



ENSI, CH-5200 Brugg

Einschreiben

BKW Energie AG
Kernkraftwerk Mühleberg
3203 Mühleberg

Ihr Zeichen: BR-AM-2014/226

Unser Zeichen: [REDACTED] - 10KEX.AP13FUKU5; 11/13/006

Sachbearbeiter: [REDACTED]

Brugg, 9. Januar 2015

Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

Sehr geehrte Damen und Herren

Mit der Verfügung /1/ vom 22.4.2013 verlangte das ENSI eine Überprüfung der gefilterten Druckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen. Mit Brief vom 12.6.2014 /2/ hat das KKM die entsprechenden Unterlagen termingemäss eingereicht.

Die Verfügung /1/ forderte die Überprüfung der Wasserstoffmessung, die Überprüfung des Severe Accident Management Guidance (SAMG), die Analyse verschiedener Aspekte betreffend die Verbreitung von Wasserstoff ausserhalb des Primärcontainments sowie die Überprüfung der Auslegung des gesamten Containmentdruckentlastungspfad. Das ENSI wird nachfolgend auf die einzelnen Punkte der Verfügung und die Untersuchungen von KKM eingehen.

1.1 Einrichtungen zur Wasserstoffmessung

Verfügungstext

Die Einrichtungen zur Wasserstoffmessung sind zu überprüfen. Diese Messungen und Messanzeigen sollen inklusiv ihrer Energieversorgung störfallfest und bezüglich ihrer Erdbebenfestigkeit eine signifikante Marge zum SSE gemäss der aktuellen Erdbebengefährdung aufweisen. Die Messanzeigen sollen in der Notsteuerstelle zur Verfügung stehen. Darüber hinaus ist darzulegen, ob eine allfällige Messung der Sauerstoffkonzentration in einem Störfallszenario für die Unfallbekämpfung relevante zusätzliche Informationen liefern könnte.



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

Angaben des Betreibers

Neben einer Wasserstoffmessung im Drywell gibt es im KKM auch eine Sauerstoffmessung im Drywell. Beide Messungen sind redundant ausgeführt. Eine Messung gehört zur Störfallinstrumentierung und ist elektrisch 1E-klassiert. Die andere Messung ist elektrisch 0E-klassiert. Die Energieversorgung der 1E-Messung ist nicht störfallfest und besitzt keine Marge zum SSE. Die Darstellung in den SAMG zur Notwendigkeit der Wasserstoffmessung als Einstiegs-kriterium in die SAMG ist nicht eindeutig und wird mit der nächsten Revision der Dokumente überarbeitet. Die Wasserstoffmessung dient im Wesentlichen nur als Anhaltspunkt für den Einsatz des Rekombinators für den Abbau von Radiolyse-gas. Für den Abbau von Wasserstoff aus der Oxidation der Brennelementhüllrohre dient im Leistungs-betrieb die Containmentdruckentlastung. Diese wird bei Überschreiten festgelegter Drücke im Drywell betätigt. Im Stillstand basieren die Massnahmen der SAMG ausschliesslich auf dem Füllstand in der Reaktorgrube.

Mit der vorhandenen Dosismessungen in der Schleuse zum Drywell und ausserhalb des Drywells steht eine Messung zur Verfügung, mit deren Hilfe ein Kernschaden erkannt werden kann /3/.

ENSI-Stellungnahme

Aufgrund der Stickstoffinertisierung des Containments von KKM hat die Messung der Wasserstoffkonzentration im Containment eine geringere Bedeutung als bei Kernkraftwerken, deren Containment Sauerstoff enthält. Diese Bewertung kann auch aus der KTA3502 /4/ abgeleitet werden, wonach bei Inertisierung des Druckabbausystems die Messung der Wasserstoffkonzentration im Containment entfällt. Zusätzlich verfügt das KKM mit der Dosismessung über eine erdbebenfeste Messung, welche in der SUSAN-Warte angezeigt wird. Mit dieser Messung kann ein Kernschaden (und damit das Auftreten von grösseren Wasserstoffmengen) identifiziert werden. Aus Sicht des ENSI ist dies ausreichend.

Aus Sicht des ENSI wird spätestens bei Messung grösserer Wasserstoffmengen üblicherweise in die SAMG eingestiegen. Das ENSI wird diesen Punkt anlässlich der Revision der SAMG weiterverfolgen.

Das ENSI ist der Auffassung, dass eine Messung des Sauerstoffgehaltes mittels Probenahme ausreichend ist.

