiologischen Lage und Anordnung von Massnahmen sowie die Grenz- und Referenzwerte im Strahlenschutz überarbeitet.

5.2. Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzeptes

Im ersten Schritt wurden die Referenzszenarien für einen schweren Unfall in einem Schweizer Kernkraftwerk überprüft, welche als Basis für die Notfallschutzplanung auf Stufe Bund, Kantone und Gemeinden dienen. Diese Überprüfung erfolgte seitens ENSI in Zusammenarbeit mit Vertretern der Kantone, Bundesstellen und der Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke. Basierend auf dem vom ENSI definierten Spektrum repräsentativer Referenzszenarien untersuchte die Arbeitsgruppe die Konsequenzen verschiedener Szenarien für den Notfallschutz und gab Empfehlungen zur Vorbereitung von Notfallschutzmassnahmen ab.

Die im Dosismassnahmenkonzept (Anhang 1 der ABCN-Einsatzverordnung, SR 520.17) bisher vorgesehenen Massnahmen zum raschen Schutz der Bevölkerung wurden nach wie vor als zweckmässig und hinreichend beurteilt. Bei der Vorbereitung dieser Massnahmen wurde aber Verbesserungsbedarf identifiziert. Die Empfehlungen der Arbeitsgruppe betrafen die gezielte Alarmierung von Teilen der Bevölkerung in der Zone 3, die erweiterte Verteilung von Jodtabletten und die vorsorgliche Evakuierung in der Zone 2. Der von der Arbeitsgruppe erstellte Bericht wurde vom Bundesstab ABCN zustimmend zur Kenntnis genommen. Der Projektausschuss Notfallschutzkonzept (Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen) erarbeitete basierend auf dem Bericht der Arbeitsgruppe einen Vorschlag für ein der Notfallplanung neu zugrunde zu liegendes Referenzszenario. In diesem sogenannten Szenario A₄ wird unterstellt, dass eine mittlere Wetterlage vorliegt und die Freisetzung von Radioaktivität ungefiltert erfolgt. Die Jod- und Aerosol-Quellterme sind gegenüber dem bisher der Notfallplanung zugrundeliegenden Szenario A₂ um einen Faktor 100 bzw. 1000 erhöht, Edelgase werden zu 100% des Kerninventars freigesetzt. Dieser Vorschlag wurde vom Bundesstab ABCN Ende des Jahres 2014 gutgeheissen.

Basierend auf den Ergebnissen der Überprüfung der Referenzszenarien diskutierte die gleiche Arbeitsgruppe die Vor- und Nachteile einer Änderung des bisher bestehenden Zonenkonzeptes. Als zentraler Grundsatz galt, dass Änderungen des Zonenkonzeptes nur dann durchgeführt werden, wenn dadurch eine schnellere Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen zu erwarten ist. Die Arbeitsgruppe kam zum Ergebnis, dass das aktuell gültige Zonenkonzept hinsichtlich Anzahl und Ausdehnung der Zonen beibehalten werden soll. Es wurde jedoch empfohlen, auf überlappend definierte Sektoren in der Zone 2 zu verzichten, um das Zonenkonzept verständlicher zu gestalten. Der von der Arbeitsgruppe erstellte Bericht wurde vom Bundesstab ABCN am Ende des Jahres 2014 zustimmend zur Kenntnis genommen.

Die Ergebnisse der Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzeptes fliessen in das Notfallschutzkonzept ein, welches unter der Federführung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS) überarbeitet wurde. Zudem haben diese Ergebnisse Einfluss auf die laufende Totalrevision der Strahlenschutzverordnung und die vorgesehenen Anpassungen der ABCN-Einsatzverordnung und der Notfallschutzverordnung.

5.3. Umsetzung der neuen IAEA-Notfallklassierung

Aus der internationalen Überprüfungsmission im Jahr 2011 (siehe Kapitel 7.2) resultierte die Empfehlung, die Klassierung von Notfällen und das damit verknüpfte Aufgebot von Notfallorganisationen auf ein speziell für Notfälle geschaffenes Klassierungssystem der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) auszurichten. Vor diesem Hintergrund erarbeitete das ENSI zusammen mit den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke im Jahr 2013 ein Konzept zur Umsetzung der IAEA-Notfallklassierung.

Anfang des Jahres 2015 schlug das ENSI im Rahmen der Ämterkonsultation zur Revision der Strahlenschutzverordnung eine Änderung des Anhangs 6 der Kernenergieverordnung zur Einführung einer IAEA-kompatiblen Notfallklassierung vor. Parallel dazu erarbeiteten die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke anlagenspezifische Kriterien für die in der IAEA-Notfallklassierung verwendeten Kategorien. Nach der Prüfung der eingereichten Unterlagen kam das ENSI zum Schluss, dass für die in der IAEA-Notfallklassierung verwendeten Notfallkategorien technische und radiologische Kriterien jeweils anlagenspezifisch definiert wurden. Die Praktikabilität der neuen Alarmierungskriterien ist nach deren Implementierung in den anlagenspezifischen Betriebsvorschriften noch im Rahmen von Notfallübungen zu verifizieren. Des Weiteren forderte das ENSI die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke auf, ausgesuchte technische und radiologische Kriterien nochmals zu überprüfen bzw. diese zu erweitern.

