

Anforderungen an die Brennelement-Lagerbeckenkühlung

1 Anlass der Beratung

Das BMUB hatte die Reaktor-Sicherheitskommission mit Schreiben vom 22.07.2014 in Reaktion auf Diskussionen, die bei der Umsetzung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) [1] in das KTA Regelwerk (insb. KTA 3303 [2]) aufgekommen waren, gebeten, eine Stellungnahme zu den Anforderungen an die Brennelement-Lagerbeckenkühlung zu erstellen und dabei insbesondere die folgenden drei Fragen zu beantworten:

- 1 Bestehen grundsätzliche Bedenken, geplante Instandhaltungsmaßnahmen an Strängen der Beckenkühlung bei Anlagen mit der Berechtigung zum Leistungsbetrieb während des Zeitraums einer Kernvollausladung vorzunehmen?
- 2 Falls dem so ist, welche Anlagenzustände sind aus sicherheitstechnischer Sicht für die Durchführung solcher Instandhaltungsmaßnahmen zu empfehlen?
- 3 Bedarf es im Hinblick auf die Brennelement-Lagerbeckenkühlung zusätzlicher Erläuterungen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, insbesondere den darin aufgelisteten Störfällen, und deren sicherheitstechnisch sinnvoller Umsetzung in der Praxis?

2 Beratungsgang

Auf ihrer 468. Sitzung vom 04.09.2014 hat die RSK den RSK-Ausschuss REAKTORBETRIEB (RB) mit der Befassung mit dem zugrundeliegenden BMUB Beratungsauftrag und der Erarbeitung eines Stellungnahmeentwurfes beauftragt. Der Ausschuss RB hat auf seiner 229. Sitzung vom 30.10.2014 eine Arbeitsgruppe eingerichtet und um Bearbeitung der Fragestellungen gebeten. Aufgrund der ausschussübergreifenden Themenstellung wurden weitere Mitglieder des RSK-Ausschusses ANLAGEN-UND SYSTEMTECHNIK (AST) sowie ein Mitarbeiter der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) um Mitarbeit in der Arbeitsgruppe gebeten. Im Rahmen von insgesamt 9 Sitzungen und Telefonkonferenzen hat die Arbeitsgruppe einen Empfehlungsentwurf erstellt, welcher vom Ausschuss RB auf seiner 236. Sitzung vom 10.09.2015 verabschiedet wurde. Die RSK schloss die Beratung der Empfehlung in ihrer 479. Sitzung am 09.12.2015 ab und verabschiedete sie anschließend im Umlaufverfahren.

3 Auslegung der Brennelementlagerbecken-Wärmeabfuhrsysteme

DWR

Das Brennelementlagerbecken-Wärmeabfuhrsystem (BLWA-System) bei deutschen Druckwasserreaktoren mit der Berechtigung zum Leistungsbetrieb ist dreisträngig aufgebaut. Teile der Stränge 10 und 40 sind Bestandteil der Not- und Nachkühlketten und als verknüpfte Stränge aufgebaut, wobei die Komponenten im Anforderungsfall vorrangig für die Not- und Nachkühlung des Reaktorkerns (Redundante 1 und 4) verwendet werden. Diese beiden Nachkühlstränge können auch für die Beckenkühlung genutzt werden. In den verknüpften Strängen und den nachfolgenden Kühlsystemen (Nukl. Zwischen- und Nebenkühlwassersysteme) sind die Pumpen jeweils zweifach vorhanden, wobei eine der beiden Pumpen der Nachkühlkette, die andere der Notnachkühlkette zugeordnet ist. Der überwiegende Teil der Rohrleitungen, Armaturen und Kühler sowie der zugehörigen Zwischen- und Nebenkühlwassersysteme werden sowohl vom Nachkühlsystem als auch vom Notnachkühlsystem genutzt. Die Fahrweise (Nachkühlung bzw. Beckenkühlung) wird unter Nutzung der gemeinsamen Kühler und jeweils von einer der beiden Pumpen anforderungsgemäß gewählt. Bei Ausfall von oder Instandhaltungstätigkeiten an für beide Fahrweisen erforderlichen Komponenten, wie z. B. Kühler, Armaturen oder Rohrleitungen steht ein verknüpfter Beckenkühlstrang insgesamt nicht zur Verfügung.

Die Notnachkühlketten mit den Beckenkühlpumpen sind vom D2-Netz und die Nachkühlketten vom D1-Netz versorgt.

Die Wärmeabfuhrkapazität jedes der beiden verknüpften Beckenkühlstränge ist so ausgelegt, dass jeweils 100% der im Brennelementlagerbecken (BELB) anfallenden Wärmeleistung in allen Betriebsphasen (A-F) in den Sicherheitsebenen 2 und 3 sowie bei Einwirkungen von außen (EVA) abgeführt werden kann. Gemäß [1] sind die folgenden Betriebsphasen für DWR zulässig:

- A: Nuklearer Leistungs- und Anfahrbetrieb (Anlage im Leistungsbetrieb bzw. bereit für Aufnahme des Leistungsbetriebs, $k_{eff} \geq 0,99$)*
- B: Heiß unterkritisch (Betriebliche Nachwärmeabfuhr über Nachkühlsystem nicht möglich, $k_{eff} < 0,99$)*
- C: Kalt unterkritisch, Primärkreislauf druckdicht (Betriebliche Nachwärmeabfuhr über Nachkühlsystem, Primärkreislauf druckdicht verschlossen, $k_{eff} < 0,99$ bei Steuerelement freiem Reaktorkern)*
- D: Kalt unterkritisch, Primärkreislauf nicht druckdicht (Nicht druckdicht verschlossener Primärkreis und Flutraum nicht vollständig geflutet, $k_{eff} < 0,95$ bei Steuerelement freiem Reaktorkern)*
- E: Brennelementwechsel (Flutraum vollständig geflutet, $k_{eff} < 0,95$ bei Steuerelement freiem Reaktorkern)*
- F: Brennelementlagerung (Alle Brennelemente im vom Flutraum abgetrennten Brennelementlagerbecken, Kühlung der Brennelemente über die Beckenkühlsysteme, $k_{eff} < 0,95$)*

Bei Nutzung eines der Teilsysteme können auch bei Notstandsfällen 100% der im BELB anfallenden Wärmeleistung abgeführt werden. Zusätzlich ist ein 3. Beckenkühlstrang vorhanden. Der 3. Beckenkühlstrang ist über das D1-Netz der Redundante 2 oder 3 notstromversorgt. Kühlwasserseitig wird er vom betrieblichen Teil des nuklearen Zwischenkühlsystems versorgt. Eine wesentliche sicherheitstechnische Bedeutung des 3. Beckenkühlstranges ist die Vermeidung eines wiederholten Umschaltens der verknüpften Beckenkühlstränge von Nachkühl- auf Beckenkühlbetrieb bei Kühlmittelverluststörfällen (KMV) im Reaktorkühlkreislauf. Der 3. Beckenkühlstrang hat bei einigen Anlagen ein geringeres Wärmabfuhrvermögen als die verknüpften Be-

ckenkühlstränge. Die Funktionsfähigkeit des dritten Stranges zur Kühlung des Beckens ist nach Bemessungserdbeben nicht nachgewiesen. Ebenso ist der den 3. Beckenkühler versorgende Teil des Nuklearen Zwischenkühlwassersystems nicht gegen Erdbeben und Notstandsfälle ausgelegt, so dass bei solchen Szenarien eine Verfügbarkeit des 3. Beckenkühlstrangs nicht kreditiert wird.

Während des Leistungsbetriebs liegt die im BELB anfallende Wärmeleistung typischerweise in der Größenordnung von 5 MW. Demgegenüber fällt zum Zeitpunkt einer Kernvollaussladung in der Revision eine Wärmeleistung von ca. 15 MW an.