1.2 Severe Accident Management Guidance (SAMG)

Verfügungstext

Es ist zu überprüfen, ob die in den Erwägungen unter 1.2 /1/ beschriebenen Aspekte in den SAMG sowie in den zu Grunde gelegten Analysen abdeckend berücksichtigt werden. Bei diesen Überprüfungen sind sowohl der Vollastbetrieb wie auch der Stillstand zu betrachten. Wo relevant ist auch Kohlenmonoxid in diesen Überprüfungen zu berücksichtigen.

Zitat Erwägungen 1.2 /1/: „Bei den Berechnungen zu den Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen wurden aus Sicht des ENSI verschiedene Aspekte zu wenig betrachtet. Dies betrifft insbesondere folgende Punkte:

- Die Analysen zu den Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen basieren auf Modellen, bei denen Wasserstoffgemische bei vordefinierten Konzentrationen zünden. Damit erfolgt die Zündung jeweils bevor eine detonationsfähige Wasserstoffkonzentration erreicht wird. Die Betrachtung von höheren Wasserstoffkonzentrationen bzw. von möglichen Detonationen wird somit ausgeschlossen.
- Nicht berücksichtigt wird bislang auch das Phänomen der Flammbeschleunigung /5/, wodurch sich allenfalls aus einer Deflagration eine Detonation ergeben kann.



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

- Ferner wird nicht berücksichtigt, dass lokal allenfalls deutlich höhere Wasserstoffkonzentrationen auftreten können als bei einer kompletten Durchmischung. Zumindest qualitative, abdeckende Betrachtungen sind hierzu notwendig.

Diese Aspekte können sowohl im Volllastbetrieb wie auch während des Stillstandes relevant sein.“

Angaben des Betreibers

Volllast

Im Leistungsbetrieb ist der Drywell inertisiert, eine Wasserstoffverbrennung ist daher nicht möglich. Somit sind die oben genannten Aspekte betreffend der Zündung von Wasserstoffgemischen bei vordefinierten Konzentrationen, der Flammbeschleunigung und der Durchmischung für den Drywell im Leistungsbetrieb nicht relevant. Die Strategie gegen die Ansammlung von zündfähigen Gemischen im Drywell besteht in der Minimierung des Eindringens von Sauerstoff in den mit Stickstoff inertisierten Drywell. Die SAMG empfiehlt Handlungen, die eine positive Druckdifferenz bezüglich des Umgebungsdrucks aufrechterhalten (Einspeisung von Stickstoff in das Primärcontainment).

Das KKM hat untersucht, wie lange es dauert, bis bei Störfallbedingungen durch Leckagen von Wasserstoff aus dem Drywell im Reaktorgebäude verschiedene H₂-Konzentrationen (4, 10, 29,8 Vol.-%) erreicht werden /6/. Diese Konzentrationen stehen für die untere Zündgrenze, das Flammbeschleunigungslimit und die stöchiometrische Zusammensetzung von Wasserstoff-Luft-Gemischen. Für diese Untersuchungen wurde die in der Technischen Spezifikation angegebene, maximal zulässige Gesamtleckagemenge aus dem Primärcontainment gemäss den Richtwerten aus den Prüfvorschriften für die Leckageratentests auf die verschiedenen Containmentdurchdringungen aufgeteilt. Konservativ wird angenommen, dass der Druck im Containment dem Druck bei Einleitung der gefilterten Druckentlastung entspricht, die zirkoniumhaltigen Hüllrohre und Brennelementkästen im Reaktorkern vollständig oxidiert sind und dass die Leckagemenge der jeweiligen Durchdringung auf der entsprechenden Kote ins Reaktorgebäude eintritt. Auf einzelnen Ebenen des Reaktorgebäudes entstehen nach etwa 2,5 - 4 Tagen zündfähige Gemische mit mehr als 4 Vol.-% Wasserstoff. Bei Durchführung der Containmentdruckentlastung wird ein grosser Teil des Wasserstoffs aus dem Drywell in die Umgebung befördert, sodass die Wasserstoffleckage aus dem Drywell ins Reaktorgebäude kleiner wird, wodurch das Zeitfenster bis zum Erreichen zündfähiger Konzentrationen verlängert wird. Somit steht ausreichend Zeit für Gegenmassnahmen zur Verfügung. Ferner zeigen die Untersuchungen, dass es aufgrund des hohen Diffusionskoeffizienten von Wasserstoff im Reaktorgebäude nicht zu einer Ausbildung eines ausgeprägten Konzentrationsgradienten kommen wird, in dessen wasserstoffreichem Teil die Zündgrenze von Wasserstoff-Luft-Gemischen schon deutlich früher erreicht werden würde als bei einer homogenen Vermischung.