Die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke haben aufgrund der zusätzlich geforderten Untersuchungen zusätzliche radiologische Kriterien in die neue Notfallklassierung aufgenommen. Aus Sicht des ENSI ist damit die IAEA-Notfallklassierung weitgehend in den Schweizer Kernkraftwerken umgesetzt. Ein offener Punkt betrifft die Klassierung des Notfalls «Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung» bei den Druckwasserreaktoren. Dieser Punkt wird im Rahmen der Aufsicht vom ENSI weiterverfolgt.

5.4. Anforderungen an Kommunikationseinrichtungen

Die Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima haben bestätigt, dass für eine effektive Führung und Koordination der erforderlichen Notfallmassnahmen eine zuverlässige Funktion der Kommunikationssysteme unabdingbar ist. Um die Redundanz der Kommunikationsmittel in Krisensituationen zu erhöhen, führte das ENSI in Zusammenarbeit mit den Standortkantonen, der Nationalen Alarmzentrale und den Betreibern der Kernanlagen am 1. November 2013 das Sicherheitsfunknetz Schweiz POLYCOM als alternatives Kommunikationssystem neben dem Fest-/Mobilfunknetz ein. Das Sicherheitsfunknetz wurde bei der Gesamtnotfallübung 2013 im Kernkraftwerk Leibstadt erstmals erfolgreich eingesetzt.

Die Implementierung eines weiteren, speziell geschützten Kommunikationsnetzes wird zurzeit auf Bundesebene evaluiert. Die diesbezügliche Planung erfolgt unter Federführung des BABS. Ersten Einschätzungen nach scheint eine Einführung eines solchen Kommunikationsnetzes auf Bundesebene in den nächsten Jahren jedoch nicht realistisch. Das ENSI arbeitet daher derzeit an einer weniger umfangreichen, aber kurzfristigeren Lösung, die die Kommunikation unter Notfallpartnern für den Fall eines extremen Erdbebens zuverlässiger abdecken soll.

6. Nationale Aufsicht

Die vertiefte Analyse des Unfalls in Fukushima hat einmal mehr deutlich gemacht, dass die Sicherheit von Kernkraftwerken nicht nur aus technischer Sicht beurteilt werden darf, sondern dass eine integrierte Sichtweise auf das gesamte sozio-technische System, also auf die menschlichen, technischen und organisatorischen Elemente sowie deren komplexes Zusammenspiel, erforderlich ist. Dabei spielt die in den Kernkraftwerken gelebte Sicherheitskultur eine zentrale Rolle, die aufzeigt, wie die Betreiber mit nuklearer Sicherheit umgehen und welchen Stellenwert sie der Sicherheit beimessen. Das ENSI führte im Jahr 2012 Fachgespräche mit den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke durch, um die Bedeutung und die Auswirkungen des Unfalls in Fukushima auf die anlagenspezifische Sicherheitskultur zu hinterfragen.

Der Unfall in Fukushima hat zudem gezeigt, dass die Sicherheitskultur einer Betreiberorganisation u.a. auch durch die Sicherheitskultur der zuständigen Aufsichtsbehörde (Aufsichtskultur) massgeblich beeinflusst wird. Vor diesem Hintergrund initialisierte das ENSI im Rahmen eines über drei Jahre laufenden, internen Projekts einen Selbstreflexionsprozess über seine Aufsichtskultur, um daraus konkrete Verbesserungsmassnahmen abzuleiten.

6.1. Aufsicht in den Schweizer Kernkraftwerken im Bereich der Sicherheitskultur

Die Sicherheitskultur umfasst neben sichtbaren und damit in der Aufsicht bewertbaren Merkmalen, wie Aufbau der Organisation und Verhaltensweisen der Mitarbeitenden eines Kernkraftwerks, auch nicht direkt beobachtbare und schwer zugängliche Werte der Mitglieder der beaufsichtigten Organisation. Letztere bedürfen einer speziellen Herangehensweise in der Aufsicht. Diese besteht beispielsweise in der Durchführung von offen und konstruktiv geführten Fachgesprächen, bei welchen insbesondere die Selbstreflexion der Betreiber über die eigene Sicherheitskultur gefördert werden soll.

Der Unfall in Fukushima hatte potenziell auf mehreren Ebenen Implikationen für die Sicherheitskultur der Schweizer Kernkraftwerke. Einerseits galt es zu hinterfragen, inwieweit die Erkenntnisse aus der Analyse des Unfalls bezüglich der Sicherheitskultur auf die Schweizer Kernkraftwerke übertragbar waren. Andererseits mussten die Auswirkungen der politischen Konsequenzen des Unfalls, namentlich der in der Schweiz beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie, auf die Sicherheitskultur reflektiert werden.

