



Aktennotiz

Datum: 18.02.2013 Seiten: 10 Anhänge: - Beilagen: -
Verteiler intern: [REDACTED]
Verteiler extern: KKB
Sachbearbeiter: [REDACTED]
Visum [REDACTED]
Visum Vorgesetzte [REDACTED]

Klassifizierung keine
Aktenzeichen 14KEX, 10KEX.APFUKU6
Publidocs ENSI 14/1761
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	3
2	Bewertung der Gefährdung durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken	4
2.1	Radiolyse	4
2.2	Zirkoniumoxidation	6
2.3	Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung	8
3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	8
4	Referenzen	10



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel: Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 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 KKB 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 KKB 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 KKB /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 KKB Stellung. Dabei wurden auch die vorhandenen Systeme zur Brennelementbeckenkühlung bewertet. Das KKB 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 KKB nachweisen, dass für ein 10'000-jährliches Erdbeben die Dosislimite von 100mSv 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 Brenn-



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

keine
14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
18.02.2013 / [REDACTED]

elementbecken 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 /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: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel: Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 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 Abgassystem 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 Brennelementeschaden 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:

keine
14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 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 KKB 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

Für die Gefährdung des Brennelement-Lagergebäudes durch Anreicherung von Wasserstoff durch Radiolyse in der Gebäudeatmosphäre ist insbesondere der Zeitraum bis zum Erreichen des Füllstandes der Oberkante der Brennelemente von Bedeutung. Die Zeit bis zum Sieden beträgt bei einem frisch ausgeladenen Kern 10 Stunden. Für die Radiolyse wird sehr konservativ ein Zeitraum von 98 Stunden betrachtet, weil frühestens dann eine Abdeckung der Brennelemente erfolgt. Nach Beginn des Siedens würde aber bereits ein Teil des durch Radiolyse entstehenden Wasserstoffs mit dem Dampf aus dem Gebäude verdrängt. Weiterhin würde der Dampf die Gebäudeatmosphäre inertisieren und damit die Wasserstoffzündung verhindern.

Der Betreiber hat die Wasserstoffbildung im Brennelementbecken durch Radiolyse mit drei verschiedenen Modellen berechnet. Mit der Methode nach Lin berechnet der Betreiber für einen frisch ausgeladenen Kern einen konservativen Wert von $34 \text{ cm}^3/\text{s}$. Nach Camp-NUREG kann die Produktionsrate für einen abgestellten Reaktor extrem konservativ mit $66 \text{ cm}^3/\text{s}$ abgeschätzt werden. Für beide Methoden wird konservativ eine Nachzerfallsleistung mit einer minimalen Abklingzeit von 72 Stunden für den frisch ausgeladenen Kern unterstellt. Mit der realistischen Methode nach Yakabuskie beträgt die Produktionsrate für Wasserstoff durch Radiolyse $6,5 \text{ cm}^3/\text{s}$. Der im Wasser gelöste Wasserstoff, welcher bei der Verdampfung ausgetragen wird, erhöht die Produktionsrate um $0,05 \text{ cm}^3/\text{s}$ und kann daher vernachlässigt werden. Der Wert basiert auf der gemessenen Menge an gelöstem Wasserstoff im Brennelementbeckenwasser bei Normalbetrieb.

Innerhalb der ersten 10 Stunden bis zum Sieden werden nach der Lin-Methode $1,2 \text{ m}^3$ Wasserstoff freigesetzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch Diffusion und Auftriebskräfte eine sehr gute Durchmischung des Wasserstoffs mit der vorhandenen Luftatmosphäre (etwa 2200 m^3) im Brennelement-Lagergebäude erreicht wird. Die resultierende Misch-Wasserstoffkonzentration beträgt $0,055 \text{ Vol. \%}$ und liegt somit deutlich unter der Zündgrenze von 4 Vol. \% . Während der folgenden 88 Stunden siedet das Wasserinventar. Pro Sekunde werden $3,4 \text{ m}^3$ Dampf zusammen mit $3,4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ Wasserstoff in die Atmosphäre des Brennelement-Lagergebäudes abgegeben. Das Sieden sowie der aufsteigende Dampf sorgen für eine gute Durchmischung. Die Dampfproduktionsrate ist während dieser Zeit um fünf Grössenordnungen grösser als die Produktionsrate für Wasserstoff durch Radiolyse. Selbst bei einer vollständigen Kondensation des Dampfes ergibt sich nach 98 Stunden eine Mischkonzentration von insgesamt 12 m^3 Wasserstoff in 2200 m^3 Luft, was $0,55 \text{ Vol. \%}$ entspricht und deutlich unterhalb der Zündgrenze liegt.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel: Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 18.02.2013 / [REDACTED]

Die restlichen älteren Brennelemente werden durch einen Sicherheitsaufschlag von 50 % auf die Produktionsrate berücksichtigt. Dementsprechend erhöht sich die Wasserstoffkonzentration auf 0,082 Vol. % nach 10 Stunden sowie 0,8 Vol. % nach 98 Stunden. Selbst mit der zweimal so grossen Freisetzung nach Camp-NUREG liegt die Wasserstoffkonzentration inklusive Sicherheitszuschlag mit 1,6 Vol. % noch weit unter der Zündgrenze.

