



Aktennotiz

Datum: 18.02.2013

Seiten: 9

Anhänge: -

Beilagen: -

Verteiler intern:

Verteiler extern: KKL

Sachbearbeiter:

Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung

keine

Aktenzeichen

12KEX, 10KEX.APFUKU6

Publidocs

ENSI 12/1792

Schlagwörter

Verfügung 5. Mai, Brennelementbecken, Radiolyse, Zirkoniumoxidation, Wasserstoff

433



Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken

1	Anlass	2
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Gegenstand und Grundlage der Beurteilung	3
1.3	Internationale Erkenntnisse	3
2	Bewertung der Gefährdung durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken	4
2.1	Radiolyse	4
2.2	Zirkoniumoxidation	6
2.3	Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung	7
3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	7
4	Referenzen	9



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

1 Anlass

1.1 Ausgangslage

Am 11. März 2011 führte das Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki-Erdbeben und der daraus resultierende Tsunami zu schweren Unfällen mit Kernschmelzen in drei Kernkraftwerksblöcken am Standort Fukushima Dai-ichi (Fukushima I) in Japan. Aufgrund dieser Ereignisse hat das ENSI am 18. März 2011 unter anderem verfügt, dass die Auslegung der Kernkraftwerke in der Schweiz bezüglich Erdbeben und Überflutung unverzüglich erneut zu überprüfen ist /1/, gestützt auf Art. 2 Abs. 1 Bst. d der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5).

In seiner zweiten Verfügung vom 1. April 2011 /2/ hat das ENSI die Randbedingungen und Termine für die Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung sowie den Nachweis zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach Art. 3 der „Ausserbetriebnahmeverordnung“ (SR 732.114.5) festgelegt. Nicht Gegenstand der „Ausserbetriebnahmeverordnung“ ist der Erdbebennachweis für die Brennelement-Lagerbecken, weshalb das ENSI in seiner dritten Verfügung vom 5. Mai 2011 /3/ unter anderem gefordert hat, dass das KKL bis zum 31. März 2012 gemäss den Verfahrensvorgaben der Verfügung vom 1. April 2011 zusätzlich die Auslegung der Brennelement-Lagerbecken, -Gebäude und -Kühlsysteme zu überprüfen hat.

Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erkenntnisse über den Block IV am Standort Fukushima Dai-ichi ging das ENSI davon aus, dass die Explosion durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken hervorgerufen wurde. Gestützt auf die Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) Art. 6 Abs. c, hat das ENSI das KKL aufgefordert, die mögliche Wasserstoffentstehung durch Radiolyse und Zirkoniumoxidation sowie die Wasserstoffbeherrschung im Brennelement-Lagergebäude bis zum 31. März 2012 zu prüfen und zu bewerten.

Am 28. März 2012 hat das ENSI einer Terminerstreckung /4/ für die Bewertung des Schutzes gegen Wasserstoffdeflagrationen und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken zugestimmt. Die Bewertung des KKL /5/ und /6/ wurde Ende Juni 2012 termingerecht eingereicht.

Mit der Stellungnahme vom 31. August 2011 nahm das ENSI zu den eingereichten Unterlagen bezüglich Überflutung /7/ und Ende Juni 2012 zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens /8/ für das KKL Stellung. Dabei wurden auch die vorhandenen Systeme zur Brennelementbeckenkühlung bewertet. Das KKL konnte nachweisen, dass die Brennelement-Beckenintegrität bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben erhalten bleibt und eine Gefährdung der Brennelementbecken für 10'000-jährliche Ereignisse (Erdbeben und Überflutung) ausgeschlossen ist. Die gelagerten Brennelemente können ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel während mindestens 3 Tagen sicher gekühlt werden.

Die freigesetzten Mengen an Radioaktivität wurden ebenfalls bewertet. Dabei konnte das KKL nachweisen, dass für ein 10'000-jährliches Erdbeben die Dosislimite von 100 mSv eingehalten wird. Die betrachteten Freisetzungen für das Erdbeben beinhalten summarisch alle Freisetzungen, auch diejenigen aus dem Brennelementbecken.