Während der Gespräche wurden beispielsweise die persönliche Betroffenheit der Mitarbeitenden und deren Umgang mit den Ereignissen in Japan und dem daraus folgenden Entscheid des Ausstiegs aus der Kernenergie sowie die von den Betreibern der Kernkraftwerke getroffenen Massnahmen für das Personal diskutiert. Auch wurden die gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf den Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen und die Möglichkeiten für die schweizerischen Kernkraftwerke, aus dem Unfall in Fukushima zu lernen, thematisiert. Die Gespräche stellten sowohl für die Beaufsichtigten als auch für das ENSI selbst eine wichtige Ergänzung zur technischen Bearbeitung des Unfalls in Fukushima dar. Damit konnten die Geschehnisse in Japan und jene in der Schweiz als Folge des Unfalls sowie deren Konsequenzen in einem breiteren Kontext, jenseits der technischen Implikationen und Massnahmen, reflektiert und verarbeitet werden.

Auch den sichtbaren und damit den klassischen Instrumenten der Aufsicht zugänglichen Elementen der Sicherheitskultur wurde nach dem Unfall in Fukushima spezielle Aufmerksamkeit gewidmet. Beispielsweise wurden Inspektionen zum Managementsystem der Beaufsichtigten verstärkt und systematisch durchgeführt. Zudem führte das ENSI einen neuen Aufsichtsschwerpunkt im Bereich Personal und Organisation ein. Gegenstand dieser neu institutionalisierten Fachsitzungen sind die kurz- und langfristigen Entwicklungen im Bereich von Personal und Organisation und, insbesondere in den älteren Anlagen, die Massnahmen zur Vorbereitung auf eine mittelfristige Stilllegung und zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme.

6.2. Reflexion der Aufsichtskultur des ENSI

Der Einfluss der Aufsichtsbehörde auf die Betreiber der Kernkraftwerke hängt neben den rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen wesentlich auch vom gewählten Aufsichtsansatz und der Aufsichtskultur der Behörde ab. Aus diesem Grunde ist es unabdingbar, dass sich die Aufsichtsbehörde hinsichtlich ihres Einflusses auf die Beaufsichtigten und deren Sicherheitskultur kontinuierlich hinterfragt und überprüft, ob die gelebte Kultur der Aufsicht angemessen und der Erfüllung des gesetzlichen Auftrags bezüglich des Schutzes von Mensch und Umwelt dienlich ist.

Das im Jahr 2012 vom ENSI initiierte Projekt zur Aufsichtskultur bestand aus drei Phasen, in deren Verlauf die gesamte ENSI-Belegschaft wiederholt aktiv einbezogen wurde. In der ersten Phase erfolgte anhand von konkreten Beispielen aus der Aufsichtspraxis eine Charakterisierung der Aufsichtskultur des ENSI. Darauf aufbauend wurde in der zweiten Phase eine konsolidierte Zusammenstellung von anzustrebenden Werten und Zielen der Aufsichtskultur (Soll-Zustand), von Handlungsfeldern und von Massnahmenvorschlägen ausgearbeitet. Die so durch alle Mitarbeitenden des ENSI erarbeiteten zentralen Werte der anzustrebenden Aufsichtskultur wurden bei der Erstellung des neuen Leitbildes im Jahr 2014 berücksichtigt und dort verankert. In der dritten Phase des Projekts wurde ein Massnahmenpaket zur Umsetzung des in der zweiten Phase formulierten Soll-Zustands erarbeitet. Dieses Paket umfasst u. a. Verbesserungen bei der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeitenden, die Förderung der internen, übergreifenden Zusammenarbeit, die Optimierung des Projektmanagements, Verbesserungen bei den Aufsichtsgrundlagen, die breitere Abstimmung von Aufsichtsentscheidungen mit weitreichenden Auswirkungen und die Umsetzung des Leitbilds in der Aufsichtstätigkeit.

Die Verinnerlichung der im Projekt erarbeiteten und im ENSI-Leitbild verankerten Werte, Haltungen und Praktiken sowie die Umsetzung der definierten Massnahmen erfordern teilweise Anpassungen bezüglich Verhaltensweisen und etablierten, langjährigen Praktiken innerhalb des ENSI.

7. Internationale Zusammenarbeit

7.1. Internationaler Erfahrungsrückfluss

Die umfassende und systematische Auswertung internationaler Betriebserfahrungen stellt eine wesentliche Informationsquelle dar, um die Sicherheit der Kernkraftwerke zu erhöhen. Dies setzt voraus, dass hierfür sowohl auf Seiten der Betreiber der Kernkraftwerke wie auch auf Seiten der Aufsichtsbehörde effektive und wirksame Prozesse implementiert sind. Vor diesem Hintergrund inspizierte das ENSI im Jahr 2012 die Prozesse und die zugehörigen Vorgabedokumente zur Auswertung internationaler Betriebserfahrungen in den Schweizer Kernkraftwerken.