SWR

Die Kühlung des BELB kann bei den deutschen Siedewasserreaktoren mit der Berechtigung zum Leistungsbetrieb (SWR 72) mittels folgender Systeme erfolgen:

- dem 2-strängigen betrieblichen BLWA System:

Ein Strang genügt zur Einhaltung der Normalbetriebsanforderung (maximale Beckenwassertemperatur: 45°C) beim ungünstigsten Zustand nach einem BE Wechsel (mit maximal ca. 6,5 MW im BELB); bei einer Kernvollaussladung (max. ca. 13 MW im BELB) werden hierfür beide Stränge benötigt. Mit einem Strang kann in allen Betriebsphasen A-F) jeweils 100% der im BELB anfallenden Wärmeleistung unter Einhaltung des Nachweiskriteriums der Sicherheitsebene 3 abgeführt werden. Gemäß [1] sind die folgenden Betriebsphasen für SWR zulässig:

A: Nuklearer Leistungs- und Anfahrbetrieb (Anlage im Leistungsbetrieb bzw. beim Anfahren ab Beginn des Ausfahrens der Steuerelemente, $k_{eff} \geq 0,99$)

B: Heiß unterkritisch (Steuerelemente vollständig eingefahren und betriebliche Nachwärmeabfuhr über Nachkühlsystem nicht möglich, $k_{eff} < 0,99$)

C: Kalt unterkritisch, Reaktorkühlkreislauf druckdicht (Betriebliche Nachwärmeabfuhr über Nachkühlsystem, Reaktorkühlkreislauf druckdicht verschlossen, $k_{eff} < 0,99$)

D: Kalt unterkritisch, Reaktorkühlkreislauf nicht druckdicht (Nicht druckdicht verschlossener Reaktorkühlkreislauf und Flutraum nicht vollständig geflutet, $k_{eff} < 0,99$)

E: Brennelementwechsel (Flutraum vollständig geflutet, Brennelemente im Reaktor und im Brennelementlagerbecken, $k_{eff} < 0,99$ im Reaktor und $< 0,95$ im Brennelement Lagerbecken)

F: Brennelementlagerung (Alle Brennelemente im vom Flutraum abgetrennten Brennelementlagerbecken, Kühlung der Brennelemente über die Beckenkühlssysteme, $k_{eff} < 0,95$)

Die Komponenten und Rohrleitungen des betrieblichen Beckenkühlsystems sind so ausgelegt, dass sie bei Belastungen aus einem Bemessungserdbeben integer bleiben. Da jedoch die zugehörigen Systeme der Zwischen- und Nebenkühlwasserversorgung und die Notstromversorgung (Verfügbarkeitsnotstromschienen) des Systems nicht gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt sind, kann durch ein Erdbeben das betriebliche Beckenkühlsystem ausfallen.

-
- dem Strang TH2 des Nuklearen Nachkühlsystems in der Fahrweise „direkte Beckenkühlung“: Dieser TH Strang kann direkt zur Beckenkühlung eingesetzt werden und hält dabei auch bei einer Kernvollaussladung die Beckenwassertemperatur unter 40°C.
 - den drei Strängen TH1 bis 3 des Nuklearen Nachkühlsystems in der „Überlauffahrweise“ (bei drucklosem RDB mit einer RDB Temperatur < 100°C, BELB Kühlung parallel zu Kondensationskammer-Kühlen (KOKA-Kühlen):

Mit dieser Fahrweise kann mit jedem der TH Stränge das BELB parallel zur KOKA gekühlt und selbst bei ungünstigstem Zustand nach BE Wechsel (max. ca. 6,5 MW) bzw. nach einer Kernvollaussladung (max. ca. 13 MW) mindestens die Störfallanforderung (Begrenzung der Beckenwassertemperatur) einhalten werden.

Für diese Fahrweise muss die KOKA verfügbar sein, da aus dieser Kühlmittel angesaugt und mit TH zurück in das BELB gespeist wird. Aus dem BELB läuft das Wasser in Überlauffahrweise in die KOKA zurück.

Im Hinblick auf die Verfügbarkeit der Stränge TH1 bis TH3 ist bei dieser Fahrweise zu beachten, dass dafür die Nutzung von passiven Komponenten (Rohrleitungsabschnitten) des betrieblichen Beckenkühlsystems erforderlich ist und daher ereignisspezifisch (bei Leckstörfällen in diesen Leitungsabschnitten) entsprechend verknüpfte Ausfälle eintreten können.

- den Strängen TH1 bis TH3 des Nuklearen Nachkühlsystems in der Fahrweise „Saugen aus dem Absetzbecken“ sowie dem zusätzlichen Nachkühlsystem (ZUNA) in der Fahrweise „Flutraumkühlung“ (bei drucklosem RDB und geöffnetem Schütz):

Nach Aussage des Betreibers kann mit den Strängen TH 1 bis TH 3 sowie mit dem zusätzlichen Nachkühlsystem (ZUNA) bei drucklosem RDB und geöffnetem Schütz die maximal anfallende Nachzerfallsleistung mit einem Strang abgeführt werden. Die Fahrweise mit TH1 bis TH3 erfolgt unabhängig von der Verfügbarkeit der KOKA. Die Fahrweise mit ZUNA erfolgt unter Nutzung von Rohrleitungen von jeweils einem der drei Stränge TH1 bis TH3 und erfordert die Verfügbarkeit der KOKA.

Beim SWR stehen somit für die Kühlung des BELB zwei betriebliche Beckenkühlstränge und drei Stränge des Nachkühlsystems zur Verfügung, wobei die Nutzung der Nachkühlstränge in der Überlauffahrweise gemäß dem Betriebsreglement erst nach dem Abfahren der Anlage in den drucklosen Zustand zulässig ist. Jeder dieser Stränge ist in der Lage, 100 % der im Becken anfallenden Nachzerfallsleistung unter Einhaltung der für Störfälle zulässigen Temperaturgrenzwerte im Beckenwasser abzuführen. Bei geöffnetem Schütz kann zusätzlich das ZUNA-System zur BELB Kühlung eingesetzt werden.

Nach einem Bemessungserdbeben stehen auslegungsgemäß nur die Stränge TH2 und TH3 zur Verfügung. In der Betriebsphase E bei geöffnetem Schütz steht zusätzlich noch ZUNA zur Verfügung.

4 Bewertungsmaßstab

Die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) [1] haben in Anhang 2, Tabelle 5.3 ein Ereignis der Sicherheitsebene 3 in der Ereigniskategorie „verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken“ eingeführt:

*„B3-01: `Längerfristiger Ausfall (>30 Min) zweier Stränge der Brennelementlagerbeckenkühlung`
Bei der Nachweisführung kann von Karenzzeiten und Instandsetzungsmöglichkeiten Kredit genommen werden“*

Für dieses Ereignis wird in den SiAnf, Interpretation I-5, Abschnitt 5 [4] konkretisiert:

„Unter einem Strang ist eine vollständige Nachkühlkette des Brennelementlagerbeckens zu verstehen.

Bei dem Ereignis B3-01 ist für alle Betriebsphasen zu zeigen, dass zur Einhaltung des Schutzzieles `Kühlung der Brennelemente` eine Begrenzung der Beckenwassertemperatur auf Werte unterhalb der Auslegungstemperatur des Beckens zur Sicherstellung seiner Integrität erreicht wird.

Ereigniseintritt ist der Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges während der Unverfügbarkeit eines zweiten Stranges aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen.“

Bezüglich der Redundanzanforderungen für Einrichtungen der Sicherheitsebene 3 wird in Anhang 4, Nummer 2.2.3, der SiAnf zudem Folgendes festgelegt:

„In den zur Beherrschung der Ereignisse der Sicherheitsebene 3 notwendigen Sicherheitseinrichtungen muss im Anforderungsfall ein Einzelfehler und grundsätzlich gleichzeitig der Instandhaltungsfall unterstellt werden (Redundanzgrad $n+2$). Ausnahmen sind im Folgenden angegeben.

Wenn bei einer Sicherheitseinrichtung lediglich ein Redundanzgrad von $n+1$ realisiert ist, (z. B. bei Primärkreis- oder Gebäudeabschlussarmaturen), dürfen Instandsetzungsmaßnahmen nur durchgeführt werden, wenn während der Dauer der instandsetzungsbedingten Unverfügbarkeit einer solchen Einrichtung deren sicherheitstechnische Funktion durch Ersatzmaßnahmen anderweitig zuverlässig gewährleistet ist (z. B. vorsorgliches Schließen der 2. Abschlussarmatur) oder die Instandsetzungsmaßnahme ausreichend zeitlich begrenzt ist und die zulässige Unverfügbarkeit in den betrieblichen Unterlagen festgelegt ist.

