

ENSI Ein: -4. APR. 2011

Mühleberg, 31. März 2011 BR-KL-2011/088 KKM P. Miazza / MASYL



Einschreiben

Eidgenössisches Nuklearsicherheits-
inspektorat ENSI
Industriestrasse 19
5200 Brugg

BKW®

**Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima
Stellungnahme zum Punkt 5 der Verfügung
Ihr Zeichen FLP/SAN - 11/11/003**

BKW FMB Energie AG
Kernkraftwerk Mühleberg
CH-3203 Mühleberg

Telefon 031 754 71 11
Telefax 031 754 71 20

www.bkw-fmb.ch

Sehr geehrte Damen und Herren

In Ihrem Brief vom 18. März haben Sie unter Punkt 5 verfügt, dass das KKM bis zum 31. März 2011 zu drei spezifischen Fragen Stellung nehmen soll.

Mit dem vorliegenden Schreiben übergeben wir Ihnen die Aktennotiz „Bericht zur Verfügung des ENSI vom 18. März 2011“, in der wir zu den drei Punkten Stellung nehmen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die mit den Fragen verbundenen Anforderungen durch das KKM in ausreichendem Masse erfüllt werden.

Freundliche Grüsse

BKW FMB Energie AG
Kernkraftwerk Mühleberg


Patrick Miazza
Leiter Kernkraftwerk



Beilage:

- Aktennotiz AN-UM-2011/025 „Bericht zur Verfügung des ENSI vom 18. März 2011“


1to1energy

BKW BKW FMB ENERGIE AG KERNKRAFTWERK 3203 MÜHLEBERG KKM		Dokumentenart Aktennotiz	
Klassifizierung		Verfasser / Organisationseinheit [REDACTED]	
		Datum 30.03.2011	Revisionsindex
		Seite 1 von 17	Dokumenten-Nummer AN-UM-2011/025
Schlagworte			
Titel <h2 style="text-align: center;">Bericht zur Verfügung des ENSI vom 18. März 2011</h2>			
<p>Das ENSI hat mit der Verfügung vom 18. März insbesondere drei spezifische Fragen zur Kühlwasserversorgung, zum Schutz des Brennelementbeckens und zur Auslegung der Brennelementbeckenkühlung gestellt. Die vorliegende Aktennotiz nimmt zu diesen drei Fragen Stellung und legt dar, wie die entsprechenden Anforderungen im KKM erfüllt werden.</p> <p>Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die mit den Fragen verbundenen Anforderungen durch das KKM in ausreichendem Masse erfüllt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme des Notstandssystems SUSAN ist für die Auslegungsfälle des Systems und darüber hinaus sichergestellt. • Das Trockenlager und das Brennelementbecken im Reaktorgebäude sind gegen externe und interne Auswirkungen geschützt. • Das Brennelementbeckenkühlsystem wird nicht über das Notstandssystem versorgt. Jedoch besteht auch ohne Brennelementbeckenkühlsystem die Möglichkeit, die anfallende Nachzerfallswärme über passive Wärmetransportprozesse abzugeben. <p>Dennoch haben wir verschiedene Punkte festgestellt, bei denen uns eine vertiefte Abklärung vor dem Hintergrund der – noch nicht vollständig geklärten – Ereignisse in Japan sinnvoll erscheint. Erste Massnahmen aus diesen Erkenntnissen sind bereits abgeleitet und werden umgesetzt.</p> <p><small>Das Urheberrecht an diesem Dokument verbleibt im Besitz der BKW FMB Energie AG. Ohne ausdrückliche Genehmigung dürfen diese Schriftstücke weder kopiert, noch vervielfältigt, noch Drittpersonen mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.</small></p>			
31.03.2011 [REDACTED]	31.03.2011 [REDACTED]	31.03.2011 Patrick Miazza	
<small>erstellt</small>		<small>geprüft</small>	
Beilagen			
Verteiler KL, AL, RL, FL extern: ENSI			

Inhalt

1	Veranlassung	3
2	Vorgehensweise.....	3
3	Kühlmittelversorgung für Sicherheits- und Hilfssysteme	3
4	Schutz des Brennelementbeckens gegen externe und interne Auswirkungen.....	5
4.1	Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage	5
4.2	Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage	8
4.3	Zusätzliche Störfälle, die nicht in KEV, Artikel 8 aufgeführt sind	11
4.4	Bewertung des Brennelementbeckens gemäss KEV, Artikel 10 Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken.....	12
5	Versorgung und Steuerung der Brennelementbeckenkühlung.....	14
5.1	Systembeschreibung.....	14
5.2	Einordnung des Brennelementbeckenkühlsystems	16

1 Veranlassung

In ihrer Verfügung „Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima“ vom 18. März 2011 hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) unter anderem verfügt (Punkt 5):

Das Kernkraftwerk Mühleberg hat bis zum 31. März 2011 dem ENSI einen Bericht vorzulegen, in dem folgende Fragen beantwortet werden:

- a. Ist im Kernkraftwerk Mühleberg die Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme aus einer diversitären, erdbeben-, hochwasser- und verunreinigungssicheren Quelle gesichert (Zusatzversorgung über Grundwasserbrunnen)?*
- b. Sind im Kernkraftwerk Mühleberg allfällige ausserhalb des Primärcontainments befindliche Brennelementlagerbecken genügend gegen externe und interne Einwirkungen geschützt?*
- c. Ist im Kernkraftwerk Mühleberg die Brennelementbeckenkühlung eine besonders geschützte Sicherheitsfunktion und kann sie über das gebunkerte Notstandssystem versorgt und gesteuert werden?*

Die vorliegende Aktennotiz nimmt zu diesen drei Fragen des ENSI Stellung.

2 Vorgehensweise

Zur Beantwortung der in der Verfügung vom 18. März 2011 unter Punkt 5 gestellten Fragen wird auf die Unterlagen zurückgegriffen, die dem ENSI mit der periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ2010 im Dezember 2010 eingereicht wurden. Sofern auf weitere Dokumente verwiesen wird, sind diese im Text angegeben.

Schwerpunkt der Stellungnahme ist dabei die Bewertung der entsprechenden Anlagensysteme vor dem Hintergrund der bisher nur unvollständig bekannten Ereignisse in der japanischen Anlage Fukushima Daiichi. So wird insbesondere auch der Fall einer Kombination eines Erdbebens mit einer nachfolgenden Überflutung betrachtet.

Jede der Fragen wird in einem eigenen Kapitel diskutiert.

3 Kühlmittelversorgung für Sicherheits- und Hilfssysteme

Das KKM verfügt über mehrere Kühlwasserkreisläufe. Die zwei betrieblichen Hauptkühlwasserkreisläufe dienen der Abfuhr der Abwärme aus den Kondensatoren im Normalbetrieb. Sie beziehen Kühlwasser über [REDACTED] Einlaufbauwerke mit Reinigungsanlage aus dem Fluss, leiten das Kühlwasser über die Kondensatoren und über ein gemeinsames Auslaufbauwerk mit zwei getrennten Auslaufkanälen in den Fluss zurück.