Die Schwerpunktinspektionen zeigten, dass in allen Schweizer Kernkraftwerken weitgehend geeignete Vorgaben für eine umfassende und systematische Auswertung internationaler Betriebserfahrungen existieren. Verbesserungsbedarf wurde insbesondere bezüglich der Vorgaben zur Analyse und Ableitung von Massnahmen sowie zur Umsetzung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-Bo2 identifiziert. In der Richtlinie ENSI-Bo2 wurden Mitte des Jahres 2011, kurz nach dem Unfall in Fukushima, die Anforderungen an den Umfang der Berichterstattung über wichtige internationale Vorkommnisse erhöht. Die identifizierten Verbesserungsmaßnahmen wurden in allen Schweizer Kernkraftwerken im Jahr 2013 umgesetzt.

Das ENSI verfolgt auf internationaler Ebene in bilateralen Kommissionen und Arbeitsgruppen (z.B. FIRE, ICDE) die vertiefte Auswertung von Vorkommnissen. Zudem werden die in den Schweizer Kernkraftwerken aufgetretenen Vorkommnisse im Rahmen des Incident Reporting Systems (IRS) an die Internationale Atomenergieagentur (IAEA) und die Nukleare Energie Agentur (NEA) zur Sicherstellung des Erfahrungsaustausches gemeldet. Diese Tätigkeiten sind als Subprozesse im internen Prozess «Vorkommnisbearbeitung» verankert. Das ENSI überprüfte im Jahr 2014 diesen Prozess und erweiterte im Subprozess «Rückfluss aus internationaler Betriebserfahrung» das Informationsnetzwerk, indem die Zusammenarbeit mit dem «European Clearinghouse on NPP Operational Experience Feedback» intensiviert wurde. Hierbei handelt es sich um ein Expertengremium, das mittels umfassender Ereignisanalysen eine systematische Bewertung und Berichterstattung der internationalen Betriebserfahrung durchführt.

7.2. Internationale Aufsicht und Kooperation

Internationale Peer Reviews

Das internationale Übereinkommen über nukleare Sicherheit (Convention on Nuclear Safety, CNS) hat das Ziel, weltweit einen hohen Stand der nuklearen Sicherheit zu erreichen und aufrecht zu erhalten. Die Schweiz hat im Jahr 1996 das Übereinkommen ratifiziert und sich damit verpflichtet, die im Abstand von 3 Jahren zu erstellenden Länderberichte einzureichen und sich an den jeweiligen ordentlichen Überprüfungskonferenzen (Regular Review Meetings) aktiv zu beteiligen. Hierbei ist aufzuzeigen, wie die im Übereinkommen festgelegten Verpflichtungen erfüllt werden. Nach dem Unfall in Fukushima fanden zwei ordentliche Überprüfungs tagungen in den Jahren 2011 und 2014 sowie eine ausserordentliche Tagung zum Unfall in Fukushima im Jahr 2012 statt. Die Schweiz konnte bei diesen Tagungen jeweils aufzeigen, dass sie sich den identifizierten Herausforderungen gestellt hat. Für die im Jahr 2017 stattfindende ordentliche Überprüfungs tagung hat das ENSI den Länderbericht Mitte des Jahres 2016 abgegeben.

Zudem ist das ENSI gesetzlich verpflichtet, sich periodisch durch externe Experten überprüfen zu lassen. In diesem Zusammenhang fand im Jahr 2011 eine IAEA-Überprüfungsmission statt (Integrated Regulatory Review Service, IRRS), in deren Rahmen internationale Experten die regulatorischen Randbedingungen für die nukleare Aufsicht in der Schweiz und die Sicherheitsanforderungen an die Schweizer Kernanlagen überprüften. Das ENSI erhielt eine sehr gute Beurteilung, indem zahlreiche «Good Practices» für international beispielhafte Lösungen ausgesprochen wurden. Die Experten hoben insbesondere hervor, dass mit der Schaffung des ENSI im Jahr 2009 als eine vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und vom Bundesamt für Energie (BFE) unabhängige und öffentlich-rechtliche Anstalt eine zentrale Forderung des Übereinkommens über die nukleare Sicherheit erfüllt wurde. In der im Jahr 2015 anschliessenden Überprüfungsmission wurde bestätigt, dass die in der Überprüfungsmission 2011 an das ENSI gerichteten Empfehlungen erfolgreich abgeschlossen wurden. Die an die schweizerische Regierung gerichteten Empfehlungen, insbesondere die Entscheidungskompetenzen des ENSI zu erweitern, wurden allesamt als noch offen bewertet.

Auf Anfrage der Schweizer Regierung fand im Jahr 2012 eine ebenfalls von der IAEA angebotene Überprüfungsmission durch ein Operational Safety Review Team (OSART) im Kernkraftwerk Mühleberg statt. Neben zahlreichen Punkten einer guten Praxis gaben die internationalen Experten auch 21 Empfehlungen zur Verbesserung der betrieblichen Sicherheit an, von denen die Hälfte in der im Jahr 2014 nachfolgenden Überprüfungsmission als abgeschlossen bewertet wurden. Das ENSI hat die Umsetzung der verbleibenden Empfehlungen in Form von Inspektionen und Fachgesprächen eng verfolgt und kam Anfang des Jahres 2016 zum Ergebnis, dass alle hierfür erforderlichen Massnahmen vom KKM durchgeführt wurden.