Stillstand

Im Stillstand ist der Drywelldeckel geöffnet und das Drywellvolumen daher mit dem Reaktorgebäude verbunden.

Im extremen Fall einer nur theoretisch denkbaren vollständigen Oxidation der Hüllrohre im Reaktor-druckbehälter kann so viel Wasserstoff produziert werden, dass ein stöchiometrisches Gemisch mit dem im Reaktorgebäude bereits vorhandenen Sauerstoff entstehen kann. Die Verbrennung kleinerer Wasserstoffmengen bei geringen Konzentrationen kann toleriert werden, da keine Gefahr für ein Versagen des Reaktorgebäudes besteht.

Das Ziel ist, die Luft durch Stickstoff oder Dampf zu ersetzen. Die Berechnungen in /7/ zeigen, dass in einer Luft/Dampf-Atmosphäre die Dampfkonzentration im gesamten Reaktorgebäude grösser als ca. 30 % sein muss, um sicherzustellen, dass Druckspitzen durch Wasserstoffverbrennungen unterhalb



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

der strukturellen Belastbarkeit des Gebäudes liegen. Der Dampf stammt aus dem Verdampfen des Wassers im Reaktor und dem Brennelementbecken, Stickstoff kann mit dem Ventilationssystem ins Reaktorgebäude gefördert werden. Je nach Unfallszenario ist es günstig, zu Beginn den sich bildenden Dampf mit dem Ventilationssystem aus dem Reaktorgebäude abzuführen, damit Personalhandlungen durchgeführt werden können.

Kohlenmonoxid

Dieses Gas entsteht durch die Schmelze-Beton-Wechselwirkung. Durch den Einsatz des vorhandenen, einfachen aber hochwirksamen Drywell Sprüh- und Flutsystems (DSFS) kann dieser Prozess verhindert werden.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass alle in /1/ aufgeführten Punkte sowohl für die Analyse des Verhaltens des Primärcontainments wie auch des Reaktorgebäudes betrachtet wurden.

ENSI-Stellungnahme

In einem inertisierten Containment sind Wasserstoffverbrennungen ausgeschlossen, da der dafür notwendige Sauerstoff fehlt. Die SAMG zur Minimierung des Eindringens von Sauerstoff und damit zum Schutz des Containments vor Wasserstoffverbrennungen sind als Vorsorgemassnahme geeignet.

Zu den Aspekten betreffend das Reaktorgebäude nimmt das ENSI unter Kap. 1.3 Stellung.

1.3 Analyse verschiedener Aspekte betreffend Ausbreitung von Wasserstoff ausserhalb des Primärcontainments

Verfügungstext

Betreffend die Verbreitung von Wasserstoff ausserhalb des Primärcontainments sind die nachfolgend aufgelisteten Punkte zu analysieren. Wo relevant ist auch Kohlenmonoxid zu berücksichtigen.

- 1.3.1 Wo und wie Wasserstoff aus dem Containment in das Reaktorgebäude oder in andere angrenzende Gebäude und Raumbereiche austreten kann und inwieweit Ergebnisse aus den integralen Leckratentests des Containments auf die Rückhaltung von Wasserstoff übertragbar sind. Zu betrachten sind auch Ereignisse mit Versagen der Containmentisolation, Bypass-LOCAs sowie die Gegebenheiten während des Stillstandes. Bei der Analyse sind auch die Erkenntnisse aus den schweren Unfällen in Fukushima zu berücksichtigen. Für den Zwischenbericht sind dazu mindestens die bis Mitte 2013 relevanten international vorliegenden Erkenntnisse auszuwerten.*
- 1.3.2 Ob Wasserstoffexplosionen im Containmentdruckentlastungspfad oder in allfällig vorhandenen Anschlussleitungen zu einem Versagen der entsprechenden Leitungen, Behälter und Komponenten führen können, so dass es zu einer Freisetzung in den Ringraum oder in andere Gebäude kommen kann. Dazu sind die Erwägungen unter den Punkten 1.3 /1/ und 1.5 /1/ zu beachten. Falls es in gewissen Situationen (z. B. abhängig von Druck und Wasserstoffkonzentration im Containment) Einschränkungen für die gefilterte Druckentlastung gibt, sollen diese in der Strategie der Containmentdruckentlastung berücksichtigt und nach Möglichkeit als grafisches Hilfsmittel in die SAMG aufgenommen werden.*
- 1.3.3 Welche Gefährdungen sich daraus ergeben und durch welche Massnahmen diese gegebenenfalls beherrscht werden können. Insbesondere ist das Verfahren zum Abbau des Wasserstoffs aus dem Containment darzulegen.*