Bei den Instandhaltungsfällen sind alle in den jeweils relevanten Betriebsphasen zulässigen und durchführbaren Instandhaltungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Einzelheiten bzgl. der Zulässigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen in den verschiedenen Betriebsphasen enthält Nummer 3.“

Darüber hinaus legen die SiAnf in Anhang 4, Nummer 2.3 Redundanzanforderungen für sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen in den Betriebsphasen C bis F fest:

„2.3 (1): Für die Zeiträume planmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen in den Betriebsphasen C bis F (Revision, Stillstand der Anlage) an für diese Betriebsphasen notwendigen Einrichtungen der Sicherheits-Ebene 3 ist ein Einzelfehler, jedoch kein weiterer Instandhaltungsfall zu unterstellen (Redundanzgrad $n+1$).

2.3 (2): Ein Redundanzgrad $n+0$ ist in den Betriebsphasen E und F dann zulässig, wenn bei Ausfall der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtung die Zeit bis zur Nichteinhaltung von Nachweiskriterien mehr als 10 Stunden beträgt und die ausgefallenen oder in Instandhaltung befindlichen aktiven sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zuverlässig innerhalb dieses Zeitraums verfügbar gemacht werden können“.

Die diesbezüglichen Festlegungen werden in den SiAnf, Interpretationen I-5, Abschnitt 4.1 konkretisiert. Demnach gelten die Anforderungen der Nummer 2.3 (2) in Anhang 4 der SiAnf im Hinblick auf die Einrichtungen zur Kühlung des Brennelementlagerbeckens auch für die Betriebsphasen A bis D und es gilt:

„Hinweis: Die Betriebserfahrung zeigt, dass eine Verfügbarmachung mindestens eines Stranges der Beckenkühlung binnen 10 Stunden erfolgen kann, wenn ausreichende Instandhaltungsressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) auf der Anlage vorhanden sind.“

Hinsichtlich der Durchführung von Maßnahmen der Vorbeugenden Instandhaltung regelt SiAnf, Anhang 4, Nummer 3.3.1 (1):

„Maßnahmen der Vorbeugenden Instandhaltung, die eine Unverfügbarkeit einer sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtung gemäß Nummer 3.1 (1) zur Folge haben und deren Inhalt und Umfang über Wartungsarbeiten gemäß Nummer 3.2.2 hinausgehen, sind grundsätzlich in Betriebsphasen durchzuführen in denen eine Anforderung dieser Einrichtung nicht ansteht oder wenig wahrscheinlich ist, in der Regel in den Betriebsphasen C – F.“

Für Wartungsmaßnahmen im Sinne der SiAnf gilt nach Anhang 4, Nummer 3.3.2:

„Sind zur Gewährleistung der Funktionsfähigkeit von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen Wartungen erforderlich, können diese bei Einhaltung der nachstehenden Bedingungen in allen Betriebsphasen durchgeführt werden:

- die Wartungsmaßnahme erfordert nur Unverfügbarkeitszeiten der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtung < 8 Stunden und*
- die sicherheitstechnisch wichtige Einrichtung kann im Anforderungsfall rasch in den Betriebszustand zurückversetzt werden, wobei dies auch unter den Bedingungen eines eingetretenen Störfalls möglich sein muss, und*
- die Arbeiten bleiben auf jeweils eine Redundante beschränkt und die anderen Redundanten stehen in diesem Zeitraum uneingeschränkt zur Verfügung, und*
- beim An- und Abfahren der Anlage werden Wartungen auf die unvermeidlichen Umfänge beschränkt.“*

Entsprechend des KTA 3303 Regeländerungsentwurfes [2], 4.2.4 (1) gilt:

„Für die gemäß SiAnf unterstellten Ereignisse auf der Sicherheitsebene 3... muss eine Beckenwassertemperatur kleiner oder gleich T_3 eingehalten werden.“

„Hinweis: Anders als bei Auslegungsstörfällen, deren Auftreten für den Reaktor im Leistungsbetrieb unterstellt wird, gelten für die unterstellten Ausfälle der BLWA-Systeme abgestufte sicherheitstechnische Anforderungen. ...Zur Behebung von ereignisunabhängig auftretenden Einzelfehlern in den BLWA-Systemen steht daher immer eine deutlich längere Karenzzeit zur Verfügung... Zudem stellt die Funktion der Lagerbeckenkühlung einen permanenten, betrieblichen Anforderungsfall dar, in dessen Folge die Verfügbarkeit der Lagerbeckenkühlung laufend gezeigt ist.“

Die Grenztemperatur T_3 gilt gemäß KTA 3303 4.2.5 (1) auch für die naturbedingten Einwirkungen von außen und Einwirkungen von innen (siehe auch [3]).

Zusätzlich gilt KTA 3303, 4.2.4 (2)¹:

„Kann für die Auslegungsstörfälle ... unter Anwendung des Einzelfehlerkonzeptes eine Karenzzeit von mindestens 10 Stunden ... nachgewiesen werden, so darf nach Ablauf von 10 Stunden einer der unverfügbaren Stränge als wieder verfügbar angenommen werden“

Weiterhin stellt KTA 3303, 4.2.4 (4) fest:

„Ersatzmaßnahmen oder Maßnahmen zum Wiederverfügbarmachen dürfen in der Ereignisanalyse dann berücksichtigt werden, wenn diese Maßnahmen ereignisspezifisch vor Erreichen von T_3 durchgeführt werden können.“

5 Beratungsergebnisse

Vorbemerkungen

Im IAEA Safety Standard SSG-15 „Storage of Spent Nuclear Fuel“ wird empfohlen, der Auslegung von Wärmeabfuhrsystemen der BE-Nasslager das deterministische „single failure“ Kriterium zu Grunde zu legen. Dieser Empfehlung wird in den SiAnf [1] mit der Definition von Ereignissen der Sicherheitsebene 3 (SE 3) in der Ereignisliste „Brennelement-Lagerbecken DWR und SWR“ entsprochen. Dabei ist zu beachten, dass gemäß dem deutschen Einzelfehlerkonzept in [1] bei Einrichtungen der SE 3 im Anforderungsfall ein Einzelfehler und zusätzlich grundsätzlich ein gleichzeitiger Instandhaltungsfall unterstellt werden muss.

¹ Die RSK hat in ihrer Kommentierung des Gründrucks der KTA 3303 diesen Passus zur Änderung vorgeschlagen:

„Kann für die Auslegungsstörfälle der BLWA-Systeme unter Anwendung des Einzelfehlerkonzeptes eine Karenzzeit von mindestens 10 Stunden bis zum Erreichen von T_3 nachgewiesen werden, so darf nach Ablauf von 10 Stunden einer der unverfügbaren Stränge dann als wieder verfügbar angenommen werden, wenn dargelegt wird, dass ausreichende Ressourcen (ausreichend und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) auf der Anlage vorhanden sind.“

Aus der Darstellung in Kapitel 2 zu den vorhandenen Strängen des BLWA Systems bei den im Leistungsbetrieb befindlichen DWR und SWR Anlagen ergibt sich, dass bei einem ereignisbedingt angenommenen Ausfall eines BLWA Stranges (bspw. aufgrund des Ereignisses B3-01 oder als Folgeausfall bei einem Bemessungserdbeben) bei Anwendung des Einzelfehlerkonzepts gemäß [1] auf die verbleibenden BLWA Stränge es dazu kommen kann, dass zunächst keine aktiven Einrichtungen zur Kühlung des BELB mehr verfügbar sind.

Die Anwendung des Einzelfehlerkonzepts auf die Sicherheitsfunktion „Kühlung der Brennelemente im BE-Lagerbecken“ war, bevor die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ [1] in Kraft traten, im kerntechnischen Regelwerk nicht gefordert. Vor dem Hintergrund, dass die Störfälle im BLWA System bei niedrigen Drücken und Temperaturen sowie hinsichtlich der Temperaturentwicklung deutlich langsamer ablaufen als i. d. R. Störfälle in der Reaktoranlage und da eine vergleichsweise gute Zugänglichkeit zu den relevanten Einrichtungen im Anforderungsfall gegeben ist, hat man im Zusammenhang mit den Definitionen dieser SE 3 Ereignisse im Regelwerk [1] die Option der Kreditierung einer Karenzzeit von 10 Stunden eingeführt. Sofern unter den gegebenen Randbedingungen der postulierten Ereignisse ausreichende Instandhaltungsressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) auf der Anlage verfügbar sind, kann von einer Wiederverfügbarmachung innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit zumindest eines aktiven Stranges innerhalb dieses Zeitraums ausgegangen werden [4].

