



Aktennotiz

Datum: 18.02.2013

Seiten: 10

Anhänge: -

Beilagen: -

Verteiler intern:

Verteiler extern: KKM

Sachbearbeiter:

Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung

keine

Aktenzeichen

11KEX, 10KEX.APFUKU6

Publidocs

ENSI 11/1644

Schlagwörter

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



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	4
2	Bewertung der Gefährdung durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken	4
2.1	Radiolyse	5
2.2	Zirkoniumoxidation	7
2.3	Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung	8
3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	8
4	Referenzen	10



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
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 KKM 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 KKM 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 KKM /5/, /6/ und /7/ wurde Ende Juni 2012 termingerecht eingereicht.

Mit der Stellungnahme vom 31. August 2011 nahm das ENSI zu den eingereichten Unterlagen bezüglich Überflutung /8/ und Ende Juni 2012 zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens /9/ für das KKM Stellung. Dabei wurden auch die vorhandenen Systeme zur Brennelementbeckenkühlung bewertet. Das KKM 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 KKM nachweisen, dass für ein 10'000-jährliches Erdbeben die Dosislimite von 100m Sv 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 Beurteilungsgrund-



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

lagen 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 Abschnitt 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 /10/ 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 /11/ 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 (/11/ und /12/).

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.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

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.

Das EPRI /13/ (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 Zirkoniumoxidation 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 /14/ 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) /15/ 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 /16/ des ENSI zum Ablauf Fukushima), dass die Explosion in Block IV durch Wasserstoff, welcher über das gemeinsame Abgassystem von Block III in den Block IV gelangt ist, ausgelöst wurde. Erste Untersuchungen /17/ des Brennelement-Lagerbeckens von Block IV haben bestätigt, dass keine Schäden an den Beckenstrukturen aufgetreten sind. Die Zirkoniumoxidation im Brennelementbecken konnte durch die Untersuchung des Brennelementbeckenwassers /14/ 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 Zirkoniumoxidation, also die Oxidation des Zirkoniums der Hüllrohre mit Dampf.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

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.

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 KKM 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

Das Radiolysegas aus dem Brennelementbecken tritt in den offenen Raum der Beckenebene des Reaktorgebäudes aus. Das freie Volumen beträgt 20'000 m³. Unter der Annahme, dass die Produktionsrate durch Radiolyse proportional zur thermischen Leistung ist, kann die produzierte Menge Wasserstoff konservativ zu 3 m³ pro Tag abgeschätzt werden. Die Schätzung basiert auf der im Normalbetrieb gemessenen Produktionsrate von 13,0 cm³/s/MW_{th}.

Bei Normalbetrieb wird durch die Lüftung im Reaktorgebäude nicht nur für ständige Frischluftzufuhr gesorgt, sondern die Lüftung bewirkt auch ein hohes Mass an Turbulenz im Bereich des Brennelementbeckens, so dass sich das aufsteigende Radiolysegas schnell mit der Umgebungsluft vermischt.

Bei laufender Lüftung ist das pro Stunde aus dem obersten Stockwerk entfernte Gasvolumen etwa 4,5-mal so gross wie das Volumen des betrachteten Raumes selbst. Daraus ergibt sich rechnerisch eine Anzahl von 4,5 Luftwechseln pro Stunde, was wiederum einem Zeitfenster von 13,3 Minuten zwischen zwei Luftwechseln entspricht. Mit der angenommenen Wasserstoff-Produktionsrate von 3 m³/Tag werden in der Zeitspanne zwischen zwei Luftwechseln etwa 28 Liter H₂ erzeugt. Selbst unter der Annahme, dass diese Wasserstoffmenge auf einen Schlag freigesetzt wird, ergibt das für den Raum der Beckenebene des Reaktorgebäudes eine Wasserstoffkonzentration von etwa 0,00014 Vol. %. Selbst die vollständige Wasserstoffproduktion eines Tages in Höhe von 3 m³ entspricht nur etwa 0,015 Vol. % des betrachteten Volumens, so dass auch bei einer sehr schnellen Freisetzung dieser Gasmenge nur Wasserstoffkonzentrationen weit unterhalb der Zündgrenze von 4 Vol. % H₂ in Luft zu erwarten sind.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

Die Radiolysegasproduktion im Brennelementbecken bleibt unter Störfallbedingungen die gleiche wie im Normalbetrieb. Bei Umschaltung der Gebäudelüftung auf Notabluft sinkt der Luftumsatz im Gebäude. Bei Ausfall aller Stromversorgungen steht auch die Notabluft nicht mehr zur Verfügung. Dies bedeutet, dass nur noch ein minimaler Luftaustausch stattfindet. Die Berechnung unter diesen Randbedingungen ergibt, dass mit der konservativ abgeschätzten Wasserstoff-Produktionsrate von 3 m³/Tag die untere Zündgrenze von H₂-Luft-Mischungen (4 Vol. % H₂ in Luft) rein rechnerisch erst nach einer Zeit von etwa 6'400 Stunden, also mehr als 266 Tagen oder fast 9 Monaten, erreicht wird.