Umsetzung internationaler Anforderungen

Das ENSI hatte bereits vor dem Unfall in Fukushima erhebliche Anstrengungen unternommen, das bestehende eigene Regelwerk insbesondere mit den Anforderungen der IAEA und den Anforderungen der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) zu harmonisieren. Die diesbezügliche Anpassung der Richtlinien ist weit fortgeschritten. Zurzeit steht insbesondere noch die Inkraftsetzung des zweiten Teils der Richtlinien ENSI-Go2 «Auslegungsgrundsätze für in Betrieb stehende Kernkraftwerke» (neue Richtlinie), der Richtlinie ENSI-Ao1 «Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen» (Neuausgabe) und der Richtlinie ENSI-Ao5 «Anforderungen an die Probabilistische Sicherheitsanalyse» (Neuausgabe) an.

Unmittelbar nach dem Unfall in Fukushima brachte die Schweiz im Rahmen zweier Ministerialkonferenzen über nukleare Sicherheit den Vorschlag ein, die nukleare Sicherheit in allen Kernenergieländern periodisch von internationalen Experten im Hinblick auf die Erfüllung der Anforderungen der IAEA überprüfen zu lassen und die Resultate dieser Überprüfungen zu veröffentlichen. Zum einen sollten die staatliche Aufsicht über die Kernenergie im Rahmen von IRRS-Missionen, zum anderen die betriebliche Sicherheit von Kernkraftwerken im Rahmen von OSART-Missionen überprüft werden. Dieser Vorschlag fand Eingang in einen Aktionsplan der IAEA zur Stärkung der Rahmenbedingungen für die nukleare Sicherheit, allerdings nur auf freiwilliger Basis.

Darüber hinaus hat sich die Schweiz in der CNS sehr für die Festschreibung strengerer Anforderungen an neue Kernkraftwerke und einer Nachrüstpflicht für bestehende Kernkraftwerke eingesetzt. In der aufgrund der Schweizer Initiative einberufenen diplomatischen Konferenz wurde im Februar 2015 die Vienna Declaration on Nuclear Safety auf Basis der von der Schweiz vorgeschlagenen Anforderungen verabschiedet. Die Umsetzung der dort festgelegten Prinzipien wird im Rahmen der nächsten ordentlichen Überprüfungstagung der CNS im Jahr 2017 überprüft.

7.3. EU-Stresstest Follow-Up

Die Schweiz hat sich nach dem Unfall in Fukushima freiwillig am europäischen Stresstest für Kernkraftwerke beteiligt (EU-Stresstest), an dem im Auftrag der Europäischen Kommission alle Mitgliedstaaten mit Kernkraftwerken verbindlich teilzunehmen hatten. Im Frühjahr 2012 fand ein umfassender Überprüfungsprozess der Ende des Jahres 2011 eingereichten Länderberichte statt. Aus dieser Überprüfung resultierten länderspezifische wie auch europaweite Empfehlungen zur Erhöhung der Sicherheit der Kernkraftwerke. Die European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) verabschiedete noch im Jahr 2012 einen Aktionsplan zur Verfolgung der Umsetzung dieser Empfehlungen. Im Aktionsplan wurden die teilnehmenden Länder aufgefordert, eigene nationale Aktionspläne für die Umsetzung der aus dem EU-Stresstest resultierenden Empfehlungen auszuarbeiten und diese periodisch zu aktualisieren.

Der Stand der Umsetzung der in den nationalen Aktionsplänen festgehaltenen Überprüfungs- und Verbesserungsmaßnahmen wurde im Rahmen zweier Workshops im Frühjahr 2013 und Frühjahr 2015 überprüft, an denen die Schweiz aktiv vertreten war. Der Schweizer Aktionsplan wurde im Rahmen dieser Workshops von den beteiligten internationalen Experten positiv beurteilt, da dieser nachvollziehbar aufzeigt, dass die Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke entsprechend den Empfehlungen aus dem EU-Stresstest und den Schlussfolgerungen aus der ausserordentlichen Überprüfungskonferenz der CNS kontinuierlich verbessert wurde. Als sogenannte «Commendable Practice» wurden die in der Schweiz nach dem Unfall in Fukushima durchgeführten Massnahmen, wie die schnelle Realisierung des Lagers in Reitnau (siehe Kapitel 4.1), die Einsetzung der Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallmassnahmen (siehe Kapitel 5) und die Festlegung neuer Erdbebengefährdungsannahmen (siehe Kapitel 2.1) hervorgehoben.

8. Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) hat unmittelbar nach den Reaktorunfällen im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Dai-Ichi mit einer umfangreichen Ursachenanalyse begonnen und sich freiwillig an der Überprüfung der europäischen Kernkraftwerke (EU-Stresstest) im Jahr 2011 beteiligt. Aus diesen Untersuchungen wurden zahlreiche Prüfpunkte abgeleitet, die im Rahmen des schweizerischen «Aktionsplanes Fukushima» zu 20 Untersuchungsschwerpunkten zusammengefasst und bearbeitet wurden. Das ENSI hat in den Jahren 2012 bis 2015 jeweils einen Bericht zum Stand der Bearbeitung der Untersuchungsschwerpunkte veröffentlicht. In dem vorliegenden Schlussbericht zum Aktionsplan Fukushima wird der Stand der einzelnen Untersuchungsschwerpunkte, geordnet nach 6 Themenbereichen, dargestellt.