Kapitel 1 dieser Aktennotiz enthält allgemeine Angaben zum Anlass der Überprüfung, zu den Ergebnissen der oben erwähnten Erdbeben- und Überflutungsnachweise sowie zu den Beurteilungsgrundlagen des ENSI. Weiterhin werden in Kapitel 1 die internationalen Erkenntnisse zu den Vorgängen im Brennelementbecken des Blocks IV in Fukushima dargelegt. Die Angaben zur Radiolyse im Brennelementbecken wird in Kapitel 2.1 und die zur Zirkoniumoxidation in Abschnitt 2.2 bewertet. In Ab-



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX, APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

schnitt 2.3 werden die Darlegungen zu den Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung beurteilt. Kapitel 3 enthält die Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

1.2 Gegenstand und Grundlage der Beurteilung

Gegenstand der vorliegenden Stellungnahme ist die Beurteilung der Wasserstoffentstehung durch Radiolyse und der bei schweren Unfällen möglichen Zirkoniumoxidation. Aufgrund der unvollständigen Informationen über den Zustand des Brennelementbeckens von Block IV in Fukushima kurz nach den Wasserstoffexplosionen und der daraus resultierenden Unsicherheit über den Ablauf verfügte das ENSI, den Schutz gegen Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementbecken für „schwere Unfälle“ in den schweizerischen Anlagen zu untersuchen.

Aufgrund der heutigen Erkenntnisse ist der Begriff „schwerer Unfall“ für die Abläufe im Brennelementbecken des Blocks IV nicht mehr zutreffend, da es zu keiner Zirkoniumoxidation gekommen ist. Für die Beurteilung des Unfallablaufs wird ein 10'000-jährliches Erdbeben oder Hochwasser mit Ausfall der dagegen ungeschützten Notstromversorgung angenommen. Die gebunkerten Notstandssysteme sind verfügbar. Die Stellungnahmen zur Überflutung und zu Erdbeben werden bezüglich der Robustheit der vorhandenen Brennelementbecken ebenfalls in die Bewertung einbezogen.

Bei der Beurteilung der Wasserstoffproblematik bei den Brennelementbecken stützt sich das ENSI weiterhin auf den Stand von Wissenschaft und Technik gemäss KEV Art. 36 Abs. 1 unter Berücksichtigung der internationalen Erkenntnisse zu dem Ablauf im Brennelementbecken des Blocks IV in Fukushima. Ferner basiert die Bewertung des ENSI auch auf Art. 10 Bst. k der KEV, gemäss dem Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen denjenigen zur Linderung der Konsequenzen von Störfällen vorzuziehen sind.

Für die Radiolyse in den Brennelementbecken erachtet das ENSI die bei Siedewasserreaktoren im Leistungsbetrieb gemessene Wasserstoffproduktionsrate als konservativ. Gemäss /9/ kann die Wasserstoffproduktion generisch ungefähr durch den Wert $13,0 \text{ cm}^3 / (\text{MW}_{\text{th}} \cdot \text{s})$ approximiert werden. Dieser ist konservativ, da im Brennelementbecken die Neutronenstrahlung vernachlässigbar ist und somit nicht zur Radiolyse beiträgt. Die Werte nach Camp-NUREG /10/ können ebenfalls als konservativ für die Produktionsrate an Wasserstoff durch Radiolyse angesehen werden. Generell entsteht Wasserstoff nur durch Radiolyse, solange eine Wasserüberdeckung der Brennelemente im Brennelementbecken gewährleistet ist.

Eine Gefährdung durch Wasserstoff bzw. Wasserstoffdeflagration oder -explosion kann ausgeschlossen werden, wenn die Konzentration von Wasserstoff lokal unter 4,0 Vol. % liegt oder der Dampfgehalt grösser als 55 Vol. % ist (/10/ und /11/).