Das BMUB hat in seinem Beratungsauftrag an die RSK vom 22.07.2014 schwerpunktmäßig auf das Ereignis B3-01 „Längerfristiger Ausfall (>30 Min) zweier Stränge der Brennelementlagerbeckenkühlung“ aus [1] Bezug genommen, da sich bei der Umsetzung der diesbezüglichen Anforderungen in [1] ins nachgeordnete Regelwerk [2] Diskussionen ergeben haben. Die Fragen 1 und 2 des BMUB Beratungsauftrags haben dementsprechend den aus sicherheitstechnischer Sicht geeigneten Zeitpunkt für die Durchführung geplanter Instandhaltungsmaßnahmen zum Inhalt, da als Ereigniseintritt für B3-01 der Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges während der Unverfügbarkeit eines zweiten Stranges aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen zu unterstellen ist.

Vor diesem Hintergrund befasst sich die RSK im Folgenden schwerpunktmäßig mit diesem Ereignis. Die anhand dieses Ereignisses bei der Beantwortung der Fragen 1 und 2 des BMUB abgeleiteten Bewertungen und ausgesprochenen Empfehlungen zur Vermeidung unzulässiger Zustände gelten jedoch, soweit übertragbar, für alle hinsichtlich der Wärmeabfuhr aus dem BELB relevanten Störfälle sowie für Folgeausfälle durch ein Bemessungserdbeben. Im Rahmen der Antworten zur Frage 3 des BMUB wird in den Abschnitten 5.3.3 und 5.3.4 explizit auch auf andere SE 3 Ereignisse des Anhangs 2 in [1], die die Wärmeabfuhr aus dem BELB betreffen, sowie das Bemessungserdbeben eingegangen.

Auf Basis ihrer Beratung und der obigen Vorbemerkungen beantwortet die RSK die Fragen des BMUB wie folgt:

5.1 Beantwortung der Frage 1 des BMUB:

Bestehen grundsätzliche Bedenken, geplante Instandhaltungsmaßnahmen an Strängen der Beckenkühlung bei Anlagen mit der Berechtigung zum Leistungsbetrieb während des Zeitraums einer Kernvollaussladung vorzunehmen?

Die RSK hat Bedenken bezüglich der Durchführung von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen in Betriebszuständen, in denen bei ereignisbedingten Ausfällen unter Anwendung des Einzelfehlerkonzepts gemäß den Sicherheitsanforderungen, Anhang 4 eine Karenzzeit von 10 h (nach der gemäß [4] von der Wiederverfügbarmachung eines Stranges ausgegangen werden kann) bis zum Erreichen der Auslegungstemperatur T_3 nicht gewährleistet ist. Dies ist insbesondere in den ersten Tagen bei einer Kernvollaussladung zu erwarten.

Die Begründung für diese Bedenken wird nachfolgend im Rahmen der Beantwortung von Frage 2 des BMUB näher erläutert.

Die Bedenken beziehen sich nicht auf Wartungsmaßnahmen, die die Bedingungen der SiAnf Anhang 4 Abschnitt 3.3.2 erfüllen. Unter diesen Bedingungen können Wartungsarbeiten (Inspektionen, Wiederkehrende Prüfungen) immer durchgeführt werden, sofern gezeigt ist, dass die dort geforderte „rasche Wiederverfügbarmachung“ des in Wartung befindlichen Stranges gemessen an der tatsächlich verfügbaren Karenzzeit kurz ist. In diesem Fall kann die Wiederverfügbarmachung nach der entsprechenden Zeitspanne in der Nachweissführung kreditiert werden.

5.2 Beantwortung der Frage 2 des BMUB:

Falls dem so ist, welche Anlagenzustände sind aus sicherheitstechnischer Sicht für die Durchführung solcher Instandhaltungsmaßnahmen zu empfehlen?

Die SiAnf legen in Anhang 4, Nummer 3.3.1 bezüglich der Durchführung von Maßnahmen der Vorbeugenden Instandhaltung (entsprechend der geplanten Instandhaltung im Sinne der Frage des BMUB) fest, dass diese grundsätzlich in Betriebsphasen durchzuführen sind, in denen eine Anforderung dieser Einrichtung nicht ansteht oder wenig wahrscheinlich ist. Die Einrichtungen der Beckenkühlung werden im Unterschied zu vielen anderen sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zwar immer und in allen Betriebsphasen benötigt, allerdings infolge der unterschiedlichen Belegung des Beckens mit Brennelementen mit unterschiedlich hohen Anforderungen an die Wirksamkeit der Kühlsysteme.

Die höchsten Wirksamkeitsanforderungen an die Beckenkühlung bestehen in den Betriebsphasen E und F nach Anhang 2, Abschnitt 4 der SiAnf [1]. Da die Dauer der Betriebsphase E im Wesentlichen durch den Zeitbedarf für den Ent- bzw. Beladevorgang und die dabei aus dem Becken abzuführende Wärmeleistung vom Beladekonzept (z. B. „Shufflen“) bestimmt wird, sind die realen Zustände mit ihrer jeweiligen Nachwärmeleistung im BELB wegen einer Teilentladung des Kerns bzw. beim Umsetzen des Kerns im Reaktor-druckbehälter (Shufflen) zu betrachten.

In den Betriebszuständen, in denen bei geplanter Instandhaltung an einem Strang und einem postulierten Ausfall eines Stranges des BLWA-Systems unter Ansatz eines Einzelfehlers eine Temperatur von T_3 mit verbleibenden aktiven BLWA-Strängen eingehalten werden kann, ist eine geplante Instandhaltung an diesem Strang sicherheitstechnisch unbedenklich.

Sofern diese Bedingung im Hinblick auf das Ereignis B3-01 nicht erfüllt ist (wie beim 3-strängigen Auslegungskonzept der DWR Anlagen) kommt die RSK zu folgenden Bewertungen:

Geplante Instandhaltungsvorgänge, bei denen die Funktion eines BLWA-Stranges (erforderliche Hilfs- und Versorgungsfunktionen sind zu berücksichtigen) nicht verfügbar ist, sollten in Betriebszuständen erfolgen, bei denen nach Eintritt des Ereignisses B3-01 in Verbindung mit einem Einzelfehler und einer Karenzzeit von mindestens 10 Stunden bis zum Überschreiten von T_3 vorliegt. Die für die Wiederverfügbarmachung von BLWA-Komponenten innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit erforderlichen Instandhaltungsressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) sind für den Zeitraum der geplanten Instandhaltung sicherzustellen (**Empfehlung 1a**).

Im Zusammenhang mit der Empfehlung 1a ist zu berücksichtigen:

- Unter der Bedingung, dass die 10h-Karenzzeit für das BELB eingehalten werden kann, sind aus Sicht der RSK unter Abwägung der Verfügbarkeitsanforderungen für die Kernkühlung (z. B. KMV sowie Einwirkungen von außen, Einwirkungen von innen und Notstandsfälle) sowie ggf. weiterer Anforderungen anlagenspezifisch die geeigneten Betriebszustände für geplante Instandhaltungsmaßnahmen am BLWA System auszuwählen.
- Beim SWR ist zu beachten, dass nicht alle der im Sachstand genannten Kühlungsmöglichkeiten mit den Nachkühlsträngen in allen Betriebsphasen unmittelbar verfügbar sind. Hier ist daher zu zeigen, dass die rechtzeitige Herstellung der Verfügbarkeitsbedingungen für erforderlich werdende Stränge möglich ist. Andernfalls sind geplante Instandhaltungen an BLWA-Strängen in den Betriebszuständen durchzuführen, in denen die erforderlichen Stränge rechtzeitig verfügbar sind.