Die Berechnungen vom KKB zeigen, dass es während der ersten 98 Stunden nach Ausfall der Kühlung des Brennelementbeckens nicht zu global zündfähigen Gemischen von Radiolysewasserstoff in der Atmosphäre kommen kann.

Beurteilung ENSI

Das KKB hat die Wasserstofffreisetzungsraten durch Radiolyse mit drei verschiedenen Methoden abgeschätzt. Die verwendeten Methoden und Ergebnisse sind für das ENSI nachvollziehbar und plausibel. Die Methoden nach Lin und Camp-NUREG schätzen die Wasserstoffproduktionsraten konservativ ab.

Gemäss Sicherheitsbericht /17/ beträgt die maximal zulässige Wärmeleistung im Brennelementbecken 4,3 MW. Dies erhöht die berechnete Wasserstoffproduktionsrate nach Lin um den Faktor 1,23, welcher die abklingenden alten Brennelemente berücksichtigt. Der vorgenommene Sicherheitsaufschlag von 50 % ist nach Wertung des ENSI daher konservativ.

Der vom KKB gewählte Betrachtungszeitraum erstreckt sich vom Beginn des Ausfalls der Beckenkühlung bis zum Zeitpunkt der nicht mehr vollständigen Wasserüberdeckung der Brennelemente. Nach Wertung des ENSI liegt die berechnete Wasserstoffkonzentration für den Betrachtungszeitraum in der Gebäudeatmosphäre, ohne Annahme von Verlusten durch Undichtigkeiten, unterhalb der für eine Wasserstoffexplosion erforderlichen Zündgrenze von 4 Vol. %. Aufgrund der grossen Diffusionskonstante, der vorhandenen Konvektionsvorgänge durch Wärmeeintrag sowie Verdampfung aus dem Brennelementbecken geht das ENSI von einer weitgehend homogenen Verteilung des Wasserstoffs im Brennelement-Lagergebäude aus.

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.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel: Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 18.02.2013 / [REDACTED]

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 Notstandsysteme 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 KKB verfügt über ein Brennelementbecken im externen Lagergebäude. Zur Sicherstellung der Wassernachspeisung in das Brennelementbecken hält KKB folgendes fest:

- Das Brennelementbecken befindet sich ausserhalb des Reaktorgebäudes und ist somit für Notfallmassnahmen leicht zugänglich.
- Durch die Auslegung der Brennelementlagergestelle ist gewährleistet, dass es auch bei einer Nachspeisung von unboriertem Wasser nicht zu einer Rekritikalität kommen kann.
- Sowohl am Standort wie auch im externen Lager Reitnau stehen mobile Einsatzmittel zur Bespeisung des Brennelementbeckens zur Verfügung.
- In den nächsten Jahren wird ein redundantes, erdbeben- und flutsicheres Kühlsystem für das Brennelementbecken nachgerüstet.

Durch diese Vorkehrungen können Störfälle mit lang andauernder Abdeckung der gelagerten Brennelemente praktisch ausgeschlossen werden.

Um die Gefährdung durch Wasserstoff zu analysieren, untersucht das KKB den Störfallablauf bei einem Totalausfall aller Kühlsysteme des Brennelementbeckens. Für das limitierende Szenario des frisch ausgeladenen Reaktorkerns und der konservativen Annahme, dass keine Nachspeisung erstellt wird, berechnet das KKB ein Zeitfenster von 10 h bis sich das Wasser im Brennelementbecken auf Siedetemperatur aufgeheizt hat. Durch die anschliessende Verdampfung sinkt der Füllstand ab, bis nach 91 h der Brennstoff abgedeckt wird. Im Leistungsbetrieb der Anlage, wenn sich also kein frisch entladener Kern im Brennelementbecken befindet, sinkt die thermische Leistung deutlich, wodurch sich die Zeitfenster um ein Vielfaches vergrössern.