Zitat Erwägungen 1.3 /1/: „Für eine Wasserstoffverbrennung braucht es neben einem brennbaren Gemisch auch eine Zündquelle. Bei den Unfällen von Three Mile Island und Fukushima ist es jeweils



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

zu Zündungen gekommen. Aus Sicht des ENSI ist generell davon auszugehen, dass Zündquellen vorhanden sind. Für Bereiche, wo keine Zündquellen angenommen werden, ist dies aufgrund einer detaillierten Analyse zu belegen. Eine solche Analyse hat auch Ereignisse wie beispielsweise die Zerstörung eines Rohrleitungssegmentes der Deckelsprühleitung infolge einer Wasserstoffexplosion im KKW Brunsbüttel (14.12.2001), also Vorkommnisse ohne offensichtliche Zündquelle – elektrische Geräte, Funken usw. – zu berücksichtigen.“

Zitat Erwägungen 1.5 /1/: „Auch Wasserstoffdeflagrationen/-detonationen innerhalb des Containmentdruckentlastungspfads könnten die Dichtheit des Containments und die Funktionsfähigkeit von Sicherheitssystemen gefährden. Zu betrachten sind dafür unter anderem die erste Inbetriebnahme des Containmentdruckentlastungssystems während eines schweren Unfalls, eine mehrmalige Inbetriebnahme des Containmentdruckentlastungssystems in einem Unfallablauf und eine lang andauernde Containmentdruckentlastung. Damit sollen auch Situationen berücksichtigt werden, bei denen eine anfängliche Inertisierung nicht mehr wirksam ist. Entsprechende Analysen liegen nicht umfassend vor.“

Angaben des Betreibers

Zu 1.3.1

Eine Freisetzung von Wasserstoff aus dem Reaktor während des Stillstandbetriebs wird ausführlich in den SAMG /7/ behandelt. Durch die Oxidation des gesamten Zirkoniums im Reaktorkern kann maximal 840 kg Wasserstoff generiert werden, was zu einer Wasserstoffkonzentration von 35 % im Reaktorgebäude führen würde. Wenn auch noch die Brennelemente im Brennelementbecken berücksichtigt werden, so wären noch höhere Wasserstoffkonzentrationen im Reaktorgebäude möglich. Zur Vermeidung von zündfähigen Wasserstoffgemischen wird im Rahmen der SAMG das Fluten des Reaktorgebäudes mit Stickstoff empfohlen. Für die Stickstoffeinspeisung muss der flüssig gelagerte Stickstoff zuerst verdampft werden. Dazu stehen ein wasserbeheizter Verdampfer mit hoher Kapazität und ein luftbeheizter Verdampfer mit kleiner Kapazität zur Verfügung. Bei Ausfall des Frischdampfsystems ist der wasserbeheizte Verdampfer nicht verfügbar. Die beim KKM gelagerte Stickstoffmenge ist für eine vollständige Inertisierung des Reaktorgebäudes nicht ausreichend gross. Zusätzlich ist bei festgelegten Grenzwerten/Ereignissen die Reaktorgebäudelüftung/Notabluft ausser Betrieb zu nehmen, um die Inertisierung des Reaktorgebäudes mit Dampf und Stickstoff zu unterstützen.

Bypass-LOCAs und Ereignisse mit Versagen der Containmentisolation sind sehr unwahrscheinlich. Bei einem Versagen der Containmentisolation und hohem Containmentdruck kann Containmentatmosphäre an den gleichen Stellen austreten, an denen auch bei den Untersuchungen in /6/ eine Leckage angenommen wurde. Bei einem Versagen der Containmentisolation oder Verlust der strukturellen Containmentintegrität würde die Containmentdruckentlastung aufgrund der SAMG früher ausgelöst und der Entlastungspfad offen gehalten (frühes Venting). Dadurch wird unter anderem verhindert, dass grössere Wasserstoffmengen ins Reaktorgebäude gelangen können und die Menge einer ungefilterten Freisetzung wird minimiert.