Wenn im Einzelfall aus gewichtigen Gründen geplante Instandhaltungsmaßnahmen, bei denen die Funktion eines BLWA-Stranges nicht verfügbar ist, bei Karenzzeiten kleiner 10h durchgeführt werden sollen, sind folgende Bedingungen während der Instandhaltungsmaßnahmen einzuhalten:

- Es ist aufzuzeigen, dass beim Ereignis B3-01 unter Annahme eines zusätzlichen Einzelfehlers eine ausreichende Wärmeabfuhrkapazität durch Beendigung der Instandhaltung oder durch vorbereitete Reparaturen und Ersatzmaßnahmen innerhalb der tatsächlich gegebenen Karenzzeit zuverlässig bereitgestellt werden kann, um die Beckentemperatur unter T_3 zu halten.
Hinweis: Zur Ermittlung der Karenzzeit können die für diesen Einzelfall zu erwartenden Randbedingungen berücksichtigt werden (z. B. Nachwärmeleistung und Temperatur im Becken).
- Die für die Reparaturen und Ersatzmaßnahmen benötigten Ressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteile, spezielle Einrichtungen zur Wiederaufnahme der Kühlung) sind auf der Anlage.
- Es sind Maßnahmen zu treffen, um die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Einzelfehlers in den Einrichtungen zur Wärmeabfuhr aus dem BELB während des Zeitraums der Instandhaltung zu minimieren.
- Die erforderlichen Prozeduren und Randbedingungen müssen in Betriebsunterlagen (z. B. Schichtanweisungen) beschrieben sein (**Empfehlung 1b**)

5.3 Beantwortung der Frage 3 des BMUB:

Bedarf es im Hinblick auf die BE-Lagerbeckenkühlung zusätzlicher Erläuterungen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, insbesondere den darin aufgelisteten Störfällen, und deren sicherheitstechnisch sinnvoller Umsetzung in der Praxis?

Die RSK hat im Rahmen ihrer Beratung festgestellt, dass die Festlegungen der SiAnf [1] im Hinblick auf die BELB-Kühlung Interpretationsspielräume aufweisen und hält daher die nachfolgend aufgeführten Erläuterungen für wesentlich und leitet daraus weitere Empfehlungen ab

Die Beantwortung der Frage 3 des BMUB erfolgt gemäß folgender Untergliederung:

- Abschnitt 5.3.1 Ereignisübergreifende Erläuterungen
- Abschnitt 5.3.2 Zusätzliche Erläuterungen zum Ereignis B 3-01
- Abschnitt 5.3.3 Erläuterungen zu weiteren Störfällen in der Lagerbeckenkühlung (Leckereignisse)
- Abschnitt 5.3.4 Erläuterungen zum Bemessungserdbeben

5.3.1 Ereignisübergreifende Erläuterungen

Berücksichtigung betrieblicher Einrichtungen:

Unter Berücksichtigung der Vorbemerkungen in Kapitel 5 ist aus Sicht der RSK die Kreditierung betrieblicher Stränge des BLWA-Systems bei der Ereignisanalyse als Ersatzmaßnahme grundsätzlich zulässig, sofern deren zuverlässige Funktion unter den jeweiligen Ereignisrandbedingungen gezeigt ist (siehe auch [2]).

Die RSK betont allerdings, dass die in dieser Stellungnahme vorgenommene Kreditierung von Einrichtungen, die nicht Bestandteil des Sicherheitssystems sind (z. B. der 3. Beckenkühlstrang der DWR Anlagen), bei der Nachweisführung der Ereignisbeherrschung für Störfälle im BLWA-System sich ausschließlich auf dieses System bezieht. Inwieweit generell Einrichtungen, die nicht Bestandteil des Sicherheitssystems sind, im Rahmen der Nachweisführung auf der Sicherheitsebene 3 kreditiert werden können, ist eine generische Fragestellung, die Gegenstand gesonderter RSK Beratungen ist.

Berücksichtigung eines Instandsetzungsfalls

Gemäß [1] sind in den Einrichtungen zur Beherrschung von Ereignissen der Sicherheitsebene 3 im Anforderungsfall ein Einzelfehler sowie eine Unverfügbarkeit aufgrund von Instandhaltungsmaßnahmen zu unterstellen. Dabei wird nicht zwischen geplanten oder ungeplanten Instandhaltungsfällen differenziert. Allerdings ist in den Betriebsphasen C-F gemäß [1] (Anhang 4, 2.3 (1)) für die Zeiträume planmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen ein Einzelfehler, jedoch kein weiterer Instandhaltungsfall, d. h. insbesondere auch kein ungeplanter Instandhaltungsfall (Instandsetzungsfall) zu unterstellen. Für Zeiten außerhalb von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen ist jedoch in allen Betriebsphasen ein Instandsetzungsfall zu unterstellen.²

² Diese Differenzierung im Regelwerk [1] berücksichtigt die Betriebserfahrung nach der in den Betriebsphasen C-F geplante Instandhaltungs- und Prüftätigkeiten, z. B. an den Not- und Nachkühlssystemen und deren Energieversorgung, durchgeführt

Ebenso wie im Fall der geplanten Instandhaltung kann es bei Vorliegen einer längerfristigen Unverfügbarkeit eines Strangs des BLWA-Systems aufgrund eines Instandsetzungsfalls bei einem ereignisbedingt angenommenen Ausfall eines BLWA-Stranges (z.B. als Folgeausfall bei einem Bemessungserdbeben) und unterstelltem Einzelfehler dazu kommen, dass keine aktiven Einrichtungen zur Kühlung des BELB mehr verfügbar sind.

Damit auch in diesem Fall die Möglichkeit der Wiederverfügbarmachung innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit eines Strangs des BLWA Systems kreditiert werden kann, sind bei Eintreten eines Instandsetzungsfalls, bei denen die Funktion eines BLWA Stranges (erforderliche Hilfs- und Versorgungsfunktionen sind zu berücksichtigen) nicht verfügbar ist, die für die unterstellte Wiederverfügbarmachung von BLWA-Komponenten innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit erforderlichen Instandhaltungsressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteile usw.) rechtzeitig bereitzustellen (**siehe nachfolgende Empfehlung 2**).

Damit verbleiben als Folge von Instandsetzungsvorgängen Zeiten, in denen hinsichtlich der Beckenkühlung kein einzelfehlerfester Zustand vorliegen kann.

Gemäß [1] (Anhang 4, 2.2.3) kann ein durch einen eintretenden Instandsetzungsfall nicht mehr gegebener einzelfehlerfester Zustand im Sicherheitssystem in den Betriebsphasen A und B toleriert werden, wenn die instandsetzungsbedingte Unverfügbarkeit zeitlich ausreichend begrenzt ist und die zulässige Unverfügbarkeit in den betrieblichen Unterlagen festgelegt ist oder die erforderliche sicherheitstechnische Funktion durch Ersatzmaßnahmen anderweitig zuverlässig gewährleistet ist. Daraus resultieren Maßnahmen, die bei Überschreitung der zulässigen Unverfügbarkeit zu treffen sind, z. B. Leistungsreduzierungen oder das Abfahren der Anlage. Für den Zustand einer ausreichend begrenzten Instandsetzungsdauer muss demnach kein Nachweis der Ereignisbeherrschung mit überlagertem Einzelfehler erfolgen.

Diese Anforderung bezieht sich auf den Leistungsbetrieb der Reaktoranlage und die Sicherstellung der Mindestverfügbarkeit von Sicherheitssystemen im Leistungsbetrieb („Reparaturzeitregelungen“). Kurzzeitig werden dabei auch Betriebszustände mit einem Redundanzgrad von $n+0$ zugelassen, vor dem Hintergrund, dass für das Überführen der Anlage in einen sicheren Zustand, z. B. durch betriebliches Abfahren, ein Zeitaufwand erforderlich ist. Zur Vermeidung der mit dem Abfahren verbundenen Vorgänge, die Anlass für Transienten sein können, kann es als sicherheitstechnisch vorteilhaft angesehen werden, den Weiterbetrieb der Anlage für einen Zeitraum zuzulassen, der für das Überführen in den sicheren Zustand erforderlichen Zeit entspricht, sofern in dieser Zeit der einzelfehlerfeste Zustand wieder hergestellt werden kann.