Gemäss der Verfügung /2/ ist nachzuweisen, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann und dieser Zustand ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel während mindestens 3 Tagen stabil gehalten werden kann. Dieses Zeitfenster ist aus Sicht des ENSI ausreichend, um mittels Accident Management Massnahmen den Störfall zu beherrschen.

1.3 Internationale Erkenntnisse

Im Block IV in Fukushima kam es trotz des seit mehreren Monaten ausgeladenen Kerns am 15. März 2011 (also fast 4 Tage nach dem Erdbeben) zu einer Explosion im Bereich des Brennelementbeckens.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

Das EPRI /12/ (Electrical Power Research Institute) hat in der „Zusammenfassung der ersten Einschätzungen zum Zustand der Brennelemente im Lagerbecken von Fukushima“ verschiedene Analysen möglicher Störfallszenarien untersucht und kommt zu dem Schluss, dass Radiolyse und Zirkonioximodation nicht zur Wasserstoffexplosion im Block IV geführt haben können. In den Analysen wurden verschiedene Randbedingungen, wie beispielsweise eine lokale Dampfblasenbildung mit örtlicher Überhitzung der Brennelemente, unterstellt. Selbst diese konservative und physikalisch eher unrealistische Annahme kann die benötigte Wasserstoffproduktion nicht erklären.

In ihrem Zwischenbericht /13/ zu den Abläufen in Fukushima greift die GRS die Analysen von NISA und TEPCO auf, gemäss derer es aufgrund der Nuklidzusammensetzung im Brennelementbecken zu keinen umfangreichen Schäden an den Brennelementen gekommen ist.

Das ENSI hat das Paul Scherer Institut (PSI) /14/ kurz nach der Wasserstoffexplosion im Block IV damit beauftragt, die mögliche Wasserstoffproduktionsrate im Brennelementbecken zu untersuchen. Das PSI kam zu dem Schluss, dass unter extrem konservativen Randbedingungen die Möglichkeit eines zündfähigen Wasserstoffgemischs (H_2 Vol. $>4\%$) besteht. Hierbei wurde jedoch unterstellt, dass das freie Volumen über dem Brennelementbecken nur 60 m^3 beträgt. Zusätzlich wurde ein sehr konservativer Faktor für die Radiolyseproduktionsrate angenommen. Unter realistischen Randbedingungen ist die Wasserstoffproduktionsrate viel kleiner und das freie Volumen über dem Brennelementbecken wesentlich grösser (in den schweizerischen Anlagen zwischen einigen tausend bis zu einigen zehntausend Kubikmetern).

Das ENSI kommt nach heutiger Erkenntnis zu dem Schluss (siehe Aktennotiz /15/ des ENSI zum Ablauf Fukushima), dass die Explosion in Block IV durch Wasserstoff, welcher über das gemeinsame Abgässystem von Block III in den Block IV gelangt ist, ausgelöst wurde. Erste Untersuchungen /16/ des Brennelement-Lagerbeckens von Block IV haben bestätigt, dass keine Schäden an den Beckenstrukturen aufgetreten sind. Die Zirkonioximodation im Brennelementbecken konnte durch die Untersuchung des Brennelementbeckenwassers /13/ ausgeschlossen werden. Die gemessene Radioaktivität ist viel zu gering und entspricht nicht der Zusammensetzung, welche bei einem Brennelementschaden zu erwarten ist.

2 Bewertung der Gefährdung durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken

Die möglichen Entstehungsursachen von Wasserstoff sind einerseits Radiolyse des Wassers durch die vorhandene Strahlung der Brennelemente und andererseits Zirkonioximodation, also die Oxidation des Zirkoniums der Hüllrohre mit Dampf.