Nachfolgend wird der Stand der Untersuchungen und der daraus resultierenden Massnahmen zusammengefasst, der Umfang der durchgeführten Untersuchungen mit den aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten internationalen Empfehlungen verglichen und das weitere Vorgehen dargelegt.

8.1. Stand der Untersuchungen und daraus resultierender Massnahmen

Schutz gegen naturbedingte Ereignisse und den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen

Die Untersuchungen haben insbesondere bestätigt, dass die Schweizer Kernkraftwerke unter Berücksichtigung aktualisierter Gefährdungsannahmen einen hohen Schutz gegen die Auswirkungen der naturbedingten Ereignisse Erdbeben, Überflutung und extreme Wetterbedingungen aufweisen und dass geeignete Vorkehrungen gegen den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen getroffen wurden. Unter anderem wurden in den Schweizer Kernkraftwerken zahlreiche zusätzliche Notfallmittel angeschafft, die besonders geschützt fest installiert oder auf dem Anlagenareal gelagert wurden, um bei Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung die Anlagen in einen sicheren Zustand überführen zu können.

Es wurde der Nachweis erbracht, dass die grundlegenden Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente und Einschluss radioaktiver Stoffe) eingehalten werden. Im Hinblick auf eine weitere Verbesserung der Sicherheit hat das ENSI dennoch substantielle Nachrüstungen für die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau gefordert:

- Das Kernkraftwerk Mühleberg hat eine überflutungssichere, von der Aare unabhängige Kühlwasserversorgung des Notstandsystems nachgerüstet und diese im Jahr 2015 in Betrieb genommen.
- Zurzeit werden in beiden Anlagen neue, in die Notstandsysteme eingebundene Brennelementbeckenkühlsysteme nachgerüstet. Diese Systeme sind erdbeben- und überflutungssicher ausgelegt und werden Ende des Jahres 2016 bzw. 2017 in Betrieb genommen.

Diese Nachrüstungen wurden bzw. werden im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI in Form von Freigaben und Inspektionen eng verfolgt.

Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass die Schweizer Kernkraftwerke auch aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter, punktueller Ertüchtigungen zum Teil noch deutliche Sicherheitsmargen gegen die Auswirkungen naturbedingter Ereignisse besitzen. Das Kernkraftwerk Gösgen hat im Hinblick auf den geplanten Langzeitbetrieb ein umfangreiches Nachrüstprojekt initiiert, um die aufgrund der erhöhten Erdbebengefährdung deutlich reduzierten Sicherheitsmargen wieder zu erhöhen. Hierbei handelt es sich um ein längerfristig angelegtes Nachrüstprojekt. Zudem ist in allen Schweizer Kernkraftwerken der Schutz gegen extreme Wetterbedingungen noch punktuell zu verbessern.

Die den Untersuchungen gegen naturbedingte Ereignisse zugrunde gelegten Gefährdungsannahmen sind zum Teil auf Basis sehr umfangreicher Gefährdungsanalysen bereits aktualisiert worden bzw. sind noch im Rahmen weiterer Analysen zu aktualisieren. So wurden im Jahr 2016 durch das ENSI neue seismische Gefährdungsannahmen festgelegt, auf deren Basis die Schweizer Kernkraftwerke neue Erdbebennachweise gestaffelt bis 2020 durchzuführen und einzureichen haben. Die vorliegenden Gefährdungsanalysen für extreme Winde und extreme Temperaturen sind durch die Schweizer Kernkraftwerke bis zur nächsten Periodischen Sicherheitsüberprüfung auf Basis einer regionalen Betrachtung neu zu bestimmen.

Schutz gegen schwere Unfälle (Severe Accident Management)

Bei den Untersuchungen des Schutzes der Schweizer Kernkraftwerke gegen schwere Unfälle wurden mehrere Verbesserungen bezüglich der zusätzlichen Bereitstellung von Notfallmitteln, der Vermeidung kritischer Wasserstoffansammlungen inner- und ausserhalb des Containments, der Unterbringung der Notfallorganisationen wie auch der Überwachung radioaktiver Abgaben über den Wasserpfad identifiziert. Mit der Einrichtung eines externen Lagers für Notfallmittel, der Einrichtung eines Ersatzstandortes für die Notfallorganisation des ENSI, der Anpassung von Prozessabläufen und Kriterien zur Meldung und Alarmierung radioaktiver Abgaben in Fließgewässer und der Erweiterung der diesbezüglichen Überwachungsprogramme wurden zahlreiche der aus den Untersuchungen abgeleiteten Massnahmen bereits umgesetzt. Insbesondere stehen noch

- die Nachrüstungen passiver Rekombinatoren in den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt,
- die Erweiterung der bestehenden passiven Rekombinatoren im Kernkraftwerk Beznau sowie
- die Einrichtung anlagenexterner Notfalleinsatzräume an.