Diese Randbedingungen der Reparaturzeitregelungen sind auf die Stränge des BLWA-Systems nicht übertragbar, dennoch kann der grundsätzliche Ansatz einer zeitlichen Begrenzung der Instandsetzungsdauer bei

werden, d. h., es ist davon auszugehen, dass in der Regel eine geplante Instandhaltung an Teilen dieser Einrichtungen vorliegt. Die Überlagerung mit einem weiteren, d. h. ungeplanten Instandhaltungsfall wird während der Durchführung solcher geplanter Instandhaltungsmaßnahmen nicht unterstellt, da dies dem Einzelfehlerkonzept (keine Überlagerung mehrerer unabhängiger Instandhaltungsfälle) widersprechen würde.

der Frage der Überlagerung mit einem Einzelfehler nach Auffassung der RSK auch für die Stränge des BLWA-Systems herangezogen werden. Daraus folgt, dass in der Nachweisführung der Ereignisbeherrschung für die Dauer einer ausreichend zeitlich begrenzten Instandsetzung keine Überlagerung mit dem Einzelfehler angesetzt werden muss, sofern Vorsorge getroffen ist, dass in einem solchen Fall die Instandsetzungsdauer so weit als möglich minimiert wird. Sofern durch das Eintreten eines Instandsetzungsfalles ein Einzelfehler fester Zustand im BLWA System nicht mehr gegeben ist, muss deshalb primär die schnellstmögliche Beseitigung dieses Zustands sichergestellt werden.

Übergeordnet gilt generell gemäß [1], Anhang 4, Nr. 3.2.1 (1), dass bei Feststellung von Mängeln an sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen, die eine Unverfügbarkeit der Einrichtung im Anforderungsfall zur Folge haben können, unverzüglich Maßnahmen zur Identifizierung der Fehlerursache und zur Behebung des Mangels einzuleiten sind. Bei den BLWA-Systemen sollten jedoch für den Fall des Eintretens eines Strangausfalls begleitend weitere Maßnahmen ergriffen werden, wie die

- Sicherstellung ausreichender Ressourcen zur Wiederverfügbarmachung von BLWA-Strängen,
- Minimierung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten weiterer Ausfälle im BLWA-System,

Vor diesem Hintergrund leitet die RSK die folgende Empfehlung ab:

Die relevanten Anforderungen an die Verfügbarkeit der Beckenkühlsysteme und die Maßnahmen im Falle von ungeplanten Ausfällen sind in den Auflagen und Bedingungen für den sicheren Betrieb festzulegen.

In Situationen, in denen eine Einzelfehlerfestigkeit der BLWA-Systeme nicht gegeben ist, muss die rechtzeitige Bereitstellung ausreichender Ressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteile usw.) zur Wiederverfügbarmachung ausgefallener BLWA-Stränge sichergestellt werden. Darüber hinaus sind Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit weiterer Ausfälle im BLWA-System festzulegen (**Empfehlung 2**).

Überlagerung des Notstromfalls:

Für die Ereignisse der Sicherheitsebene 3 ist ein Notstromfall zu unterstellen. Bei der Zuschaltung der mit Notstrom versorgten Aggregate können in den Analysen Handmaßnahmen unter den bei Störfällen zu beachtenden Randbedingungen kreditiert werden.

Berücksichtigung realer Parameterwerte:

Bei geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen können für die Bestimmung der Karenzzeiten reale Parameterwerte (z. B. Nachzerfallsleistung, anfängliche Beckenwassertemperatur und Nebenkühlwassertemperatur, Wärmespeichervermögen der Beckeneinbauten) herangezogen werden.

5.3.2 Zusätzliche Erläuterungen zum Ereignis B 3-01

Übergeordnete Randbedingungen:

Die SiAnf definieren das Ereignis B3-01 als den längerfristigen Ausfall zweier Stränge der Brennelementlagerbeckenkühlung. Die Interpretation I-5, Abschnitt 5 zur SiAnf [4] konkretisiert dieses Ereignis dahinge-

hend, dass als Ereigniseintritt der Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges während der Unverfügbarkeit eines zweiten Stranges aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen anzusetzen ist. Es ist daher nicht der gleichzeitige Ausfall (infolge eines common mode) zweier Stränge der BLWA Systeme zu unterstellen, sondern der Instandhaltungsfall liegt zum Ereigniszeitpunkt bereits vor.

Die Nachweisführung nach SiAnf, Anhang 4, Nummer 2.3 muss für die Zeiträume planmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen unter Anwendung des Einzelfehlers erfolgen. Dieser ist daher auch bei den BLWA-Systemen zusätzlich zum Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges während der Unverfügbarkeit eines zweiten Stranges aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen anzusetzen.

Der im Ereignis B3-01 postulierte Ausfall eines Strangs des BLWA-Systems und die geplante Instandhaltung eines weiteren Strangs beziehen sich auf alle Stränge, auch auf diejenigen, die nicht Teil des Sicherheitssystems sind. Es sind demnach alle BLWA-Stränge in die Betrachtungen einzubeziehen.

Das Ereignis B3-01 während geplanter Instandhaltungsmaßnahmen:

Gemäß SiAnf ist das Ereignis B3-01 unter der Randbedingung anzusetzen, dass ein vollständiger Beckenkühlstrang aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen unverfügbar ist. Bei geplanten Instandhaltungsmaßnahmen an den verknüpften Beckenkühlsträngen beim DWR sind diese nur als unverfügbar zu betrachten, sofern die Funktion der Beckenkühlung während der geplanten Instandhaltungsmaßnahmen nicht zur Verfügung steht. Für geplante Instandhaltungsmaßnahmen an redundant vorhandenen Komponenten (z. B. redundant vorhandene Pumpen der verknüpften Stränge) bleibt die Beckenkühlung ggf. über einen solchen Strang weiterhin verfügbar, so dass die Unverfügbarkeit dieses Strangs nicht anzusetzen wäre.

Das Ereignis B3-01 ohne geplante Instandhaltungsmaßnahmen:

Es besteht Konsens in der RSK, dass durch Verzicht auf eine geplante Instandhaltung die Randbedingung des Ereignisses B 3-01 „Unverfügbarkeit eines zweiten Stranges aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen“ ausgeschlossen werden kann. Im Sinne einer abdeckenden Betrachtung sollte jedoch der „längerfristige Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges des BLWA Systems“ unter Ansetzung des Einzelfehlers betrachtet werden. Dabei kann der durch Verzicht auf eine geplante Instandhaltung verfügbare, verbleibende BLWA-Strang für die Einhaltung der Temperatur bzw. für die Sicherstellung der Karenzzeit kreditiert werden.

Hinsichtlich eines zu unterstellenden Instandsetzungsfalls siehe die Ausführungen in Kapitel 5.3.1.

Für den Fall, dass ein verfügbarer Strang in der Lage ist, die Einhaltung der Temperatur T_3 langfristig sicherzustellen, sind in diesem Fall keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Unter Betrachtung von Ausfallkombinationen, die dazu führen, dass nur ein Strang verfügbar bleibt, der jedoch nicht in der Lage ist, die zulässige Bedingung (T_3) langfristig sicherzustellen, ist zu zeigen, dass mit dem verbleibenden Strang und unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Lagerbeckens die Karenzzeit von mindestens 10 Stunden bis zum Erreichen von T_3 überbrückbar ist. Auch für diesen Fall sollten die erforderlichen Instandhaltungsressourcen gemäß SiAnf, Interpretation I-5, Abschnitt 5 (**siehe Empfehlungen 1 und 2**) vorgehalten werden.

Betriebszustände ohne geplante Instandhaltung, für die unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Lagerbeckens sowie nach Ereigniseintritt unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers an verbleibenden Strängen des BLWA-Systems eine Karenzzeit von mehr als 10 Stunden nicht gegeben ist, sind durch Begrenzung des Energieinventars des Beckens über entsprechende Arbeitsablaufplanungen zu verhindern. Die hierfür erforderlichen Randbedingungen sind in den Auflagen und Bedingungen für den Betrieb der Anlage festzulegen (**Empfehlung 3**).

5.3.3 Erläuterungen zu weiteren Störfällen in der Lagerbeckenkühlung

In Anhang 2 von [1] sind u. a. folgende weitere Störfälle aufgelistet, die ebenfalls die Funktion des BLWA-Systems betreffen:

- B3-02: Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken durch Lecks mit einer Querschnittsfläche > DN25 bis zur größten Anschlussleitung
- B3-03: Leck am Flutraum oder Absetzbecken bei geöffnetem Beckenschütz³
- B3-04: Internes Leck in Kühlmittel führenden Wärmetauschern des Brennelement-Lagerbeckens

Wie beim Ereignis B3-01 kann es bei den Ereignissen B3-02 und B3-04 infolge des für alle Betriebsphasen postulierten auslösenden Ereignisses zum Ausfall eines BLWA Stranges und bei Ansatz des Einzelfehlerkonzepts (Einzelfehler und Instandhaltung) zur Unverfügbarkeit zweier weiterer Stränge kommen.