Das Hilfskühlwassersystem versorgt alle Nebenkühlstellen mit Ausnahme des Notstandssystems (SUSAN), wobei eine der beiden vorhandenen Pumpen die erforderliche Pumpleistung erbringt. Das System benutzt die gleichen Einlaufbauwerke wie die Hauptkühlwassersysteme.

Bei Ausfall der Stromversorgung können beide Hilfskühlwasserpumpen von den beiden Notstromspeisungen vom Wasserkraftwerk betrieben werden (siehe Sicherheitsbericht Kapitel 8). Versagt auch diese Stromversorgung, erfolgt der Betrieb einer der beiden Hilfskühlwasserpumpen über den Notstromdieselgenerator, während die zweite Hilfskühlwasserpumpe in Reserve bleibt.

Im Rahmen von Accident Management Massnahmen (AMM-B-001) ist es möglich, verschiedene Kühlstellen mit anderen Wasserversorgungen wie Hochreservoir, Trinkwassernetz, Feuerlöschwasser oder über mobile Feuerlöschpumpen mit Wasserbezug aus der der Aare zu verbinden.

Das gebunkerte Notstandssystem SUSAN verfügt über ein eigenes, unabhängiges Kühlsystem mit örtlich getrennten Ein- und Auslaufbauwerken. Beide SUSAN-Kühlkreisläufe beziehen ihr Kühlwasser über das Auslaufbauwerk des Hauptkühlwassers aus der Aare. Dank dieser Konstruktion bezieht das Notstandssystem das erforderliche Wasser nicht von einer singulären Stelle im Flussprofil, [REDACTED]

Die Systeme des SUSAN werden bei Ausfall der externen Stromversorgung durch SUSAN eigene Notstromdieselgeneratoren versorgt. Das gesamte SUSAN wurde für das Sicherheitserdbeben (SSE) ausgelegt und widersteht auch den Belastungen, die gemäss der PEGASOS Studie bei einem Erdbeben zu berücksichtigen sind.

Das SUSAN ist überflutungssicher ausgelegt. Bei der Auslegung wurden bestimmte Bruchszenerarien der Wohlenseestaumauer und der Saanedämme zugrunde gelegt (vgl. HSK-Gutachten 1991, Kap. 2.4.3). Im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse (siehe PSÜ2010, Bericht 9, Appendix O.3) wurden alle Stauanlagen an der Aare oberhalb des KKM betrachtet. Dies sind Totensee, Trübensee, Oberaar, Grimsel, Räterichsboden, Gelmer, Handeck, Mattenalp, Zwirgi, Spiezmoos, Simmenporte, Sulgenbach, Weiermatt und Wohlensee. Aufgrund der geographischen Gegebenheiten kann lediglich die Staumauer in Mühleberg (Wohlensee) zu einer Überflutung auf dem Areal des KKM führen. Weiterhin können Dammbürüche an der Saane über einen Rückstauereffekt zu Überflutungen des KKM-Areals führen. Hier wurden die folgenden Stauanlagen betrachtet: Hongrin, Sannetsch, Arnensee, Rossinière, Lessoc, Montsalvens, Rossens, Maigrauge und Schiffenen. Für relevante Überflutungsszenarien sind nur die Stauanlagen Rossens und Schiffenen von Bedeutung.

Für die relevanten Stauanlagen Wohlensee, Rossens und Schiffenen wurden nachträglich weitere Analysen erarbeitet. Diese Analysen zeigen, dass die aus Dammbürüchen dieser drei Stauanlagen resultierenden Überflutungen die Auslegungskote des SUSAN nicht überschreiten würden. [REDACTED]

Lediglich ein extrem unwahrscheinliches Szenario, [REDACTED]

[REDACTED] könnte zu einer Überflutungshöhe führen, die die Fähigkeiten des SUSAN übersteigt. Die aktuelle probabilistische Sicherheitsanalyse bestimmt die Häufigkeit dieses auslösenden Ereignisses als kleiner $2.0E-7$ pro Jahr. Es handelt sich damit gemäss der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) um ein auslegungsüberschreitendes Ereignis.

Mit dem SUSAN verfügt das KKM somit über eine von den betrieblichen Systemen unabhängige, gegen Erdbeben und Überflutungen in ausreichendem Masse geschützte Kühlmittelversorgung für die redundanten Sicherheitssysteme des Notstandssystems sowie für die Hilfssysteme, welche für die Funktionen der Sicherheitssysteme benötigt werden.

Die Kühlsysteme des KKM beziehen ihr Wasser aus der Aare. Die geologische Situation in unmittelbarer Nähe des SUSAN erlaubt es nicht, hier einen ausreichend ergiebigen Brunnen anzulegen. Die konstruktive Auslegung des Einlaufbauwerks der SUSAN-Kühlwassersysteme ist darauf ausgerichtet, das Kühlwasser über einen grossen räumlichen Bereich der Aare zu beziehen, um so das Risiko einer Verstopfung des Einlaufbauwerks zu minimieren. Aus dem gleichen Grund sind auch die Öffnungen in dem Einlaufbauwerk stromabwärts gerichtet. Allfällige grobe Verschmutzungen, die mit der Aare mitgeführt werden, werden so nicht in den Kanal hineingedrückt, sondern daran vorbeigeleitet. Ein Hochwasser der Saane kann zu einem Rückstau der Aare führen. Dabei sind keine übermässigen Schmutzablagerungen am KKM Standort zu erwarten. Dadurch, dass das Einlaufbauwerk im Normalbetrieb auch als Auslauf des Hauptkühlwassers dient, ist sichergestellt, dass sich dort während des Betriebs keine Verschmutzungen ablagern. [REDACTED]

[REDACTED] Insbesondere die Gefahr einer Verstopfung der Öffnungen des Auslaufbauwerks wurde bereits im Rahmen der Auslegung untersucht (Ergänzende Untersuchungen zur Benützung des KW-Auslaufes als KW-Einlauf für SUSAN, 1987). Weiterhin ist das Auslaufbauwerk in den Fels am Grund des Flusses eingelassen und eingeschwemmt. Allfällig mit einer Flutwelle mitgeführte Felsen und Trümmer sollen dadurch über die Bauwerke weggeleitet

werden. Dadurch, dass das Flussbett aus Fels besteht, wird weiterhin verhindert, dass das Bauwerk durch eine Flutwelle unterspült und so in seiner Funktion beeinträchtigt wird.

Im Rahmen der Überflutungsanalysen infolge von Damnbrüchen wurde auch qualitativ untersucht, ob der mit der Flutwelle mitgeführte Schlamm zu einer Verstopfung des Einlaufbauwerks führen könnte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass allfällige Schlammablagerungen erst stromab vom Auslaufbauwerk und zu einem späteren Zeitpunkt zu erwarten sind. Die letzten beiden Jahrhunderthochwasserereignisse haben dies durch nachträgliche Profilmessungen des Aarebets bestätigt. Dies wird auch durch einen aktuellen Bericht der IAEA unterstützt (IAEA-J8.03-O.0318-2009ML vom 15.12.2010, Operating Experience Feedback (OEF) External Flooding). Dieser Bericht untersucht verschiedene Erfahrungsberichte zu Überflutungsereignissen in verschiedenen Kernkraftwerken weltweit. Bei keinem der untersuchten Ereignisse war die Verstopfung des Kühlmittleinlaufs durch mit der Flutwelle mitgeführte Verunreinigungen beobachtet worden.