Auch diese Nachrüstungen werden im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI in Form von Freigaben, Inspektionen und Übungen eng verfolgt.

Nationales Notfallmanagement

Die im Auftrag des Bundesrats einberufene interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX) identifizierte mehrere Verbesserungen bezüglich der Anforderungen an Mess- und Prognosesysteme zur Erfassung und Bewertung der radiologischen Lage nach einem schweren Unfall, der Referenzszenarien für die Notfallplanung, der Vorbereitung zu ergreifender Massnahmen innerhalb der Schutzzonen, der Klassierung von Notfällen und der Kommunikationsnetze. Mit der gezielten Alarmierung von Teilen der Bevölkerung, der erweiterten Verteilung von Jodtabletten und der vorsorglichen Evakuierung in der Zone 2 sowie der Festlegung eines neuen Referenzszenarios mit erhöhter Freisetzung, die Anpassung der bestehenden Notfallklassierung an internationale Anforderungen und der Einführung eines Sicherheitsfunknetzes wurde der Grossteil der aus den Untersuchungen abgeleiteten Massnahmen bereits umgesetzt. Insbesondere stehen noch

- die Ertüchtigung des Ortsdosisleistung-Messsystems und
- die Implementierung eines speziell geschützten Kommunikationssystems an.

Zudem bedarf es noch Anpassungen verschiedener Verordnungen, damit die abgeleiteten Massnahmen auf gesetzlicher Basis festgelegt sind.

Nationale Aufsicht

Die Aufsicht des ENSI in den Schweizer Kernkraftwerken wurde im Bereich der Sicherheitskultur durch Inspektionen zum Managementsystem verstärkt und es wurde ein neuer Aufsichtsschwerpunkt im Bereich Personal und Organisation eingeführt. Gegenstand des neuen Aufsichtsschwerpunktes sind kurz- und langfristige Entwicklungen von Personal und Organisation sowie Massnahmen zur Vorbereitung auf eine mittelfristige Stilllegung und zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme insbesondere der älteren Schweizer Kernkraftwerke.

Darüber hinaus hat das ENSI ein Projekt initiiert, in dessen Rahmen die eigene Aufsichtskultur reflektiert wurde. Daraus wurden Massnahmen zur Verbesserungen bei der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeitenden, die Förderung der internen, übergreifenden Zusammenarbeit, die Optimierung des Projektmanagements, Verbesserungen bei den Aufsichtsgrundlagen und die breitere Abstimmung von Aufsichtsentscheidungen mit weitreichenden Auswirkungen abgeleitet. Die Verinnerlichung der im Projekt erarbeiteten und im ENSI-Leitbild verankerten Werte, Haltungen und Praktiken sowie die Umsetzung der definierten Massnahmen erfordern teilweise Anpassungen bezüglich Verhaltensweisen und etablierten, langjährigen Praktiken innerhalb des ENSI.

Internationale Zusammenarbeit

Seitens ENSI wurde die internationale Zusammenarbeit in mehreren Bereichen intensiviert. Dies betrifft insbesondere

- die Auswertung internationaler Betriebserfahrungen,
- die Festschreibung strengerer Sicherheitsanforderungen an neue Kernkraftwerke und einer Nachrüstpflicht für bestehende Kernkraftwerke auf höchster internationaler Ebene und
- die Prüfung der regulatorischen Randbedingungen für die nukleare Aufsicht in der Schweiz und der geltenden Sicherheitsanforderungen an die Schweizer Kernkraftwerke durch internationale Experten (Integrated Regulatory Review Service, IRRS).

In der im Jahr 2015 anschliessenden Überprüfungsmission (IRRS Follow-Up) wurde bestätigt, dass die in der Überprüfungsmission 2011 an das ENSI gerichteten Empfehlungen erfolgreich abgeschlossen wurden. Die an die schweizerische Regierung gerichteten Empfehlungen, insbesondere die Entscheidungskompetenzen des ENSI zu erweitern, wurden allesamt als noch offen bewertet.

Zudem hat sich die Schweiz nach dem Unfall in Fukushima freiwillig am europäischen Stresstest für Kernkraftwerke (EU-Stresstest) und an den nachfolgenden Workshops (Follow-Up) beteiligt. In diesen Workshops wurde die Umsetzung der aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten länderspezifischen und europaweiten Empfehlungen anhand der eingereichten nationalen Aktionspläne überprüft. Der Schweizer Aktionsplan wurde im Rahmen dieser Workshops von den beteiligten internationalen Experten positiv beurteilt, da dieser nachvollziehbar aufzeigt, dass die Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke entsprechend den Empfehlungen aus dem EU-Stresstest und den Schlussfolgerungen aus der ausserordentlichen Überprüfungskonferenz der Convention on Nuclear Safety kontinuierlich verbessert wurde.