In Fukushima gab es kein zum KKM vergleichbares Ventingsystem, welches auch ohne Schichtpersonal das Containment druckentlasten konnte. Lecks und ungünstig geführte Leitungen führten dazu, dass es zu einer Ansammlung von Wasserstoff im Reaktorgebäude kam, welche sich schliesslich entzündete.

In einem Bericht der japanischen Regierung an die IAEA /11/ sind unter anderem Verbesserungsmaßnahmen für die bestehenden japanischen Kernkraftwerke aufgeführt. Betreffend Wasserstoffbeherrschung im Reaktorgebäude werden unter anderem Austrittsöffnungen im Reaktorgebäudedach, eine Belüftungsanlage für den Austrag von Wasserstoff aus dem Reaktorgebäude sowie Wasserstoffdetektoren im Reaktorgebäude aufgeführt. Öffnungen im Reaktorgebäude sind für das KKM nicht zu



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

empfehlen, da das KKM-Reaktorgebäude druckdicht ist. Lüftungsanlagen sind im KKM-Reaktorgebäude bereits vorhanden. Wasserstoffmessungen im Reaktorgebäude würden für die bestehenden Massnahmen zur Wasserstoffbeseitigung im KKM keine zusätzliche Information liefern und werden daher für das KKM nicht empfohlen.

Zu 1.3.2 und 1.3.3

Die Containment-Druckentlastungsleitungen führen aus dem Drywell/Torus in den äusseren Torus. Diese Leitungen sind wie das Containment mit Stickstoff inertisiert. Das Gemisch aus Dampf, Stickstoff und Wasserstoff in den Druckentlastungsleitungen ist nicht zündfähig. In der Wasservorlage des äusseren Torus kondensiert ein Grossteil des Dampfes, während Stickstoff und Wasserstoff die Wasservorlage verlassen und durch den Abgaskanal in den Kamin und in die Umgebung entweichen. Zur Vermeidung von Wasserstoffverbrennungen im Abgaskanal und im Kamin wurden die Beleuchtung und die Lüftungsklappe im Abgaspfad explosionsgeschützt ausgeführt. Nach einem Ventingvorgang sind die Druckentlastungsleitungen bis zum äusseren Torus mit Dampf, Stickstoff und Wasserstoff gefüllt. Diese Mischung ist mangels Sauerstoff nicht brennbar. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich im Druckentlastungspfad nach dem äusseren Torus weitere Zündquellen befinden könnten, wurden mögliche Verbrennungsvorgänge in diesem Bereich analysiert. Diese Analyse zeigt, dass der maximale Druckaufbau auch bei einer Zündung unterschiedlich hoher Wasserstoffkonzentrationen nicht mehr als ca. 0,5 bar beträgt, was durch die verfügbare Menge an Sauerstoff im äusseren Torus erklärt werden kann.

Das Ausmass allfälliger Schäden durch eine Wasserstoffverbrennung im äusseren Torus, Abgaskanal oder Kamin ist schwierig abzuschätzen. Die schwächste Komponente ist der Abgaskanal, der ausserhalb des Reaktorgebäudes verläuft. Eine Zerstörung des Abgaskanals würde die Verbindung zum Kamin unterbrechen und die bei der Druckentlastung mitgeführte Aktivität würde bodennah freigesetzt. Ferner würde dies auch als Druckentlastung für den äusseren Torus wirken und die dort zu erwartenden Drucklasten reduzieren. Durch eine kurzfristige Druckerhöhung im äusseren Torus könnte Wasser aus dem äusseren Torus über die Verbindungsleitungen ins Reaktorgebäude gedrückt werden. Bei dem untersuchten Station Blackout Szenario verringert sich die Wasserhöhe im äusseren Torus nach mehreren Ventingvorgängen insgesamt um 1,2 m, während die Wasserhöhe im Reaktorgebäude um ca. 0,5 m ansteigt. Dadurch ist das Multiventuri-Sparger System (MVSS) stets von einer ausreichend hohen Wassersäule bedeckt und es kommt nicht zum Ausfall der Filterung der Druckentlastung.

Neben der gefilterten Druckentlastung kann Wasserstoff im KKM mit dem thermischen Rekombinator abgebaut werden.