Die aktuellen Untersuchungen zur Erdbebenfestigkeit des KKM, die mit der Periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ2010 eingereicht wurden, bestätigen die Erdbebenfestigkeit gemäss der aktuellen Gefährdungsannahmen auch für das Einlaufbauwerk des SUSAN.

Damit lässt sich feststellen, dass das Einlaufbauwerk des Notstandssystems SUSAN gegen Erdbeben ausgelegt und in ausreichendem Masse gegen grobe Verunreinigungen geschützt ist.

4 Schutz des Brennelementbeckens gegen externe und interne Auswirkungen

Die zweite Frage aus Punkt 5 der Verfügung vom 18. März 2011 betrifft den Schutz des Brennelementbeckens gegen externe und interne Einwirkungen.

Das Brennelementbecken sowie das Trockenlager für frische Brennelemente befinden sich im KKM im Reaktorgebäude [REDACTED]. Das Reaktorgebäude als Sekundärcontainment umschliesst als wichtigste Komponente das Primärcontainment (Drywell und Torus). Das Reaktorgebäude wirkt bei offenem Primärcontainment als Primärcontainment (siehe Sicherheitsbericht Kapitel 1.5.4). Somit befindet sich im KKM das einzige Brennelementbecken ebenso wie das Trockenlager in einem Containment, das für die nachfolgend diskutierten Einwirkungen ausgelegt ist.

Gemäss Kernenergieverordnung (Artikel 8) sind bei Kernanlagen Schutzmassnahmen gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage zu treffen. Im selben Artikel werden auch die Störfälle aufgelistet, die jeweils zu berücksichtigen sind.

Wie die Schutzmassnahmen in Bezug auf das Brennelementbecken jeweils umgesetzt sind, wird im Folgenden diskutiert. Eine Analyse der Störfälle mit Bezug auf die Gesamtanlage wurde dem ENSI mit der aktuellen periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ2010 im Dezember 2010 zur Überprüfung eingereicht.

4.1 Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage

Reaktivitätsstörung

Diese Störung ist nur relevant, wenn Kritikalität erreicht wird. Die Lagergestelle im Trockenlager und im Brennelementbecken sind so ausgelegt, dass die Anordnung von Brennelementen jederzeit unterkritisch ist (siehe auch Sicherheitsbericht Kapitel 10). Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen Reaktivitätsstörungen ist durch die Auslegung sichergestellt.

Kühlmittelverlust

Das Trockenlager benötigt keine Kühlung und damit auch kein Kühlmittel.

Das Brennelementbecken ist immer mit Wasser gefüllt, das sowohl zur Kühlung der Brennelemente als auch als Abschirmung der radioaktiven Strahlung dient. Alle Zuführleitungen in das Brennelementbecken münden oberhalb des Wasserspiegels in das Becken ein, so dass ein unbemerkter Wasserverlust aus dem Becken über diese Leitungen nicht möglich ist. Im Leistungsbetrieb ist das Brennelementbecken von der leeren Reaktorgrube durch die sogenannte Dammpfanne getrennt. Ein Versagen der Dammpfanne würde zu einem starken Absinken des Wasserniveaus im Brennelementbecken führen, die Brennelemente bleiben dabei mit Wasser überdeckt. Im Leistungsbetrieb befinden sich Abschirmsteine hinter der Dammpfanne und der Raum zwischen der Dammpfanne und den Abschirmsteinen wird auf Leckagen überwacht. Ein Versagen der Dammpfanne ist in diesem Fall durch den sogenannten BEB-LOCA (siehe unten) abgedeckt. Im Stillstand wird die Reaktorgrube geflutet und die Dammpfanne entfernt. Ein Versagen ist daher nicht zu berücksichtigen. Ein Versagen der Dammpfanne bei einem Erdbeben wird im Kapitel 4.2 bei den externen auslösenden Ereignissen diskutiert. Ein fehlerhaftes Entfernen der Dammpfanne durch die Bedienmannschaft wird unter „Fehler des Personals“ behandelt. Eine Beschädigung des Brennelementbeckens durch schwere Lasten wird nachfolgend im Abschnitt „Mechanische Einwirkung infolge Komponentenversagen“ betrachtet.

Der Verlust von Wasser aus dem Brennelementbecken wurde im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse untersucht. Die Häufigkeit für einen Kühlmittelverlust aus dem Brennelementbecken (BEB-LOCA) ist kleiner als $1.0E-5$ pro Jahr. Im Falle eines Verlusts von Kühlmittel bleibt noch ausreichend Zeit (mehr als 20 Stunden), um eine alternative Nachspeisung des Brennelementbeckens einzurichten. Daraus resultiert eine Brennstoffschadenshäufigkeit kleiner $4.0E-10$ pro Jahr.

Unter Berücksichtigung der sehr geringen Eintrittshäufigkeit dieses Szenarios werden die vorhandenen Massnahmen zur Nachspeisung des Brennelementbeckens als ausreichend erachtet. Weitere Details zum Kühlmittelverlust aus dem Brennelementbecken sind in Bericht 9, Appendix U der periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ2010 enthalten. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen den Störfall Kühlmittelverlust ist durch die Accident Management Massnahmen sichergestellt.

Verlust der Wärmesenke

Für das Trockenlager ist keine Wärmesenke erforderlich.

Die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken erfolgt im Normalbetrieb über das Brennelementbeckenkühlsystem (siehe auch Kapitel 5). Bei Ausfall dieses Kühlsystems erfolgt die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken durch Verdunstung beziehungsweise Verdampfung und weiter über das Sekundärcontainment und den äusseren Torus. Dieser Pfad der Wärmeabfuhr ist passiv und benötigt weder Hilfsenergie noch Operateurhandlungen. Auch bei einem Ausfall des betrieblichen Kühlsystems ist die Wärmeabfuhr somit sichergestellt. Damit die Wärmeabfuhr über diesen Pfad mittelfristig, dass heisst im Bereich von Wochen sichergestellt ist, muss allerdings das verdampfende Wasser nachgespiesen werden können. Dieser Aspekt wird im Kapitel 5 weiter untersucht. Für die Lagerung der Brennelemente im Brennelementbecken ist die Einhaltung eines ausreichenden Wasserniveaus relevant und nicht die Bereitschaft des Brennelementbeckenkühlsystems. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen den Verlust der Wärmesenke ist sichergestellt.