Dies führt beim DWR - wie beim Ereignis B3-01 - dazu, dass zunächst keine aktiven Einrichtungen zur Kühlung des Beckens zur Verfügung stehen.

Beim SWR ist dies mit Ausnahme von Leckereignissen, die zu einem Ausfall von drei Strängen führen würden, nicht der Fall bzw. in den Betriebsphasen A und B, in denen nicht alle Stränge unmittelbar verfügbar sind, nur solange, bis die Verfügbarkeitsbedingungen für erforderlich werdende Stränge hergestellt sind.

Nachfolgende Betrachtungen beschränken sich exemplarisch auf das Ereignis B3-02.

Anzusetzende Leckgrößen und Lecklagen:

Das Ereignis B3-02 (Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken durch Lecks mit einer Querschnittsfläche > DN25 bis zur größten Anschlussleitung) sowie die in [1] genannte ergänzende Randbedingung zu diesem Ereignis „Maximale Leckquerschnittsfläche: Fläche der größten Anschlussleitung“ nehmen eine Leckgröße bis zur größten Anschlussleitung an das BELB in Bezug. Ferner können gemäß [1], sofern zutreffend, die Bedingungen für die sonstigen Rohrleitungen der Äußeren Systeme von DWR und SWR (dort Anhang 2, Anlage 2, Abschnitt 4.2) oder bei entsprechender Ausführungsqualität auch die Bedingungen für betriebliche Systeme (2 F Lecks der Rohrleitungen) von Relevanz sein. Gemäß diesen Randbedingungen sind die anzusetzenden Leckgrößen und Lecklagen Anlagen spezifisch zu definieren.

³ siehe ergänzende Randbedingungen und Erläuterungen im Anhang 2, Tabelle 5.3, zum Ereignis B3-03 in [1].

Nach Ansicht der RSK, gestützt durch internationale Betriebserfahrungen [6] und in deutschen Anlagen z. B. [7], werden Lecks an den BLWA Systemen jedoch eher durch Instandhaltungsvorgänge bzw. durch andere menschliche Fehlhandlungen verursacht als durch ein Eigenversagen von Rohrleitungen. Zur Minimierung von solchen Leckereignissen empfiehlt die RSK grundsätzlich bei Arbeiten an BLWA-Systemen das Prinzip der Doppelabspernung (Abspernung der an das Becken anschließenden Leitungen durch zwei zuverlässige Abspernrorgane (z. B. Armaturen oder qualifizierte Stopfen)) anzuwenden. Ausnahmen vom Grundsatz sollten auf Arbeiten an beckenseitigen Erstabspernungen begrenzt sein (**Empfehlung 4**).

Auch bei Berücksichtigung von Doppelabspernungen sind bei der Festlegung der anzusetzenden Leckgrößen instandhaltungsbedingte Lecks an BLWA-Strängen sowie deren mögliche Lecklagen mit heranzuziehen⁴.

Aus dem Kontext des bisherigen und aktuellen Regelwerks [3] ergibt sich aus Sicht der RSK zudem, dass es sich beim Ereignis B3-02 um Lecks in den Leitungen des BLWA Systems handelt und nicht um Lecks an der baulichen Anlage des Beckens (Auskleidung oder Betonstruktur) selbst.

Spezifisch für B3-02 und B3-03 zu beachtender Ereignisablauf:

Infolge des Lecks kommt es im Verlauf des Ereignisses B3-02 sowohl beim DWR als auch beim SWR zu einer Absenkung des Füllstands im Lagerbecken. Sofern eine entsprechend ungünstige Lecklage angesetzt wird oder eine Leckabspernung, ggf. infolge eines Einzelfehlers, als unwirksam zu unterstellen ist, kann es dazu kommen, dass der Füllstand beim Ereignis B3-02 bis unter die am tiefsten gelegene Ansaugleitung der BLWA-Stränge bzw. beim Ereignis B3-03 bis zur Unterkante des Beckenschützes abfällt, mit der Folge, dass unabhängig von den gemäß Einzelfehlerkonzept zu unterstellenden Strangausfällen keine aktive Kühlung des Beckens mehr erfolgt. In diesem Fall ist zu zeigen, dass eine ggfs. erforderliche Leckisolierung, das erforderliche Wiederauffüllen des Beckens auf ein Niveau, das eine Kühlung über einen der BLWA-Stränge wieder ermöglicht, und das Zuschalten eines verfügbaren Stranges rechtzeitig vor Erreichen von T_3 erfolgen kann. In die Bewertung der Durchführbarkeit der erforderlichen Tätigkeiten zur Isolierung des Lecks und zur Wiederauffüllung des BELB sind die sich ggf. lokal einstellenden Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Sichtbedingungen, Strahlungspegel) einzubeziehen.⁵

Vor diesem Hintergrund ergibt sich aus Sicht der RSK für Ereignisse mit Wasserverlust aus dem BELB, dass

- Einrichtungen und Maßnahmen zur ausreichend schnellen Leckisolierung vorgehalten werden sollten und
- eine Kernvollentladung in das BELB erst dann erfolgen sollte, wenn die resultierende Karenzzeit bis Erreichen T_3 unter Berücksichtigung des durch das Leck reduzierten Kühlmittelvolumens größer ist als die erforderliche Zeit für die Leckisolierung und Wiederaufnahme der Kühlung (**Empfehlung 5**).

⁴ Eine Doppelabspernung von Leitungen der BLWA Systeme die an das Becken anschließen ist je nach Arbeitsort und Tätigkeit auch unter den Aspekten der „Barriintegrität Sicherheitsbehälter“ und „Anlageninterne Überflutung“ in Erwägung zu ziehen.

⁵ In einigen DWR Anlagen gibt es keine Absperrarmaturen zur Isolierung von Lecks im BLWA System innerhalb des Sicherheitsbehälters (z. B. in den Einspeiseleitungen der verknüpften BLWA Systeme). Dies ist bei der Definition von Leckgröße und Lecklage sowie eines Einzelfehlers und bei den Maßnahmen zur Wiederinbetriebnahme der Beckenkühlsysteme ebenfalls zu berücksichtigen.

5.3.4 Erläuterungen zum Bemessungserdbeben

Nach einem Bemessungserdbeben (BEB) ist zu unterstellen, dass nur noch diejenigen Stränge des BLWA-Systems verfügbar sind, deren Funktionsfähigkeit für das BEB nachgewiesen ist. Somit sind sowohl für die DWR als auch die SWR Anlagen jeweils 2 Stränge als noch verfügbar anzusetzen (siehe Abschnitt 3; beim DWR sind dies die beiden verknüpften Beckenkühlstränge, beim SWR die zwei ausgelegten Stränge TH 2 und 3 des Not- und Nachkühlsystems, wobei bei geöffnetem Beckenschütz auch das ZUNA System für die Beckenkühlung eingesetzt werden kann⁶). Die Anwendung des Einzelfehlerkonzepts gemäß [1] auf diese verbleibenden BLWA-Stränge führt dazu, dass im Falle einer Instandhaltungsmaßnahme, die zur Verfügbarkeit von nur noch einem verbleibenden für das BEB ausgelegten BLWA-Strang führt, keine aktiven Einrichtungen zur Kühlung des Beckens mehr verfügbar sind (beim SWR sofern auch ZUNA für die Beckenkühlfunktion nicht verfügbar ist).⁷

Im Hinblick auf (geplante oder ungeplante) Instandhaltungsmaßnahmen ergeben sich folgende zusätzliche Aspekte:

Die gemäß Empfehlung 1 und 2 vorzusehenden Vorkehrungen zur Wiederverfügbarmachung eines BLWA-Stranges innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit müssen, wenn nur noch ein für das Bemessungserdbeben qualifizierter Beckenkühlstrang verfügbar ist, veranlasst werden und unter den Randbedingungen eines Erdbebens wirksam sein (**Empfehlung 6**).

Beim SWR sollte das Setzen des Beckenschützes (damit einhergehend die Unverfügbarkeit des ZUNA Systems für die Beckenkühlung) erst dann erfolgen, wenn bei Ansatz des Einzelfehlerkonzepts (d. h. bei einem dadurch postulierten Ausfall von TH2 und TH3) nach einem Bemessungserdbeben die Karenzzeit >10 h bis zum Erreichen der Auslegungstemperatur T_3 beträgt (**Empfehlung 7**).