ENSI-Stellungnahme

Nachfolgend nimmt das ENSI Stellung zu den Aspekten „Wasserstoff im Reaktorgebäude“ und „Wasserstoffexplosionen im Containmentdruckentlastungspfad“:

Wasserstoff im Reaktorgebäude

- Zu den durchgeführten Untersuchungen zur Bildung unterschiedlich hoher Wasserstoffkonzentrationen im Reaktorgebäude durch Leckagen aus dem Containment /6/ hat das ENSI folgende Anmerkungen:
 - Die aufsummierten Leckagen an den Durchdringungen am Drywell ergeben einen Anteil von rund 85 % der Gesamtleckage. Die verbleibenden rund 15 % werden nicht behandelt. Werden die Leckagen über verschiedene Bereiche aufsummiert, so resultieren abweichende Anteile verglichen mit denen, welche in der Berechnung verwendet wurden.

**Klassifizierung:**

Betreff:

keine

Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

- Unfallbedingte Zustände im Containment/Reaktorgebäude bleiben unberücksichtigt, insbesondere auf den gemäss der bestehenden Analyse zur Tragfähigkeit des Containments dominanten Versagensmodus des Drywells (Flanschleckage am Drywelldeckel) wird nicht eingegangen.
- Der Einfluss der Temperatur auf die Gasverteilung wird nicht berücksichtigt. Die Experimente zur Untersuchung der thermischen Schichtung auf die Wasserstoffverteilung am Battelle Modell Containment zeigen, dass eine höhere Temperatur im oberen Bereich dazu führen kann, dass die Wasserstoffkonzentration im unteren Bereich höher ist als im oberen Bereich, es also zu einer Wasserstoffschichtung kommen kann /8/.
- Die in /7/ dokumentierten MELCOR-Analysen berücksichtigen auch Wasserstoffkonzentrationen oberhalb der unteren Zündgrenze. Allerdings wird in diesen Analysen keine Flammbeschleunigung modelliert, womit die berechneten Druckspitzen die Auswirkungen dieses Phänomens nicht abdecken. Ferner wird bei diesen Analysen von einem Versagensdruck des Reaktorgebäudes von 3 bis 4 bar ausgegangen. Dies ist gemäss /9/ nicht korrekt, wonach dieser Versagensdruck zwischen 1,88 und 2,23 bar liegt. Eine entsprechende Neuanalyse hat das ENSI bereits im Rahmen der Stellungnahme zur PSÜ KKM gefordert /10/. In /9/ wird auch festgehalten, dass Wasserstoffverbrennungen der dominante Mechanismus zur Erzeugung von Drücken oberhalb des Versagensdruckes des Reaktorgebäudes sind.
- Die Analysen in /7/ zeigen auch, dass es nach Dampfkondensationsvorgängen im Reaktorgebäude (z. B. nach Wasserstoffverbrennungen im Reaktorgebäude oder durch die Aktivierung des DSFS bei Stillstand) zu einem Ansprechen des Vakuumbrechers zwischen dem Reaktorgebäude und dem äusseren Torus kommt. Dieser Vakuumbrecher ist eine Motorarmatur, deren Stromversorgung nicht von den SUSAN-Dieseln gestützt wird. Sollte dieser Vakuumbrecher nicht öffnen, würde sich im Reaktorgebäude ein Unterdruck aufbauen, der die Integrität (Dichtheit) des Reaktorgebäudes gefährden könnte /7/. Die Auswirkungen eines Nichtöffnens des Vakuumbrechers zwischen dem Reaktorgebäude und dem äusseren Torus sind deshalb zu untersuchen.
- Mit der Reaktorgebäudelüftung oder der Notabluft kann Wasserstoff aus dem Reaktorgebäude abgeführt werden, wodurch zündfähige Wasserstoffkonzentrationen im Reaktorgebäude vermieden werden könnten. Allerdings treten Wasserstoff aus der Zirkoniumoxidation und radioaktive Freisetzungen bei einem schweren Unfall gemeinsam auf, weshalb die SAMG diese Vorgehensweise nicht empfehlen und Kriterien enthalten, wann die Reaktorgebäudelüftung und/oder die Notabluft zu stoppen sind. Ferner ist die Reaktorgebäudelüftung nicht erdbebenfest ausgelegt. Die Stickstoffinertisierung ist generell geeignet, um die Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen zu mildern oder Verbrennungen zu verhindern. Die Kapazität des luftbeheizten Vergasers ist allerdings zu gering, um einen nennenswerten Einfluss auf den Unfallablauf im Reaktorgebäude zu haben. Aus Sicht des ENSI ist die Vorsorge mittels Accident Management Massnahmen gegen Wasserstoff im Reaktorgebäude zu überprüfen. Als Entscheidungshilfe für das Accident Management ist eine Messung der Wasserstoffkonzentration im Reaktorgebäude vorzusehen, welche auch nach einem Erdbeben funktionsfähig ist.
- Im Leistungsbetrieb besteht im Drywell wegen der Stickstoffinertisierung keine Gefahr einer Wasserstoffverbrennung. Allerdings kann der Wasserstoff damit auch nicht im Drywell abgebaut werden.
- Mit der gefilterten Druckentlastung kann Wasserstoff aus dem Containment abgeführt werden. Die Empfehlung in den SAMG zum frühen Venting ist geeignet, die Freisetzungen von Wasserstoff und radioaktiven Spaltprodukten ins Reaktorgebäude zu verringern. Mit dem DSFS kann die Temperatur im Containment tief gehalten werden, wodurch eine Leckage am Deckelflansch bei geringeren Drücken vermieden werden kann.