Brand

Interne Brände im Reaktorgebäude können zu einer Beschädigung von Komponenten des Brennelementbeckenkühlsystems oder von dessen Supportsystemen führen und würden damit in einem Ausfall des Brennelementbeckenkühlsystems resultieren. Dieser Fall wurde unter Verlust der Wärmesenke bereits diskutiert. Eine Beschädigung des Brennelementbeckens durch einen Brand in der Nähe des Beckens kann aber ausgeschlossen werden. Die Brennelemente im Brennelementbecken sind

durch die Wasserüberdeckung ebenfalls gegen Brandeinwirkungen geschützt. Eine Beschädigung des Trockenlagers einschliesslich Inhalt durch einen Brand kann ebenfalls ausgeschlossen werden, da die Brandlasten im Reaktorgebäude klein sind und regelmässig überprüft werden. Weiterhin ist das Trockenlager geschlossen und von oben abgedeckt. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen Brand ist sichergestellt.

Überflutung

Eine interne Überflutung des Brennelementbeckens ist nicht relevant, da das Becken im Betrieb bereits mit Wasser gefüllt ist. Eine allfällige Überflutung könnte also allenfalls einen gesunkenen Wasserstand wieder ausgleichen. Allerdings gibt es keine Leitung, die oberhalb des Brennelementbeckens brechen und zu einer Überflutung führen könnte. Für das Trockenlager wurde nachgewiesen, dass die dort gelagerten Brennelemente auch bei einer Überflutung des Trockenlagers unterkritisch bleiben (siehe Sicherheitsbericht 1.2.9). Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen interne Überflutung ist sichergestellt.

Mechanische Einwirkung infolge Komponentenversagen

Im Bereich des Brennelementbeckens gibt es verschiedene Grosskomponenten, die potentiell mit dem Brennelementbecken oder dem Lagergut im Becken wechselwirken könnten. Dies sind die Brennelementflasche, die beim Transport ausgedienter Brennelemente zur Zwiilag verwendet wird, und schwere Werkzeuge, die bei besonderen Arbeiten erforderlich sind, der Reaktorgebäudekran und die Brennelementlademaschine. Durch administrative Massnahmen ist sichergestellt, dass sowohl der Kran als auch die Lademaschine in ihren Parkpositionen mit möglichst grossem Abstand zum Brennelementbecken abgestellt werden. Die Brennelementflasche wird bei Nichtgebrauch im Zwiilag gelagert. Komponenten für besondere Arbeiten im Brennelementbecken befinden sich ebenfalls nur temporär im Reaktorgebäude. Bei der Nutzung dieser Komponenten ist es aber erforderlich, dass sie auch in der Nähe, über und im Brennelementbecken eingesetzt werden. Bei allen genannten Komponenten handelt es sich um Einrichtungen, die dem nuklearen Standard entsprechend ausgelegt, hergestellt und gewartet sind. Ein Versagen ist entsprechend unwahrscheinlich. Weiterhin werden diese Komponenten nur selten eingesetzt und regelmässig überprüft, so dass die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung des Brennelementbeckens durch ein zufälliges Versagen dieser Komponenten als hinreichend gering eingeschätzt werden kann. Fehler bei der Bedienung oder Auswirkungen eines Erdbebens werden in den Abschnitten Fehler des Personals bzw. Erdbeben weiter diskutiert. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen mechanische Einwirkungen ist sichergestellt.

Beschädigung von Hüllrohren bei der Handhabung von Brennelementen

Die Beschädigung von Brennelementen bei der Handhabung wurde im Rahmen der Sicherheitsanalysen untersucht (siehe Sicherheitsbericht Kapitel 14). Eine Beschädigung des Brennelementbeckens durch die falsche Handhabung eines Brennelements ist nicht zu unterstellen. Die Beschädigung von Brennelementen ist für die Integrität des Brennelementbeckens nicht relevant. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

Versagen von Betriebssystemen

Für das Trockenlager wird kein Betriebssystem benötigt, daher ist auch kein Versagen eines solchen Systems zu untersuchen. Für das Brennelementbecken ist das Brennelementbeckenkühlsystem das einzig relevante Betriebssystem. Ein Versagen dieses Systems oder eines erforderlichen Hilffsystems wurde bereits unter Verlust der Wärmesenke diskutiert. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen das Versagen von Betriebssystemen ist sichergestellt.

Unerwünschtes Ansprechen oder fehlerhaftes Funktionieren von Sicherheitssystemen

Für das Trockenlager und das Brennelementbecken gibt es keine Sicherheitssysteme, die bei einem unerwünschten Ansprechen oder einem fehlerhaften Funktionieren zu einer Gefährdung führen können. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen ein unerwünschtes Ansprechen oder fehlerhaftes Funktionieren von Sicherheitssystemen ist sichergestellt.

Fehler des Personals

Fehlhandlungen des Personals bei der Bedienung des Brennelementbeckenkühlsystems sind denkbar. Solche Fehler können aber nicht zu einer direkten Gefährdung des Brennelementbeckens führen. Insbesondere sind Bedienfehler, die zu einer ungewollten Absenkung des Niveaus im Brennelementbecken führen könnten, nicht möglich, da es im Normalbetrieb keine festinstallierten Leitungen gibt, die eine Entleerung des Beckens ermöglichen würden (siehe auch Kapitel 5). Bei gefluteter Reaktorgrube könnte eine begrenzte Niveauabsenkung infolge eines Bruchs der Rückführleitungen in der Reaktorgrube eintreten. Dieser Fall ist aber beim BEB-LOCA (siehe oben) berücksichtigt,

Für die bereits im Abschnitt Komponentenversagen diskutierten Komponenten können Handhabungsfehler des Krans, die zu einer potentiellen Beschädigung des Brennelementbeckens führen könnten, nicht ausgeschlossen werden. Ein hypothetischer Fehler des Personals, der zu einer Absenkung des Inventars des Brennelementbeckens führen könnte, wäre ein Herausnehmen der Dammplatte ohne dass die Reaktorgrube geflutet ist. Es ist offen, ob dies überhaupt möglich ist, da in diesem Fall die Dammplatte durch den Wasserdruck gegen die Dichtfläche gedrückt wird. Es ist aber nicht denkbar, dass ein solcher Fehler nicht bemerkt und sofort behoben würde, da bei dieser Arbeit immer mehrere Personen vor Ort tätig sind (siehe auch AA-NT-002 – Arbeitsanweisung RDB Öffnen). Daher wurde dieser Fehler aufgrund der extrem kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht weiter analysiert.

Die Auswirkungen von Handhabungsfehlern wurden bisher in der probabilistischen Sicherheitsanalyse für das Brennelementbecken nicht berücksichtigt. Dies erscheint aufgrund der bisherigen Betriebserfahrung, des Umfangs der Nutzung der schweren Komponenten in der Nähe oder über dem Brennelementbecken und aufgrund des Ausbildungsstands der Operateure gerechtfertigt. Nach dem aktuellen Stand des Wissens ist der ausreichende Schutz des Brennelementbeckens gegen Fehler des Personals sichergestellt.