8.2. Vergleich des Umfangs der durchgeführten Untersuchungen mit den aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten internationalen Empfehlungen

Im Rahmen der Überprüfung der nationalen Aktionspläne auf europäischer Ebene hat das ENSI im Bericht /4/ einen Abgleich zwischen den im schweizerischen Aktionsplan festgehaltenen Prüfpunkten und den Empfehlungen aus dem EU-Stresstest und den Schlussfolgerungen aus der ausserordentlichen Überprüfungskonferenz der Convention on Nuclear Safety (CNS) durchgeführt. Dieser Abgleich zeigt auf, dass die internationalen Empfehlungen bis auf wenige Ausnahmen über den schweizerischen Aktionsplan abgedeckt sind. Die Ausnahmen betreffen insbesondere Empfehlungen zur periodischen Aktualisierung der Gefährdungsannahmen naturbedingter Ereignisse sowie zur Durchführung spezifischer Analysen bezüglich kritischer Anlagenzustände während des Revisionsstillstands und schwerer Unfälle. Derartige Analysen wurden vom ENSI bereits vor dem Unfall in Fukushima gefordert und von den Schweizer Kernkraftwerken periodisch durchgeführt.

Darüber hinaus hat das ENSI in /4/ die im schweizerischen Aktionsplan festgehaltenen Prüfpunkten mit den von der International Atomic Energy Agency (IAEA) im Jahr 2011 kurz nach dem Unfall in Fukushima veröffentlichten Empfehlungen (Action Plan on Nuclear Safety) verglichen. Der Vergleich hat ergeben, dass diese Empfehlungen bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls über den schweizerischen Aktionsplan abgedeckt sind. Die Ausnahmen betreffen insbesondere Empfehlungen zur freiwilligen Durchführung von Überprüfungsmissionen durch internationale Experten, zur Einführung einer gesetzlichen verankerten globalen, nuklearen Haftung bei schweren Unfällen sowie zur Unterstützung der Forschung im Bereich der nuklearen Sicherheit. Diesen Empfehlungen wurde bereits weit vor dem Unfall in Fukushima nachgekommen, indem in der Schweiz bereits im Jahr 1998 eine erste Überprüfungsmission durch internationale Experten durchgeführt wurde und weitere folgten, die nukleare Haftung bereits 1983 in der Schweiz gesetzlich verankert war und die Koordinierung und Förderung der nuklearen Sicherheitsforschung in der Schweiz wichtiger Bestandteil der Aufsichtstätigkeit des ENSI war und immer noch ist.

8.3. Weiteres Vorgehen

Insgesamt ist festzuhalten, dass die im schweizerischen Aktionsplan Fukushima geplanten Untersuchungen mit den identifizierten 20 Schwerpunkten allesamt abgeschlossen sind. Ein Grossteil der daraus abgeleiteten Verbesserungsmassnahmen wurde bereits abgeschlossen. Insbesondere sind folgende Verbesserungsmassnahmen noch nicht abgeschlossen:

- Punktuelle Nachrüstungen in den Schweizer Kernkraftwerken zur Erhöhung des Schutzes gegen naturbedingte Ereignisse und schwere Unfälle,
- Einrichtung anlagenexterner Notfalleinsatzräume,
- Aktualisierung der Gefährdungsannahmen für extreme Winde und Temperaturen,
- die Ertüchtigung des Ortsdosisleistungsmesssystems und die Implementierung eines speziell geschützten Kommunikationssystems zur Verbesserung des Notfallmanagements,
- Anpassungen verschiedener Verordnungen, damit die im Bereich des Notfallmanagements abgeleiteten Massnahmen auf gesetzlicher Basis festgelegt sind.

Die Umsetzung dieser Massnahmen wird mit Ausnahme des letzten Punktes im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI verfolgt bzw. in Zusammenarbeit mit anderen Bundesbehörden koordiniert und wird noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Das ENSI wird im Rahmen seiner jährlichen Aufsichtsberichte über die Umsetzung der Massnahmen berichten.

9. Abkürzungen

BABS	Bundesamt für Bevölkerungsschutz
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
CNS	Convention on Nuclear Safety
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators Group
ERSIM	Erhöhung der Sicherheitsmargen
EU	Europäische Union
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergieagentur)
IDA NOMEX	Interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz
IRRS	Integrated Regulatory Review Service
MADUK	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke
NAZ	Nationale Alarmzentrale
OSART	Operational Safety Review Team
PEGASOS	Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz
PRP	PEGASOS Refinement Project
PRP-IH	PRP Intermediate Hazard
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association

10. Referenzen

- /1/ ENSI, Aktionsplan Fukushima 2015, Februar 2015 (ENSI-AN-9106)
- /2/ ENSREG, Compilation of Recommendations and Suggestions from der Review of the European Stress Tests, July 2012
- /3/ IAEA, Final Summary Report from the 2nd Extraordinary Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, August 2012
- /4/ ENSI, EU Stress Test, Swiss National Action Plan, Follow Up of the Peer Review, Dezember 2014 (ENSI-AN-9041)
- /5/ ENSI, Implementation of post-Fukushima International Recommendations, Mai 2014 (ENSI-AN-8801)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Informationsdienst
CH-5200 Brugg
Telefon 0041 (0)56 460 84 00
Telefax 0041 (0)56 460 84 99
info@ensi.ch
www.ensi.ch

ENSI-AN-9872
Publiziert am 21.12.2016