2.1 Radiolyse

Radiolyse ist ein Prozess im Reaktorkern oder in den Brennelement-Lagerbecken, bei dem es zur Aufspaltung der chemischen Verbindung des Wassers unter Einwirkung ionisierender Strahlung kommt. Während des Leistungsbetriebes wird durch die Gamma- und Neutronenbestrahlung im Reaktorkern laufend Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Bei Druckwasserreaktoren rekombiniert der entstehende Wasserstoff mit dem Sauerstoff aufgrund des geschlossenen Primärkreislaufes wieder. Im Siedewasserreaktor wird der Wasserstoff mit dem entstehenden Dampf zur Turbine abtransportiert und im Kondensator als nicht-kondensierbares Gas abgesaugt und in dafür vorgesehenen Rekombinatoren verbrannt.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

Die abzuführende Nachzerfallsleistung aus den Brennelement-Lagerbecken entsteht durch den radioaktiven Zerfall der im Brennelement vorhandenen Spaltprodukte mit Aussendung entsprechender Gammastrahlung. Dies führt wiederum zur Radiolyse des Wassers. Aufgrund der viel geringeren Nachzerfallsleistung im Vergleich zur Normalleistung im Betrieb und der vernachlässigbaren Neutronenstrahlung ist die Produktionsrate von Wasserstoff im Brennelement-Lagerbecken viel kleiner als im Reaktordruckbehälter.

Gemäss der aktuellen Beurteilung der Brennelement-Lagerbecken des KKL ist dessen Integrität bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben sichergestellt. Dies bedeutet, dass in den ersten 72 Stunden unter den vorgegebenen Randbedingungen bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben Wasserstoff nur durch Radiolyse im Brennelement-Lagerbecken entstehen kann, weil keine Kernabdeckung stattfindet.

Angaben des Betreibers

Im Brennelement-Lagerbecken wird Wasserstoff überwiegend durch Gamma-Absorption produziert, da nur wenig schnelle Neutronen zur Verfügung stehen. Unter Annahme der Nachzerfallswärme von 2,09 MW im Brennelement-Lagerbecken ergibt dies eine Wasserstoff-Produktionsrate von 0,039 m³/h. Bezogen auf das Raumvolumen im Brennelement-Lagerbeckengebäude liegt die Wasserstoffkonzentration bei ausgefallener Lüftung nach 60 Tagen mit circa 0,52 Vol. % in der Raumluft noch deutlich unter jener für ein zündfähiges Gemisch.

Beurteilung ENSI

Die vom KKL gewählten Annahmen, die zur Abschätzung für die produzierte Wasserstoffmenge herangezogen werden, sind plausibel und die Berechnungen sind nachvollziehbar und korrekt. Für die Abschätzung der produzierten Menge an Wasserstoff durch Radiolyse hat das KKL einen konservativen Ansatz gewählt. Es wird angenommen, dass die Wasserstoff-Produktionsrate in den Brennelement-Lagerbecken über den gesamten betrachteten Zeitraum von 60 Tagen konstant bleibt. Die Abnahme der Nachzerfallswärme mit der Zeit wird nicht berücksichtigt.

Ein Verlust von Wasserstoff durch Diffusion oder Undichtigkeiten des Brennelement-Lagergebäudes während der betrachteten 60 Tage wird nicht berücksichtigt. Die Löslichkeit von Wasserstoff in Wasser wird in der Betrachtung nicht berücksichtigt, spielt aber eine untergeordnete Rolle im Vergleich zur Gesamtproduktionsrate durch Radiolyse. Konservativerweise wird angenommen, dass sämtlich produzierter Wasserstoff auch freigesetzt wird und nicht wieder im Brennelementbeckenwasser rekombiniert. Aufgrund der grossen Diffusionskonstante, der vorhandenen Konvektionsvorgänge durch Wärmeeintrag sowie Verdampfung aus dem Brennelementbecken und der sehr grossen Zeiträume geht das ENSI von einer homogenen Verteilung des Wasserstoffs im Brennelement-Lagergebäude aus.