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

Aufgrund der obigen Ausführungen ergibt sich folgende Forderung:

Forderung 1

Die folgenden Untersuchungen sind dem ENSI bis zum 30.6.2015 einzureichen.

- a) *Die Auswirkungen eines Nichtöffnens des Vakuumbrechers zwischen dem Reaktorgebäude und dem äusseren Torus sind zu untersuchen.*
- b) *Der Schutz des Reaktorgebäudes bei schweren Unfällen während des Leistungsbetriebs ist anhand mindestens eines repräsentativen Szenarios zu untersuchen. Auswirkungen der vorhandenen Massnahmen zur Wasserstoffentfernung aus dem Reaktorgebäude sind in diesen Untersuchungen szenariospezifisch zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind zusätzliche Accident Management Massnahmen zu identifizieren.*
- c) *Es ist ein Lösungskonzept zu entwickeln, um im Rahmen des Accident Management eine Messung der Wasserstoffkonzentration im Reaktorgebäude zur Verfügung zu haben, welche auch nach einem Erdbeben funktionsfähig ist.*

Wasserstoffexplosionen im Containmentdruckentlastungspfad

Mittels der Containmentdruckentlastung wird der Wasserstoff aus dem Drywell abgeführt. Sollte es zu einer Wasserstoffverbrennung im Druckentlastungspfad vom äusseren Torus zum Kamin kommen, könnte Wasser aus dem äusseren Torus ins Reaktorgebäude auf die -11m-Ebene gedrückt werden. Aus Sicht des ENSI steht dabei nicht die -11m-Ebene im Fokus, da einerseits die dort vorhandenen notstandsgesicherten Sumpfpumpen das Wasser in den Torus fördern könnten und andererseits wohl wesentliche Ausrüstungen auf dieser Ebene bereits zuvor nicht mehr verfügbar sind, da es sonst nicht zu einem schweren Unfall gekommen wäre. Der Fokus des ENSI liegt in diesem Falle auf der Wirksamkeit der gefilterten Druckentlastung, da durch das Absinken der Wasservorlage im äusseren Torus die Austrittsöffnungen des MVSS freigelegt werden könnten. Dadurch wäre der Rückhalt der Wassertröpfchen, an die die Aerosole im MVSS absorbierten, nicht mehr sicher gewährleistet. Es muss deshalb verhindert werden, dass die Wasservorlage im äusseren Torus unter die Austrittsöffnungen des MVSS absinkt.

Mit einer Accident Management Massnahme ist sicherzustellen, dass Wasser aus einer externen Quelle mit mobilen Mitteln in den äusseren Torus eingespiessen werden kann. Um ein Überfüllen des äusseren Torus zu vermeiden, ist zu gewährleisten, dass der Wasserstand auch nach einem Ventingvorgang mit allfälliger Wasserstoffverbrennung gemessen werden kann.

Aus den Aussagen zu den Wasserstoffverbrennungen im Druckentlastungspfad vom äusseren Torus zum Kamin geht der Umfang der betrachteten Szenarien nicht genau hervor. So ist nicht klar, ob auch die Auswirkungen bei einem Brechen der Berstscheibe und anschliessendem Offenbleiben der Druckentlastung untersucht wurden. Ebenfalls bleibt offen, inwieweit eine Flammbeschleunigung im Druckentlastungspfad zu erwarten ist und was die resultierenden Lasten auf die umgebenden Strukturen sind.

Aufgrund der obigen Ausführungen ergibt sich folgende Forderung:



Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

Forderung 2

Die folgenden Untersuchungen sind dem ENSI bis zum 30.6.2015 einzureichen.