Ferner untersucht das KKB auch die Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Extremszenarios mit Kühlwasserverlust aus dem Brennelementbecken via Transferkanal zum Containment. Auch für dieses Szenario wurde angenommen, dass sich der komplette Reaktorkern im Brennelementbecken befindet. Aufgrund des anfänglichen Kühlwasserverlustes sinkt der Füllstand ab, wodurch sich die Zeitfenster verkürzen. Nach rund 30 Stunden erreicht der Füllstand die Oberkante des aktiven Brennstoffs. Die Berechnungen zeigen, dass rund weitere 40 Stunden zwischen dem Füllstandabfall auf Oberkante Brennstoff und dem Einsetzen einer starken Wasserstoffproduktion durch Zirkoniumoxidation vergehen. Bereits deutlich vor dem Abfall des Füllstandes auf Oberkante Brennstoff wird im Brennelementlager eine vollständige Dampfatmosfera erreicht. Eine Zündung des Wasserstoffs ist mangels Sauerstoffs nicht möglich.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel: Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter: 18.02.2013 / [REDACTED]

Zur Gefährdung durch Deflagration in den Nebengebäuden hält das KKB fest, dass das Brennelement-Lagerbeckengebäude von den übrigen Nebengebäuden raumluftechnisch separiert ist, eine weitere strukturtechnische Ertüchtigung der Mauerwände geplant ist und eine Überdruckentlastung aus dem Brennelement-Lagerbeckengebäude B ins Freie nachgerüstet wird. Dadurch kann eine Gefährdung der Nebengebäude durch Wasserstoff aus dem Brennelement-Lagerbeckengebäude ausgeschlossen werden.

Beurteilung ENSI

Die vom KKB untersuchten Störfälle sind zweckdienlich und gehen über die gemäss Verfügung zu betrachtenden Szenarien hinaus. Die für den Totalausfall aller Kühlsysteme des Brennelementbeckens ausgewiesenen Zeitfenster sind plausibel. Ferner geht aus dem beschriebenen Extremszenario mit Kühlmittelverlust via Transferkanal hervor, dass auch in diesem (auslegungsüberschreitenden) Fall knapp 3 Tage vergehen, bis ein Brennstoffschaden vorliegt.

2.3 Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung

Angaben des Betreibers

Im Bereich des Brennelementbeckens, also im Brennelement-Lagergebäude, sind keine Ausrüstungen zur Wasserstoffbeherrschung vorhanden. Aus diesem Grund stellt das KKB eine theoretische Betrachtung zur Wirksamkeit passiver autokatalytischer Rekombinatoren (PAR) an. Da bei einem schweren Störfallablauf der entstehende Dampf zu einer vollständigen Verdrängung der Luft bzw. des Sauerstoffs führt, wird die gesamte Atmosphäre inertisiert. Aufgrund des fehlenden Sauerstoffs wären die PAR unwirksam und eine Rekombination des Wasserstoffs mit Sauerstoff nicht möglich.

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 das 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-Beckenkühlsystem 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/ eingeleitete Untersuchung zum Schutz des Brennelementbeckens im Lagergebäude gegen 10'000-jährliche Hochwasser und Erdbeben hat ergeben, dass das vorhandene 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 KKB aufgefordert, die Wasserstoffproblematik im Bereich des Beckens zu analysieren. Als Entstehungsursache für Wasserstoff wurden Radiolyse und Zirkoniumoxidation bei einem schweren Unfallszenario untersucht. Im Ergebnis können bei einem



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Publidocs:	14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
Titel:	Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken
Datum / Sachbearbeiter:	18.02.2013 / [REDACTED]

Totalausfall der Beckenkühlung Wasserstoffdeflagrationen oder -explosionen, ausgelöst durch Wasserstoffproduktion im Brennelementbecken innerhalb der ersten 3 Tage sicher ausgeschlossen werden. Die produzierte Wasserstoffmenge durch Radiolyse ist innerhalb der ersten 3 Tage zu klein, so dass kein 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
14KEX, 10KEX.APFUKU6 / ENSI 14/1761
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-14/11/015 vom 18. März 2011
- /2/ ENSI; „Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Hochwasser“, SGE/FLP-14/11/015 vom 01. April 2011
- /3/ ENSI; „Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011“, FLP-14/11/015 vom 05. Mai 2011
- /4/ ENSI; „Verfügung: Terminerstreckung für die Bewertung des Schutzes gegen Wasserstoffdeflagrationen und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken“, SCA/SAS-14KEX, 28. März 2012
- /5/ KKB; „Forderung aus ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 und 28. März 2012: Schutz der BE-Lagerbecken vor Wasserstoffdeflagration und -explosionen, ENSI-Geschäftsnummer 14/11/015“, KKB-Brief, 29. Juni 2012
- /6/ KKB; „Schutz des BE-Lagerbeckens vor Wasserstoffdeflagration“, Technische Mitteilung, TM-511-R 12013, 27. Juni 2012
- /7/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zu dem deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“, ENSI 14/1531, 31. August 2011
- /8/ ENSI; „Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens“ ENSI 14/1658, 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-Okai 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
- /17/ KKB, Sicherheitsbericht Block 2, Rev. 6, 30. September 2011