Aufgrund der Angaben aus dem EPRI-Bericht /12/ und der langsam generierten und entsprechend niedrigen Wasserstoffkonzentration von 0,52 Vol. % nach 60 Tagen geht das ENSI davon aus, dass nicht mit der Bildung eines zündfähigen Wasserstoff-Luft-Gemischen zu rechnen ist und somit eine Gefährdung der Brennelement-Lagergebäude ausgeschlossen ist.

Obige Aussagen lassen sich auch auf das innenliegende Brennelementbecken, welches nur während der Revision benutzt wird übertragen.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publdocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

2.2 Zirkoniumoxidation

Solange die Brennelemente mit Wasser überdeckt sind, kann eine unzulässige Aufheizung und damit eine Wasserstoffproduktion durch Zirkoniumoxidation ausgeschlossen werden. Sinkt das Wasserniveau unter die Oberkante der Brennelemente, beginnt eine stärkere Aufheizung der Brennelemente. Da durch den Mitriss von Wasser durch den aufsteigenden Dampf die Kühlung noch gegeben ist, muss das Wasserniveau erst weiter absinken bis eine relevante Aufheizung der Brennelemente beginnt.

Schreitet die Aufheizung der Brennelemente fort, beginnen die Hüllrohre zu oxidieren. Das Zirkonium der Brennstabhüllrohre wird dabei durch Dampf oxidiert, wodurch Wasserstoff produziert wird. Die Wasserstoffproduktionsrate ist abhängig von der Dampfzufuhr, der Brennstabhüllrohrtemperatur und der für die Oxidation zur Verfügung stehenden Fläche. Bei Temperaturen grösser als ca. 1200 °C nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit stark zu. Da die Oxidation von Zirkonium mit Dampf stark exotherm ist, steigt als Folge dieser Reaktion die Temperatur der Brennstäbe stark an und beschleunigt den Prozess. Bei weiter ansteigenden Temperaturen beginnen die Brennstäbe zu schmelzen und die Schmelze verlagert sich auf den Boden des Brennelementbeckens, wo durch die Wechselwirkung mit Beton unter anderem Wasserstoff und Kohlenmonoxid produziert wird.

Die Szenarien mit Zirkoniumoxidation können unter anderem mit dem Computercode MELCOR berechnet werden. MELCOR ist ein integraler Code, mit dem der Ablauf von schweren Unfällen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren modelliert werden kann. Der Code wird von den Sandia National Laboratories im Auftrag der amerikanischen Nuklearaufsichtsbehörde entwickelt. Regelmässige Benchmarks zeigen, dass der Code dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Das ENSI akzeptiert diesen Code im Rahmen der Stufe-2-PSA.

Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, wird für die Beurteilung des Unfallablaufs ein 10'000-jährliches Erdbeben oder Hochwasser mit Ausfall der Notstromversorgung, angenommen. Die gebunkerten Notstandssysteme sind verfügbar. Für dieses Szenario ist zu zeigen, dass das Zeitfenster für die Beherrschung ohne externe Mittel mindestens 3 Tage beträgt.

Angaben des Betreibers

Das KKL verfügt über ein Brennelementbecken innerhalb des Containments und ein Brennelementbecken im Brennelement-Lagergebäude. Für das Brennelementbecken im Lagergebäude werden drei verschiedene Störfälle untersucht, bei denen jeweils ein totaler Verlust der gesamten Wechselstromversorgung (inkl. Notstandssysteme) angenommen wird. Bei zwei Störfällen wird zusätzlich noch ein Leck unterstellt. Die Analysen zeigen, dass es zwischen 85 und 97 Stunden dauert, bis sich das Beckenkühlwasser auf 100 °C erhitzt hat und Sieden einsetzt. Nach insgesamt 590 bis 660 Stunden, je nach Szenario, kommt es zur Abdeckung des Brennstoffs.

Beurteilung ENSI

Die vom KKL durchgeführte Studie umfasst die gemäss Verfügung verlangten Brennelementbecken des Lagergebäudes der Anlage. Die untersuchten Störfälle sind sinnvoll und gehen über die gemäss Verfügung zu betrachtenden Szenarien hinaus. Die für das Brennelementbecken im Brennelement-Lagergebäude ausgewiesenen Zeitfenster sind plausibel.