4.2 Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage

Erdbeben

Die für die nukleare Sicherheit wichtigen Gebäude, Systeme und Komponenten des KKM sind auf die Belastungen eines Erdbebens ausgelegt. Bei der ursprünglichen Auslegung wurde noch nicht zwischen dem OBE – Operation Base Earthquake und dem SSE – Safe Shutdown Earthquake unterschieden. Diese Unterscheidung wurde erst im Rahmen einer ersten Neubewertung der Erdbebengefährdung in der Schweiz berücksichtigt und die Auslegungsgrundlagen wurden entsprechend angepasst. Nach dieser ersten Anpassung in den 80er Jahren wurden die Gebäude, Systeme und Kom-

ponenten entsprechend der neuen Gefährdungsannahme neu qualifiziert. Die aktuelle Erdbebengefährdung aus dem PEGASOS Projekt (2007) und dem PEGASOS Refinement Projekt (noch nicht abgeschlossen) wurde aber bereits in der probabilistischen Sicherheitsanalyse für die Bestimmung der Erdbebenfestigkeit der Gebäude, Systeme und Komponenten berücksichtigt. Diese sehr detaillierten und sehr aufwendigen Analysen der Erdbebenfestigkeiten sind erst zum Teil abgeschlossen und werden zur Zeit fortgesetzt. Die bisherigen Ergebnisse zeigen aber in vielen Fällen sehr grosse Reserven gegenüber der ursprünglichen Auslegung (siehe PSÜ2010, Bericht 9, Appendix S.5). Die bereits vorliegenden Ergebnisse zeigen insbesondere, dass das Reaktorgebäude und die dazugehörigen Strukturen sowie das gesamte Notstandssystem SUSAN den Belastungen, die aus den Gefährdungsannahmen des PEGASOS Projekt abgeleitet wurden, standhalten kann. Diese Aussage schliesst das Brennelementbecken, das sich ebenfalls im Reaktorgebäude befindet, ein. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen Erdbeben ist sichergestellt.

Überflutung

Überflutungsszenarios durch Dammbüche der Staudämme an Aare und Saane wurden in der probabilistischen Sicherheitsanalyse berücksichtigt (siehe PSÜ2010, Bericht 9, Appendix O.3). Weiterhin wurden bei dieser Analyse auch Szenarien durch extreme Niederschläge betrachtet. Für verschiedene Szenarien kann der Ausfall einzelner Gebäude oder Systeme nicht ausgeschlossen werden. Das Reaktorgebäude hält aber allen berücksichtigten Szenarien stand. Damit kann die Überflutung des Reaktorgebäudes ausgeschlossen werden. Wie bereits für den Fall der internen Überflutung diskutiert, wird die Funktion des Brennelementbeckens durch zusätzliches Wasser nicht behindert werden. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen Überflutung ist sichergestellt (siehe auch Verlust der Wärmesenke).

Unfallbedingter Absturz von zivilen und militärischen Flugzeugen auf die Anlage

Für die Beurteilung der Auswirkung dieses Störfalls auf das Brennelementbecken wird angenommen, dass der Brennstoff im Lagerbecken beschädigt wird, wenn die Integrität des Reaktorgebäudes verletzt wird. Die Analysen zur Kernschadenshäufigkeit sind mit dieser Annahme direkt auf das Brennelementbecken übertragbar.

In der ursprünglichen Auslegung wurde ein Flugzeugabsturz auf die Anlage noch nicht berücksichtigt. Nachträglich wurden aber umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die den Schutz des KKM gegen Flugzeugabstürze nachweisen. Dabei wurden zwei Arten von Analysen durchgeführt. Durch deterministische Analysen des Reaktorgebäudes konnte gezeigt werden, dass

[REDACTED]. Der Schutz des Reaktors ist somit auch für solche Szenarien sichergestellt.

Flugzeugabstürze wurden auch in der probabilistischen Sicherheitsanalyse berücksichtigt. Die aktuelle Analyse (PSÜ2010, Bericht 9, Appendix O.2) berücksichtigt Flugzeuge aller Grössen- und Geschwindigkeitsklassen, die Flugbewegungen im gesamten Schweizer Luftraum und die Auswirkungen auf alle sicherheitsrelevanten Gebäude des KKM. In der probabilistischen Analyse wird angenommen, dass

[REDACTED]. Im Vergleich zu den oben angeführten deterministischen Analysen sind diese Annahmen sehr konservativ. Die in der probabilistischen Analyse angenommenen Konsequenzen sind grösser als die in der deterministischen Analyse bestimmten Konsequenzen und

die Grösse und Geschwindigkeit der Flugzeuge in der probabilistischen Analyse, die diese Konsequenzen auslösen, sind kleiner als die entsprechenden Daten in der deterministischen Analyse. Unter diesen Annahmen wird die Häufigkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Reaktorgebäude zu $1.8E-8$ pro Jahr bestimmt. Damit ist ein Flugzeugabsturz auf das KKM ein auslegungsüberschreitendes Ereignis.

Die hier vorgestellten Analysen berücksichtigen nicht, dass im Falle eines Flugzeugabsturzes zumindest noch Teile des Notstandssystems SUSAN sowie die SAMG Massnahmen zur Verfügung stehen. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

Sturmböe

Die sicherheitsrelevanten Gebäude des KKM wurden gemäss den nach den damaligen Bauvorschriften zu erwartenden Windlasten ausgelegt. Im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse wurden das Verhalten dieser Gebäude bei Extremwinden und Tornados untersucht (PSÜ2010, Bericht 9, Appendix O.4). Die Häufigkeit eines Versagens des Reaktorgebäudes durch Extremwinde wird dort mit $1.4E-10$ pro Jahr und durch die Einwirkung eines Tornados mit $2.0E-8$ pro Jahr angegeben.

Die Beschädigung des Reaktorgebäudes durch Wind ist damit als auslegungsüberschreitend einzustufen. In der probabilistischen Sicherheitsanalyse wird konservativ angenommen, dass ein Versagen des Reaktorgebäudes zum Kernschaden bzw. zum Brennstoffschaden führt. Die genannten Zahlen entsprechen damit konservativ auch den Häufigkeiten für eine Beschädigung des Brennelementbeckens. Die Beschädigung des Brennelementbeckens durch Starkwinde und Tornados ist also auslegungsüberschreitend.

Etwaige noch vorhandene Systeme zur Störfallbeherrschung oder zur Minderung der Auswirkungen werden bei dieser Betrachtung nicht kreditiert.

Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

Blitzschlag

Das Reaktorgebäude und das SUSAN Gebäude mit den SUSAN Systemen sind gegen Blitzschlag geschützt. Das Brennelementbecken im Inneren des Reaktorgebäudes ist damit ebenfalls vor Blitzschlag geschützt. Dieser Störfall ist für das Brennelementbecken nicht relevant, da Blitzschläge die Integrität des Brennelementbeckens nicht beeinträchtigen können. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

Druckwelle

Im Umkreis von 2 km um das KKM gibt es keine Verkehrswege, Gas- und Ölleitungen oder Chemikalienlager, die zu einer Explosion mit relevanten Auswirkungen auf das KKM führen könnten (siehe Sicherheitsbericht Kapitel 1.6.5.1).