6 Zusammenstellung der Empfehlungen

Die nachfolgenden Empfehlungen werden auf Basis der im Rahmen dieser Empfehlung durchgeführten Recherchen bzgl. bestehender Systemkonfigurationen und -auslegungen ausgesprochen. Erläuterungen zu den Empfehlungen sind in den jeweiligen Kapiteln aufgeführt. Inwieweit die dargelegten Grundlagen der Bewertung in den einzelnen Anlagen umgesetzt sind, muss in den jeweiligen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren verifiziert werden.

⁶ Das ZUNA System wird im Rahmen dieser Stellungnahme von der RSK im Sinne einer ausreichend zuverlässigen Ersatzmaßnahme kreditiert. Die RSK hat allerdings diesbezüglich keine eigenen Prüfungen der Qualität bzw. Zuverlässigkeit dieses Systems vorgenommen.

⁷ Beim DWR bei einem Bemessungserdbeben ist infolge der nicht nachgewiesenen Integrität von Leitungsabschnitten des 3. Strangs im Ringraum ein Leck in diesem Strang zu unterstellen. Beim SWR ist auslegungsgemäß kein erdbebenbedingter Leckstörfall in einem der BLWA Stränge zu unterstellen.

Empfehlung 1:

- a) Geplante Instandhaltungsvorgänge, bei denen die Funktion eines BLWA-Stranges (erforderliche Hilfs- und Versorgungsfunktionen sind zu berücksichtigen) nicht verfügbar ist, sollten in Betriebszuständen erfolgen, bei denen nach Eintritt des Ereignisses B3-01 in Verbindung mit einem Einzelfehler und einer Karenzzeit von mindestens 10 Stunden bis zum Überschreiten von T_3 vorliegt. Die für die Wiederverfügbarmachung von BLWA-Komponenten innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit erforderlichen Instandhaltungsressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) sind für den Zeitraum der geplanten Instandhaltung sicherzustellen.
- b) Wenn im Einzelfall aus gewichtigen Gründen geplante Instandhaltungsmaßnahmen, bei denen die Funktion eines BLWA-Stranges nicht verfügbar ist, bei Karenzzeiten kleiner 10h durchgeführt werden sollen, sind folgende Bedingungen während der Instandhaltungsmaßnahmen einzuhalten:
- Es ist aufzuzeigen, dass beim Ereignis B3-01 unter Annahme eines zusätzlichen Einzelfehlers eine ausreichende Wärmeabfuhrkapazität durch Beendigung der Instandhaltung oder durch vorbereitete Reparaturen und Ersatzmaßnahmen innerhalb der tatsächlich gegebenen Karenzzeit zuverlässig bereitgestellt werden kann, um die Beckentemperatur unter T_3 zu halten.
Hinweis: Zur Ermittlung der Karenzzeit können die für diesen Einzelfall zu erwartenden Randbedingungen berücksichtigt werden (z. B. Nachwärmeleistung und Temperatur im Becken).
 - Die für die Reparaturen und Ersatzmaßnahmen benötigten Ressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteile, spezielle Einrichtungen zur Wiederaufnahme der Kühlung) sind auf der Anlage.
 - Es sind Maßnahmen zu treffen, um die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Einzelfehlers in den Einrichtungen zur Wärmeabfuhr aus dem BELB während des Zeitraums der Instandhaltung zu minimieren.
 - Die erforderlichen Prozeduren und Randbedingungen müssen in Betriebsunterlagen (z. B. Schichtanweisungen) beschrieben sein.

Empfehlung 2:

Die relevanten Anforderungen an die Verfügbarkeit der Beckenkühlsysteme und die Maßnahmen im Falle von ungeplanten Ausfällen sind in den Auflagen und Bedingungen für den sicheren Betrieb festzulegen.

In Situationen, in denen eine Einzelfehlerfestigkeit der BLWA-Systeme nicht gegeben ist, muss der Schaden schnellstmöglich durch die unverzügliche Bereitstellung ausreichender Ressourcen (ausreichendes und qualifiziertes Instandhaltungspersonal, Ersatzteilbevorratung, usw.) zur Wiederverfügbarmachung ausgefallener BLWA-Stränge behoben werden. Darüber hinaus sind Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit weiterer Ausfälle im BLWA System festzulegen und Ersatzmaßnahmen zu deren Beherrschung vorzusehen.

Empfehlung 3:

Betriebszustände ohne geplante Instandhaltung, für die unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Lagerbeckens sowie nach Ereigniseintritt unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers verbleibenden Strängen des BLWA-Systems eine Karenzzeit von mehr als 10 Stunden nicht gegeben ist, sind durch Begrenzung des Energieinventars des Beckens über entsprechende Arbeitsablaufplanungen zu verhindern. Die hierfür erforderlichen Randbedingungen sind in den Auflagen und Bedingungen für den Betrieb der Anlage festzulegen.

Empfehlung 4:

Nach Ansicht der RSK, gestützt durch internationale Betriebserfahrungen [6] und in deutschen Anlagen z. B. [7], werden Lecks an den BLWA Systemen eher durch Instandhaltungsvorgänge bzw. durch andere menschliche Fehlhandlungen verursacht als durch ein Eigenversagen von Rohrleitungen. Zur Minimierung von solchen Leckereignissen empfiehlt die RSK grundsätzlich bei Arbeiten an BLWA-Systemen das Prinzip der Doppelabspernung (Abspernung der an das Becken anschließenden Leitungen durch zwei zuverlässige Absperrorgane (z. B. Armaturen oder qualifizierte Stopfen)) anzuwenden. Ausnahmen vom Grundsatz sollten auf Arbeiten an beckenseitigen Erstabspernungen begrenzt sein.

Empfehlung 5:

Aus Sicht der RSK ergibt sich für Ereignisse mit Wasserverlust aus dem BELB, dass

- Einrichtungen und Maßnahmen zur ausreichend schnellen Leckisolierung vorgehalten werden sollten
- und
- eine Kernvollentladung in das BELB erst dann erfolgen sollte, wenn die resultierende Karenzzeit bis Erreichen T_3 unter Berücksichtigung des durch das Leck reduzierten Kühlmittelvolumens größer ist als die erforderliche Zeit für die Leckisolierung und Wiederaufnahme der Kühlung.

Empfehlung 6:

Im Hinblick auf (geplante oder ungeplante) Instandhaltungsmaßnahmen ergeben sich folgende zusätzliche Aspekte:

Die gemäß Empfehlung 1 und 2 vorzusehenden Vorkehrungen zur Wiederverfügbarmachung eines BLWA-Stranges innerhalb der zur Verfügung stehenden Karenzzeit müssen, wenn nur noch ein für das Bemessungserdbeben qualifizierter Beckenkühlstrang verfügbar ist, veranlasst werden und unter den Randbedingungen eines Erdbebens wirksam sein.

Empfehlung 7:

Beim SWR sollte das Setzen des Beckenschützes (damit einhergehend die Unverfügbarkeit des ZUNA-Systems für die Beckenkühlung) erst dann erfolgen, wenn bei Ansatz des Einzelfehlerkonzepts (d. h. bei einem dadurch postulierten Ausfall von TH2 und TH3) nach einem Bemessungserdbeben die Karenzzeit >10h bis zum Erreichen der Auslegungstemperatur T_3 beträgt.

5 Quellen

- [1] Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, 03. März 2015, BAnz AT 30.03.2015 B2
- [2] KTA 3303, Wärmeabfuhrsysteme für Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren ,Regeländerungsentwurf - Fassung 2014-11
- [3] KTA 2502, Mechanische Auslegung von Brennelementlagerbecken in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren, Fassung 2011-11
- [4] Interpretationen zu den „Sicherheitsanforderungen an KKW vom 22. November 2012“, Änderung der Bekanntmachung der Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, 3. März 2015
- [5] IAEA Safety Standards No. SSG-15 „Storage of Spent Nuclear Fuel“, February 2012
- [6] NEA/CSNI/R (2015) 2 “Status Report on Spent Fuel Pools under Loss-of-Cooling and Loss-of-Coolant Accident Conditions”; Nuclear Safety, May 2015
- [7] KKP 2, Sicherheitstechnische Bewertung des Ereignisses „Wasserverlust aus dem Brennelementlagerbecken (Ereignisdatum: 17.6.2010)“