- a) *Mittels einer Accident Management Massnahme ist sicherzustellen, dass Wasser aus einer externen Quelle mit mobilen Mitteln in den äusseren Torus eingespiesen und dass der Wasserstand im äusseren Torus gemessen werden kann. Dazu ist ein entsprechendes Konzept einzureichen.*
- b) *Die Möglichkeit einer Flammbeschleunigung im Druckentlastungssystem ist zu untersuchen. Alternativ dazu kann ein Konzept mit einer gegen diese Gefährdung gerichteten Accident Management Massnahme eingereicht werden.*

1.4 Überprüfung der Auslegung des gesamten Containmentdruckentlastungspfad

Verfügungstext

Die Auslegung des gesamten Containmentdruckentlastungspfad bis zur Abgabe an die Umgebung ist zu überprüfen. Dabei sind die Erdbebenfestigkeiten (gemäss der aktuellen Erdbebengefährdung) der verschiedenen Komponenten und Leitungen zu beachten.

Angaben des Betreibers

Bei einem Walkdown wurde festgestellt, dass das Druckentlastungssystem selbst ausreichend robust ist, um einem Erdbeben mit einer Bodenbeschleunigung oberhalb des Screening-Niveaus von 1,2 g bei 5 % Dämpfung standzuhalten. Das Reaktorgebäude hat in den relevanten Bereichen eine HCLPF-Kapazität von 0,32 g bezüglich Scaled Interim PRP und 0,40 g bezüglich PEGASOS. Dies übertrifft die 10'000-jährlichen Erdbeben von 0,24 g im ersteren und 0,38 g im letzteren Fall.

ENSI-Stellungnahme

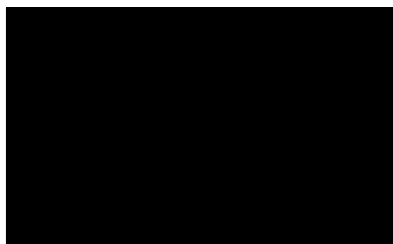
Die seismische Auslegung der Containmentdruckentlastung ist Gegenstand des ERSIM-Projekts. Das ENSI wird sich in Rahmen dieses Projekts dazu äussern und geht an dieser Stelle nicht weiter darauf ein.

1.5 Zusammenfassung

Die vom ENSI geforderten Analysen /1/ wurden vom KKM eingereicht und vom ENSI überprüft. Es ergeben sich die unter Kap. 1.3 genannten Forderungen, welche in neuen Geschäften weiterverfolgt werden. Das Geschäft 11/13/006 wird geschlossen.

Freundliche Grüsse

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI





Klassifizierung:
Betreff:

keine
Stellungnahme zum Schlussbericht betreffend Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen

Referenzen

- /1/ ENSI-Verfügung vom 22.4.2013, „Verfügung: Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen“
- /2/ KKM-Brief (BR-AM-2014/226) vom 12. Juni 2014, „Verfügung über die gefilterte Containmentdruckentlastung und den Schutz gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen“
- /3/ Dycoda/BKW-11-02, Rev. 0, Evaluation of RABE Criteria from the Deterministic MELCOR Calculations Supporting the Level 2 PSA for KKM, May 2011
- /4/ KTA 3502, Störfallinstrumentierung, Fassung 2012-11
- /5/ Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety, State of the Art Report, NEA/CSNI/R(2000)7
- /6/ KIT: Studie zum Gefährdungspotential für Brennelementbecken und Reaktorgebäude RG+29m durch Wasserstoffverbrennungen, IKET-Nr. 1/12, März 2012
- /7/ KKM: SAMG Technical Basis Document: Summary of MELCOR Calculations to Support Development of Shutdown Severe Accident Management Guidelines (SAMGs) at KKM
- /8/ Battelle, RS 246, „Experimentelle Untersuchung der Wasserstoffverteilung im Containment eines Leichtwasserreaktors nach einem Kühlmittelverlust-Störfall“, BF-R-63.363-3, 1979
- /9/ KKM; MUSA2010, Probabilistic Safety Assessment Level 2, Appendix C: Low Power / Shutdown (LPSD) Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), Revision 0: April 2012
- /10/ ENSI 11/1864, Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2010 des Kernkraftwerks Mühleberg, Dezember 2013
- /11/ Government of Japan: Additional Report of the Japanese Government to the IAEA (Second Report), September 2011