Die Auswirkung von Druckwellen durch Explosionen auf dem Kraftwerksareal wurde ebenfalls untersucht. Dabei wurden verschiedene Szenarien mit konservativen Annahmen über Grösse und Ort der Explosionen angenommen. Bei allen untersuchten Szenarien blieb die Integrität des Reaktorgebäudes erhalten. Damit können auch relevante Auswirkungen auf das Brennelementbecken im Inneren des Reaktorgebäudes ausgeschlossen werden. Ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen Druckwellen ist damit durch die Eigenschaften des Reaktorgebäudes sichergestellt.

Brand

Externe Brände können das Brennelementbecken im Inneren des Reaktorgebäudes nicht gefährden, da die Lüftung des Reaktorgebäudes für den Betrieb des Brennelementbeckens nicht erforderlich ist. Dieser Störfall ist damit für das Brennelementbecken nicht relevant und ein ausreichender Schutz gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

Verlust der externen Stromversorgung

Das Brennelementbecken ist eine passive Komponente und benötigt keine Stromversorgung. Die Kühlung des Brennelementbeckens wurde bereits unter Verlust der Wärmesenke diskutiert. Dieser Störfall ist für die Integrität des Brennelementbeckens nicht relevant und ein ausreichender Schutz gegen diesen Störfall ist damit sichergestellt.

Beeinträchtigung oder Unterbruch der externen Kühlwasserzufuhr

Im Abschnitt Verlust der Wärmesenke wurde beschrieben, dass das Brennelementbecken bei Ausfall des Brennelementbeckenkühlsystems durch die Verdunstung bzw. Verdampfung eines Teils des Wasserinventars ausreichend gekühlt wird. Die Wärme wird dann weiter passiv über die Aussenwand des Reaktorgebäudes und über den äusseren Torus abgeführt. Ein Unterbruch der externen Kühlwasserzufuhr beeinträchtigt die Integrität des Brennelementbeckens nicht und ist somit nicht relevant und ein ausreichender Schutz des Brennelementbeckens gegen diesen Störfall ist sichergestellt.

4.3 Zusätzliche Störfälle, die nicht in KEV, Artikel 8 aufgeführt sind

Nach den Ereignissen in Japan sind zwei Fragestellungen in den Vordergrund gerückt, die nicht explizit in Artikel 8 des KEV aufgeführt sind. Diese beiden Fälle werden hier kurz diskutiert.

Der erste Fall betrifft den kombinierten Störfall Erdbeben und Überflutung. Für das Brennelementbecken ergeben sich aus dieser Störfallkombination keine weitergehenden Anforderungen. Wie bereits dargestellt wurde, ist für das Brennelementbecken eine passive Wärmeabfuhr möglich, die keine weiteren Systeme und keinen Strom erfordert. Operateurhandlungen sind erst zur langfristigen Sicherung des Wasserstandes erforderlich. Auch diese Störfallkombination wird beherrscht.

Ein weiterer Punkt ist die Ansammlung von Wasserstoff im Reaktorgebäude, die in der Kernanlage Fukushima Daiichi nach heutigem Stand des Wissens zu verschiedenen Explosionen geführt hat. Wasserstoff, der durch eine Oxidation der Hüllrohre bei erhöhten Temperaturen im Reaktordruckbehälter gebildet würde, würde im KKM – wie vermutlich in den japanischen Anlagen geschehen – über die Druckabbauleitungen in das inertisierte Primärcontainment und den ebenfalls inertisierten Torus gelangen. Langfristig ist die Kontrolle des Drucks im Primärcontainment erforderlich. Im Rahmen der Massnahmen zur Minderung schwerer Störfälle (SAMG) würde ein Gemisch aus Wasserstoff, Stickstoff, Spaltprodukten und Dampf über das Containmentdruckentlastungssystem in den äusseren Torus geführt. Über die Wasservorlage im äusseren Torus würde eine Filterung der Aerosole erfolgen und das gefilterte Gasgemisch würde über den Kamin abgegeben. Die Druckentlastung erfolgt also nicht ins Reaktorgebäude und dort kann sich so auch kein Wasserstoff ansammeln. Wasserstoff könnte jedoch über Leckagen aus dem Primärcontainment ins Reaktorgebäude gelangen. Diese Mengen werden jedoch als zu gering angesehen, um im Reaktorgebäude ein explosionsfähiges Gemisch zu bilden, da auch bei abgeschalteter Lüftung ein geringer Luftaustausch über das Lüftungssystem erfolgen kann. Das gleiche gilt für die Bildung von Wasserstoff durch Radiolyse im Brennelementbecken.

4.4 Bewertung des Brennelementbeckens gemäss KEV, Artikel 10 Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken

Artikel 10 der KEV listet verschiedene Grundsätze auf, die bei der Auslegung zu Kernkraftwerken zu beachten sind. Die Erfüllung dieser Grundsätze wird im Folgenden für das Brennelementbecken diskutiert.

- a. *Sicherheitsfunktionen müssen auch bei Eintreten eines beliebigen vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehlers wirksam bleiben, und zwar auch dann, wenn eine Komponente wegen Instandhaltung nicht verfügbar ist; als Einzelfehler gilt das zufällige Versagen einer Komponente, das zum Verlust ihrer Fähigkeit führt, die vorgesehene Sicherheitsfunktion zu erfüllen; Folgefehler aus diesem zufälligen Versagen werden als Teil des Einzelfehlers betrachtet.*

Die Sicherheitsfunktion ist die Abfuhr der Nachzerfallswärme von den Brennelementen im Brennelementbecken. Tritt ein auslösendes Ereignis ein, dass die Funktion des betrieblichen Brennelementbeckenkühlsystems beeinträchtigt, so erfolgt die Abfuhr der Wärme über die Verdunstung von Wasser aus dem Becken, falls das Wasser im Becken nicht siedet, und anderenfalls über Verdampfung von Wasser. Als weiterer Mechanismus wird Wärme über Konvektion abgeführt. Das aus dem Becken verdampfte bzw. verdunstete Wasser wird an den Wänden des Reaktorgebäudes zum Teil kondensieren und es erfolgt somit ein Wärmetransport an die Umgebung. Übersteigt die aus dem Becken abgeführte Wärme die Wärmemenge, die über die Reaktorauswand abgeführt werden kann, so wird der Druck im Reaktorgebäude durch den Dampfdruck des Wassers leicht ansteigen. Bei ■■■■ bar Überdruck gelangt Dampf und Luft aus dem Reaktorgebäude in den äusseren Torus. Hier wird der Dampf kondensiert und die Luft gelangt über die Wasservorlage gefiltert in die Umgebung. Durch die Gesamtheit dieser Prozesse wird die Nachzerfallswärme aus dem Brennelementbecken an die Umgebung übertragen. Der gesamte Pfad enthält nur passive Komponenten und ist auch bezüglich der wirksamen physikalischen Mechanismen diversitär zur betrieblichen Kühlung des Brennelementbeckens. Die wirkenden physikalischen Prozesse können durch einen Einzelfehler nicht gestört werden. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- b. *Sicherheitsfunktionen sind soweit möglich nach den Grundsätzen der Redundanz und der Diversität auszuführen; als Redundanz gilt das Vorhandensein von mehr funktionsbereiten Ausrüstungen als zur Erfüllung der vorgesehenen Sicherheitsfunktion notwendig ist; als Diversität gilt die Anwendung physikalisch oder technisch verschiedenartiger Prinzipien.*