Im Wasser des Brennelementbeckens ist zudem eine kleine Menge Wasserstoff aus der Radiolyse gelöst. Die Löslichkeit von Wasserstoff hängt von der Temperatur und dem pH-Wert ab: mit zunehmender Temperatur sinkt die Löslichkeit. Im gesamten Brennelementbecken können bei 25 °C theoretisch maximal 13,5 m³ Wasserstoff gelöst vorliegen. Diese Menge wird bei der Erwärmung bzw. Verdampfung des Beckenwassers zusätzlich freigesetzt.

Da in dem betrachteten Szenario aber auch die im Normalbetrieb durch die Lüftung bewirkte, gute Vermischung der Gase im Raum der Beckenebene des Reaktorgebäudes nicht mehr gewährleistet ist, wurde zusätzlich überprüft, ob mit der Ausbildung einer Wasserstoffschichtung zu rechnen ist.

Das abgeschätzte Diffusionsverhalten von Wasserstoff unter den gegebenen Bedingungen ergab, dass über 100-mal mehr Wasserstoff durch Diffusion abtransportiert werden kann als durch die Freisetzung nachgeliefert wird. Aus diesem Grund wird sich der mit dieser Rate freigesetzte Wasserstoff annähernd homogen mit der Atmosphäre im Reaktorgebäude vermischen.

Die Radiolyse im Brennelementbecken wurde mit einer exemplarischen Berechnung untersucht. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen deutlich, dass die durch Radiolyse erzeugten Wasserstoffmengen erst nach Monaten zu einem zündfähigen Gemisch führen können. Eine Gefährdung des Brennelementbeckens oder des Reaktorgebäudes aufgrund der entstehenden Radiolysegase kann daher ausgeschlossen werden.

Beurteilung ENSI

Das KKM hat die durch Radiolyse anfallende Menge an Wasserstoff mit dem spezifischen Erfahrungswert für den Normalbetrieb konservativ abgeschätzt unter der Annahme einer konstanten Nachzerfallswärme von 2,5 MW. Die Abnahme der Nachzerfallswärme mit der Zeit wird konservativerweise nicht berücksichtigt. Der berechnete Wert für die Wasserstoffproduktionsrate durch Radiolyse ist für das ENSI plausibel.

Weiterhin zeigt das KKM nachvollziehbar anhand von Berechnungen, dass auch ohne Verfügbarkeit der Lüftung mehrere Monate vergehen müssen, um eine zündfähige Wasserstoffkonzentration zu erhalten. Aufgrund der Diffusionseigenschaften des Wasserstoffs und der Konvektionsvorgänge durch Wärmeeintrag sowie Verdampfung aus dem Brennelementbecken ist von einer homogenen Durchmischung im Reaktorgebäude auszugehen. Eine lokale Aufkonzentration von Wasserstoff ist damit nach Wertung des ENSI ausgeschlossen. Die Löslichkeit von Wasserstoff in Wasser wird in der Betrachtung nachvollziehbarerweise nicht explizit berücksichtigt, da die abgeschätzten Mengen zu gering sind.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
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 KKM verfügt über ein Brennelementbecken, welches sich im Reaktorgebäude befindet. Um die massgeblichen Zeitfenster bis zur Freilegung der Brennelemente zu bestimmen, betrachtet das KKM verschiedene Anlagenkonfigurationen, welche die unterschiedlichen Zustände während des Brennelementwechsels darstellen. Für die Untersuchungen wird jeweils von einem Totalausfall der Brennelementbeckenkühlung ausgegangen. Die einzelnen Szenarien beinhalten auch verschiedene Kühlmittelverluste.

Beim Szenario eines maximalen Füllstandabfalls im Brennelementbecken zu Beginn des Brennelementwechsels (Kern noch im Reaktordruckbehälter) durch einen Rohrbruch beträgt das Zeitfenster bis zur Freilegung der Brennelemente rund 3 Tage. Wenn der gesamte Kern ins Brennelementbecken ausgeladen ist, sind die im Boden befindlichen Anschlüsse verzapft, so dass der maximale Füllstandabfall im Brennelementbecken geringer ist. In diesem Fall beträgt das Zeitfenster bis zur Brennelementfreilegung etwas weniger als 6 Tage. Ohne Überlagerung von Leckagen sind die verfügbaren Zeitfenster deutlich grösser.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/PubliDocs:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644

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

18.02.2013 / [REDACTED]

Mit der Nachrüstung der unabhängigen Brennelementbecken-Nachbespeisung wird das Risiko eines Wasserverlusts aus dem Brennelementbecken weiter verringert.