Für das im Containment befindliche Brennelementbecken stellt das ENSI den entsprechenden Sachverhalt nachfolgend dar: Im Containment-Brennelementbecken ist während des Normalbetriebs kein Brennstoff gelagert. Es wird lediglich kurzzeitig für den während der Revision erforderlichen sowie für ausserordentliche Brennelementwechsel verwendet. Aufgrund der maximal aus dem Containment-



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidos:
Titel:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 18.02.2013 / [REDACTED]

Brennelementbecken abzuführenden Nachzerfallswärme und der Beckengeometrie führt ein auslegungsüberschreitender Totalausfall der Kühlung dieses Beckens gemäss Abschätzungen des ENSI nach rund 3 Tagen zur Brennstofffreilegung. Wie in den Stellungnahmen des ENSI zu den deterministischen Nachweisen zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers und des 10'000-jährlichen Erdbebens festgehalten, ist die Kühlung beider Brennelementlagerbecken bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser oder Erdbeben verfügbar. Ferner ist mit dem Notstandssystem auch die Bespeisung der Brennelementbecken möglich.

2.3 Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung

Angaben des Betreibers

Das Brennelement-Lagergebäude besitzt keine Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung. Die Analysen zeigen, dass Zünder und/oder Rekombinatoren zum Wasserstoffabbau nur eine sehr geringe Wirkung haben. Der Grund hierfür ist, dass in den ersten 30 Tagen Wasserstoff nur in geringen Mengen durch Radiolyse produziert wird. Kommt es zur exothermen Hüllrohroxidation, werden mehr als 4000 kg Wasserstoff innerhalb von 2 Tagen produziert. Passive Rekombinatoren sind zum schnellen Abbau der grossen anfallenden Mengen an Wasserstoff nicht geeignet. Das Zeitfenster zur Wiederherstellung einer Kühlmöglichkeit ist sehr gross, so dass die Brennelementbecken ausreichend gegen Erdbeben und Überflutung geschützt sind.

Beurteilung ENSI

Aus Sicht des ENSI hat die Prävention von Störfällen generell Vorrang gegenüber Massnahmen zur Beherrschung der Konsequenzen. Dies gilt in besonderem Masse für die Brennelementbecken, da hier wirksame präventive Massnahmen mit verhältnismässigem Aufwand realisierbar sind, wohingegen die Mitigation (d.h. im ungünstigsten Fall die Beherrschung grosser Mengen Wasserstoff nach einer kompletten Oxidation des gesamten Zirkoniuminventars im Becken) eher schwierig ist. Aus diesem Grund verfügte das ENSI zusätzliche Nachrüstungen zur Überwachung des Brennelementbeckens und eine Erweiterung der entsprechenden anlageninternen Notfallmassnahmen. Dadurch wird das Risiko eines schweren Unfalls im Bereich des Brennelementbeckens mit nennenswerten Produktionsraten an Wasserstoff weiter reduziert.

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die mit der Verfügung /1/ eingeleiteten Untersuchungen zum Schutz der Brennelementbecken gegen 10'000-jährliche Hochwasser und Erdbeben haben ergeben, dass die Brennelementbecken im externen Lagergebäude und Containment ausreichend geschützt sind und über Auslegungsreserven verfügen. Insbesondere wurde gezeigt, dass die Beckenintegrität bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben erhalten bleibt. Im Rahmen einer weiteren Verfügung wurde das KKL aufgefordert, die Wasserstoffproblematik im Bereich der Becken zu analysieren. Als Entstehungsursache für Wasserstoff wurden Radiolyse und Zirkoniumoxidation bei einem schweren Unfallszenario untersucht. Im Ergebnis können bei einem auslegungsüberschreitenden Totalausfall der Beckenkühlung im externen Lagergebäude Wasserstoffdeflagrationen oder -explosionen, ausgelöst durch Wasserstoffproduktion innerhalb der ersten 24 Tage sicher ausgeschlossen werden. Für das Brennelementbecken im Containment kommt es bei einem auslegungsüberschreitenden Totalausfall von Beckenkühlung und Nachspeisemöglichkeiten nach etwa drei Tagen zur Brennelementfreilegung. Dieses Szenario kann nur während der Re-