Das betriebliche Kühlsystem ist mit drei ■■■■ Pumpen und zwei ■■■■ Wärmetauschern redundant ausgeführt. Wie in Kapitel 5 ausgeführt wird, kann das Brennelementbeckenkühlsystem je nach Betriebszustand der Anlage auch über andere diversitäre Systeme (z.B. Abfahr- und Toruskühlsystem STCS) gekühlt werden. Die Sicherheitsfunktion ist durch die oben beschriebenen passiven Wärmetransportmechanismen diversitär zur betrieblichen Kühlung. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- c. *Die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion eingesetzten redundanten Stränge müssen voneinander soweit möglich funktional unabhängig sein, und zwar sowohl bezüglich der maschinentechnischen als auch der unterstützenden Systeme wie der Leittechnik und der Versorgung mit Energie, Kühlung und Lüftung.*

Die Sicherheitsfunktion wird über verschiedene passiv wirkende physikalische Prinzipien realisiert (siehe oben). Es gibt daher keine funktionalen Abhängigkeiten von redundanten Strängen. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- d. *Die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion eingesetzten redundanten Stränge müssen soweit möglich von den anderen räumlich getrennt sein.*

Die passive Wärmeabfuhr zur Umgebung erfolgt über die gesamte Gebäudeoberfläche des Reaktorgebäudes. Es gibt keine aktiven redundanten Stränge, die räumlich getrennt sein müssen. Dieser Auslegungsgrundsatz ist für den passiven Wärmetransport aus dem Brennelementbecken nicht relevant.

- e. *Die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion eingesetzten redundanten Stränge müssen soweit möglich integral oder sonst in möglichst umfassenden Abschnitten sowohl mit Handsteuerung als auch mit simulierter automatischer Anregung, darunter auch bei Notstrombedingungen, geprüft werden können.*

Die Sicherheitsfunktion des passiven Wärmetransportes aus dem Brennelementbecken wird über Verdunstung und Verdampfung von Wasser sichergestellt. Es gibt keine Steuerungen oder automatische Anregungen. Notstrom ist für die Erfüllung der Funktion nicht erforderlich. Dieser Auslegungsgrundsatz ist für den passiven Wärmetransport aus dem Brennelementbecken nicht relevant.

- f. *Sicherheitsfunktionen müssen derart automatisiert werden, dass bei Störfällen nach Artikel 8 keine sicherheitsrelevanten Eingriffe des Personals innerhalb der ersten 30 Minuten nach dem auslösenden Ereignis erforderlich werden.*

Die Sicherheitsfunktion des passiven Wärmetransportes aus dem Brennelementbecken erfordert keine Eingriffe des Personals. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- g. *Bei der Auslegung der Systeme und Komponenten sind ausreichende Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen.*

Das betriebliche Brennelementbeckenkühlsystem ist auf eine Nachzerfallwärme ausgelegt, wie sie nach dem Brennelementwechsel am Anfang eines Betriebszyklus zu erwarten ist. Durch Verdunstung bzw. Verdampfung wird auf jeden Fall die entstehende Nachzerfallwärme aus dem Becken abgeleitet. Solange die Brennelemente mit Wasser bedeckt sind, ist auch sichergestellt, dass die Wärme vom Brennelement an das Wasser abgegeben werden kann. Ein Filmsieden im Brennelement ist nicht möglich. Die passive Sicherheitsfunktion erfüllt den Auslegungsgrundsatz.

- h. *Nach Möglichkeit ist ein sicherheitsgerichtetes Systemverhalten bei Fehlfunktionen von Ausrüstungen zu gewährleisten.*

Eine ausreichende Abfuhr der Nachzerfallwärme ist durch physikalische Prinzipien sichergestellt. Ein sicherheitsgerichtetes Systemverhalten ist gewährleistet. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- i. *Passive sind gegenüber aktiven Sicherheitsfunktionen zu bevorzugen.*

Die Sicherheitsfunktion ist der passive Wärmetransport aus dem Brennelementbecken. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- j. *Arbeitsplätze und Arbeitsabläufe für Bedienung und Instandhaltung der Anlage sind so zu gestalten, dass die menschlichen Fähigkeiten und deren Grenzen berücksichtigt werden.*

Die einzigen Handlungen zur langfristigen Sicherstellung der Sicherheitsfunktion ist das Nachfüllen des Brennelementbeckeninventars. Dazu sind verschiedene Systeme vorhanden und es steht ein langer Zeitraum zur Verfügung. Der Auslegungsgrundsatz ist erfüllt.

- k. *Bei gleichem Sicherheitsgewinn sind Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen nach Artikel 7 Buchstabe d denjenigen zur Linderung der Konsequenzen von Störfällen vorzuziehen.*

Für die betriebliche Abfuhr der Nachzerfallwärme stehen redundante Systeme zur Verfügung. Die Sicherheitsfunktion Abfuhr der Nachzerfallwärme ist zur betrieblichen Funktion diversitär. Die Sicherheitsfunktion verhindert eine allfällige Beschädigung von Brennelementen und damit die Freisetzung von Radioaktivität in das Reaktorgebäude. Der Auslegungsgrundsatz ist damit erfüllt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl das Trockenlager als auch das Brennelementbecken hinreichend gegen interne und externe Einwirkungen geschützt ist und die Auslegungsgrundsätze der Kernenergieverordnung erfüllt werden.

5.2 Einordnung des Brennelementbeckenkühlsystems

Das Brennelementbeckenkühlsystem des KKM ist ein betriebliches System. Es ist nicht als Sicherheitssystem eingestuft und wird daher auch nicht durch das Notstandssystem SUSAN angesprochen oder gesteuert (Ausnahmen siehe unten).

Die Sicherheitsfunktion für das Schutzziel Wärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken wird auch bei Ausfall der betrieblichen Brennelementbeckenkühlung weiterhin gewährleistet.

Es müssen zwei Betriebszustände unterschieden werden:

1. **Eingesetzte Damplatte** (Leistungsbetrieb, Warm- oder Kaltabgestellt)

Das Brennelementbecken ist durch die Damplatte als Einzelbecken abgetrennt. Der Wärmeeintrag wird durch die Anzahl und Abklingzeit der einzelnen Brennelemente bestimmt (siehe Tabelle 3). Die Wärmeabfuhr und die Niveauhaltung erfolgt im Normalfall über das Brennelementbeckenkühlsystem (System 019) und das Nebenkondensatsystem (System 054).