Beurteilung ENSI

Die relevanten Anlagenkonfigurationen werden in den Untersuchungen betrachtet. Die untersuchten auslegungsüberschreitenden Szenarien sind aussagekräftig und gehen über die gemäss Verfügung zu betrachtenden Szenarien hinaus. Bereits in der Stellungnahme zum deterministischen Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens hat das ENSI festgehalten, dass je nach Anlagenkonfiguration mindestens drei Tage zur Verfügung stehen, bevor die im Brennelementbecken gelagerten Brennelemente freigelegt werden.

2.3 Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung**Angaben des Betreibers**

Im KKM stehen thermische Rekombinatoren zur Wasserstoffbeherrschung zur Verfügung. Aufgrund der Radiolyse sowie bei auslegungsüberschreitenden Störfällen mit Zirkoniumreaktion ist eine Freisetzung von Wasserstoff in das Reaktorgebäude denkbar. Diese Szenarien benötigen innerhalb der ersten 72 h nach Eintritt des auslösenden Ereignisses keine aktiven Systeme zu Wasserstoffkontrolle, sofern die Beckenintegrität gewahrt bleibt (was bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben der Fall ist). Somit ist der Nachweis der ausreichenden Kapazität und Energieversorgung der erforderlichen Systeme erbracht.

Beurteilung des 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, ein redundantes, erdbeben- und hochwassersicheres Brennelement-Beckenkühlssystem 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.

Die Beherrschung von Wasserstoff im Reaktorgebäude wird das ENSI im Rahmen des Aktionsplans 2013 weiterverfolgen.

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die mit der Verfügung /1/ eingeleitete Untersuchung zum Schutz des Brennelementbeckens gegen 10'000-jährliche Hochwasser und Erdbeben hat ergeben, dass das Brennelementbecken ausreichend geschützt ist und über Auslegungsreserven verfügt. Insbesondere wurde gezeigt, dass die Beckenintegrität bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben erhalten bleibt. Im Rahmen einer weiteren Verfügung wurde das KKM aufgefordert, die Wasserstoffproblematik im Bereich des Brennelementbeckens zu analysieren. Als Entstehungsursache für Wasserstoff wurden Radiolyse und Zirkoniumoxidation bei

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Publidocs:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644

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

18.02.2013 / [REDACTED]

einem schweren Unfallszenario untersucht. Im Ergebnis können bei einem auslegungsüberschreitenden Totalausfall der Beckenkühlung mit zusätzlichem Kühlmittelverlust Wasserstoffdeflagrationen oder -explosionen, ausgelöst durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken innerhalb der ersten 3 Tage sicher ausgeschlossen werden. Die produzierte Wasserstoffmenge durch Radiolyse führt rein rechnerisch erst nach 266 Tagen zu einem zündfähigen Gemisch. 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
11KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 11/1644
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-11/11/003 vom 18. März 2011
- /2/ ENSI; „Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Hochwasser“, SGE/FLP-11/11/003 vom 01. April 2011
- /3/ ENSI; „Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011“, FLP-11/11/003 vom 05. Mai 2011
- /4/ ENSI; „Verfügung: Terminerstreckung für die Bewertung des Schutzes gegen Wasserstoffdeflagrationen und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken“, SCA/SAS-11KEX, 28. März 2012
- /5/ KKM; „Ihre Verfügung vom 5. Mai 2011 – Stellungnahme zur Forderung 5“, KKM-Brief, 1. Mai 2012
- /6/ KKM; „Bewertung des Schutzes vor Wasserstoffdeflagration und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken für alle vorhandenen Brennelementbecken des KKM, Aktennotiz, AN-UM-2012/022, 9. März 2012
- /7/ Institut für Kern- und Energietechnik (IKET), Karlsruher Institut für Technologie (KIT); „Studie zum Gefährdungspotential für Brennelementbecken und Reaktorgebäude RG+29m durch Wasserstoffverbrennung“, Interne Bericht IKET-Nr. 1/12, März 2012
- /8/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zu dem deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“, ENSI 11/1481, 31. August 2011
- /9/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens“ ENSI 11/1562, 9. Juli 2012
- /10/ Chien C.Lien, GE Nuclear Energy, General Electric; Radiochemistry in Nuclear Power Reactors, 1996
- /11/ NUREG/CR-2726, Light Water Reactor Hydrogen Manual
- /12/ PSI Paul Scherer Institut; „Zündgrenzen von Wasserstoff und Kohlenmonoxid“, TM-43-95-50, 6. November 1995
- /13/ 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
- /14/ 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
- /15/ 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
- /16/ ENSI; „Ablauf Fukushima 11032011 - Fukushima Dai-ichi und Daini infolge des Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Okai Erdbebens vom 11.03.2011“, ENSI-AN-7614 Rev. 1, 26. August 2011
- /17/ 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