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Publidocs:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792

Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken

18.02.2013 / [REDACTED]

vision auftreten, da während des Leistungsbetriebes keine Brennelemente in Containmentbecken gelagert werden. Die produzierte Wasserstoffmenge durch Radiolyse ist sehr klein, so dass sicher mehr als 60 Tage zur Verfügung stehen, bis ein zündfähiges Gemisch entsteht. Die vorhandenen Zeitfenster für Accident Management Massnahmen zur Wiederherstellung der Kühlung der Brennelementbecken sind ausreichend, um die spätere Trockenlegung und die damit verbundene Hüllrohroxidation zu verhindern. Weiterhin hat das ENSI im Rahmen seiner Verfügungen das Augenmerk auf die Prävention zum Verlust der Brennelement-Beckenkühlung gelegt und u.a. weitere Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelementbecken verlangt.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
12KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 12/1792
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

4 Referenzen

- /1/ ENSI; „Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima“, FLP/SAN-12/11/027 vom 18. März 2011
- /2/ ENSI; „Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Hochwasser“, SGE/FLP-12/11/027 vom 01. April 2011
- /3/ ENSI; „Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011“, FLP-12/11/027 vom 05. Mai 2011
- /4/ ENSI; „Verfügung: Terminerstreckung für die Bewertung des Schutzes gegen Wasserstoffdeflagrationen und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken“, SCA/SAS-12KEX, 28. März 2012
- /5/ KKL; „Stellungnahme: Schutz vor Wasserstoffdeflagration in den Brennelementbecken des KKL“, KKL-Brief, 26. Juni 2012
- /6/ KKL; „Überprüfung der Wasserstoffentstehung und Wasserstoffbeherrschung im Bereich Brennelementlagergebäude“, KKL-Bericht, BET/12/0074 Rev. 0, 26. Juni 2012
- /7/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zu dem deterministischen Nachweis des KKL zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“, ENSI 12/1623, 31. August 2011
- /8/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKL zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens“ ENSI 12/1714, 9. Juli 2012
- /9/ Chien C.Lien, GE Nuclear Energy, General Electric; Radiochemistry in Nuclear Power Reactors, 1996
- /10/ NUREG/CR-2726, Light Water Reactor Hydrogen Manual
- /11/ PSI Paul Scherer Institut; „Zündgrenzen von Wasserstoff und Kohlenmonoxid“, TM-43-95-50, 6. November 1995
- /12/ EPRI Electrical Power Research Institut; „Summary of the EPRI Early Event Analysis of the Fukushima Daiichi Spent Fuel Pools Following the March 11, 2011 Earthquake and Tsunami in Japan“, Technical Update May 2012
- /13/ GRS Gesellschaft für Reaktorsicherheit; „Der Unfall in Fukushima Zwischenbericht zu den Abläufen in den Kernkraftwerken nach dem Erdbeben vom 11. März 2011“, GRS-293 August 2011
- /14/ PSI Paul Scherer Institut; „Scoping Analysis of Significance of Radiolytically Generated Hydrogen in Spent Fuel Pool of KKM from Freshly Loaded Whole Core and Spent Fuel Assemblies“, TM-42-11-15, 2. Juni 2011
- /15/ ENSI; „Ablauf Fukushima 11032011 - Fukushima Dai-ichi und Daini infolge des Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki Erdbebens vom 11.03.2011“, ENSI-AN-7614 Rev. 1, 26. August 2011
- /16/ Earthquake Report No.66: 20:00, April 28, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-04-28; http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1303986888P.pdf