Bei Teilausfall des Brennelementbeckenkühlsystems (Pumpen, Kühler) kann die Wärmeabfuhr mit dem Abfahrkühlsystem STCS (System 010) abgeführt werden. Die Niveauhaltung bleibt gleich (System 054).

Bei Komplettausfall des Brennelementbeckenkühlsystems (Pumpen, Kühler inkl. Rohrleitungen) und/oder des Abfahrkühlsystems erfolgt die Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Brennelementbecken durch Konvektion und Verdunstung des Wasserinventars aus dem Becken und wird über die Reaktorgebäudelüftung (System 071) abgeführt. Bei einer Nichtverfügbarkeit der Reaktorgebäudelüftung kondensiert das Wasser an der Innenseite der Aussenwand des Reaktorgebäudes und gibt dabei Wärme an die Wand und damit über Wärmeleitung nach aussen ab, oder falls der Druck im Reaktorgebäude durch die Verdampfung von Wasser aus dem Brennelementlagerbecken steigt, erfolgt ein Druckabbau und damit die Wärmeabfuhr gefiltert über den äusseren Torus in dem das Wasser wieder kondensiert. Das kondensierte Wasser im Reaktorgebäude kann entsprechend der Verfügbarkeit mittels den Sumpfpumpen (System 077) ins Radwaste oder mit den CRS-Pumpen (System 110 und 210) in den Torus abgeführt werden. Die Rückführung des Wassers ist bis etwa 80 °C möglich. Die Wassernachspeisung ins Brennelementbecken (Niveauhaltung) erfolgt gemäss der AMM-B-001, Checkliste 001-5 „Bespeisung BE-Becken vom Feuerlöschnetz“ oder Checkliste 001-6 „Bespeisung BE-Becken von der Aare“.

Können die Brennelemente mit Wasser überdeckt gehalten werden durch Nachspeisen des Brennelementbeckens, kann gemäss Auslegung (Limite MCPR) bei einer BE-Leistung < 25 % kein Filmsieden mit entsprechen BE-Hüllrohrschäden entstehen.

Typische Daten wie Nachzerfallswärme, Beckentemperaturen, Verdunstungsmengen und Zeiten siehe Tabelle 3.

2. **Damplatte entfernt** (Brennelementwechsel)

Das Brennelementbecken ist mit der gefluteten Reaktorgrube und dem Einbautenbecken verbunden. Der Wärmeeintrag wird durch die Anzahl und Abklingzeit der einzelnen Brennelemente bestimmt (siehe Tabelle 3). Die Wärmeabfuhr und die Niveauhaltung erfolgt im Normalfall über das Brennelementbeckenkühlsystem (System 019) und das Abfahrkühlsystem STCS (System 010) gemäss der Betriebsvorschrift BV-AB-019.

Bei Teilausfall des Brennelementbeckenkühlsystems (Pumpen, Kühler) erfolgt die Wärmeabfuhr und die Niveauhaltung mit dem Abfahrkühlsystem STCS.

Bei Komplettausfall des Brennelementbeckenkühlsystems (Pumpen, Kühler inkl. Rohrleitungen) erfolgt die Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Brennelementbecken durch den Wasseraustausch mit der Reaktorgrube und die Wärmeabfuhr durch das Abfahrkühlsystem.

Bei Ausfall beider Systeme erfolgt die Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Brennelementbecken durch den Wasseraustausch mit der Reaktorgrube. Die Wärme kann über eine Kreislaufschaltung via Saugleitung des Abfahrkühlsystems oder über die Verbindungsleitung aus dem Überlauf des Brennelementbeckens in den Torus und über das TCS () an die Aare abgeführt werden. Die Rückführung des in den Torus abgeführten Wassers in den RDB erfolgt mit dem ALPS ().

Bei Ausfall/Nichtverfügbarkeit der Wasserrückführung (1) aus der Reaktorgrube kann innerhalb von 8 Stunden eine Wasserrückführung via Abblaseleitung in den Torus hergestellt werden, durch den Ausbau eines Frischdampfzafens.

Bei Ausfall/Nichtverfügbarkeit der Wasserrückführung (2) aus der Reaktorgrube kann die Nachzerfallswärme durch Überfluten des Pools abgeführt werden. Dabei wird Wasser aus dem Torus mittels ALPS in den RDB/Pool gepumpt, der Pool wird überflutet, das Wasser läuft durch Sammelleitungen resp. Bodenöffnungen auf -11m, wo es durch die CRS-Pumpen in den Torus zurückgepumpt wird. Die Wärmeabfuhr aus dem Torus erfolgt wiederum durch das TCS. In diesem Fall werden ausschliesslich die Notstandssysteme SUSAN genutzt. Die Bedienung kann ohne Vororteingriffe durch die SUSAN Steuerstellen erfolgen.

Bei Ausfall/Nichtverfügbarkeit der Wasserrückführung (3) aus der Reaktorgrube kann die Nachzerfallswärme durch Verdunsten/Verdampfen des Pool-Wassers abgeführt werden. Die Wärmeabfuhr und das Nachspeisen des Pools erfolgt wie oben beschrieben.

Tabelle 3: Typische Werte für die Nachzerfallswärme aus dem Brennelementbecken

Zustand	Nachzerfallswärme [kW]	Erwärmung ohne Kühlung ²⁾ [°C/h]	Zeit bis zum Sieden [d]	Zeit bis Wasser Oberkante BE [d]	Verdampfungsmenge [t/d]
Aktueller Wert am 30.3.2011	~ 200	~ 0.2	~ 12.5	~ 85	~ 9.5
Unmittelbar nach dem Wiederanfahren	~1000	~ 1	~ 3.1	~ 17	~ 48
Bei voll entladene Reaktorkern ¹⁾	~2500	~ 1.3	~ 2.4	~ 13	~ 120

1) Ca. 5 Tage nach Reaktorabschaltung und geflutetes Becken

2) Die Erwärmung verlangsamt sich mit steigender Wassertemperatur, d.h die Zeiten sind konservativ

Tabelle 3 gibt typische Werte für die Nachzerfallswärme an, die gesamthaft aus dem Brennelementbecken abgeführt werden muss. Die aus dem Brennelementbecken abgeführte Wärmemenge steigt mit der Wassertemperatur im Becken an. Bei Ausfall des Brennelementbeckenkühlsystems wird die Wassertemperatur ansteigen, bis die durch Konvektion, Verdunstung resp. Verdampfung von Wasser abgeführte Wärmemenge der Nachzerfallswärme entspricht.

Tabelle 3 zeigt, dass eine Nachspeisung des Brennelementbeckens bei Ausfall der Brennelementbeckenkühlung erst nach einigen Tagen erforderlich ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das betriebliche Brennelementbeckenkühlsystem wie beschrieben nicht durch Notstandssystem versorgt wird. Eine ausreichende Abfuhr der Nachzerfallswärme ist aber über passive Wärmetransportmechanismen sichergestellt.