

Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima

Die Stellungnahme gliedert sich insgesamt in folgende Teile:

Teil A	Einleitung.....	2
Teil B	Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima: DWR-Anlagen	4
Teil C	Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima: SWR-Anlagen	43
Teil D	Anhang Erdbeben (DWR und SWR)	77
Teil E	Anhang Ringraumüberflutung (DWR und SWR)	85
Teil F	Anhang Lastabsturz (DWR und SWR).....	92
Teil G	Anhang Robustheit der HKMP-Dichtungen (DWR).....	98
Teil H	Literatur.....	102

Teil A Einleitung

Nach dem Unfall in Fukushima hat sich die RSK mit der Robustheit des Sicherheitskonzepts der Kernkraftwerke in Deutschland befasst. Dabei ging es um die Fragen,

- ob und wie weit selbst bei höheren Belastungen und Anforderungen als für die Auslegung angenommen das Sicherheitskonzept „noch trägt“ und
- mit welchen Maßnahmen die Robustheit weiter erhöht werden kann.

Aus dieser Befassung haben sich mehrere RSK-Stellungnahmen und Empfehlungen ergeben. Aufgabe dieser RSK-Stellungnahme ist die Bewertung, wie die Empfehlungen der RSK von den Anlagenbetreibern aufgegriffen wurden und ob die vorgestellten Konzepte geeignet sind, die RSK-Empfehlungen zu erfüllen. Eine Bewertung, ob die einzelnen Empfehlungen entsprechend den vom VGB vorgestellten Konzepten anlagenspezifisch geeignet umgesetzt wurden, ist nicht Gegenstand dieser Stellungnahme.

Die Bewertung erfolgt aus praktischen Gesichtspunkten getrennt nach DWR und SWR. Da nicht alle Empfehlungen für DWR und SWR gleich gelten, wird in den nachfolgenden Abschnitten bauartspezifisch auf die Empfehlungen eingegangen. Die Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen bei den deutschen DWR-Anlagen wird im Teil B ab Seite 4 und bei den deutschen SWR-Anlagen im Teil C ab Seite 43 dargestellt.

Im Folgenden werden, getrennt nach DWR (Teil B) und SWR (Teil C), zunächst fortlaufend die Empfehlungen der RSK mit Kurzbeschreibung angegeben und durch einen Auszug aus der entsprechenden RSK-Stellungnahme bzw. RSK-Empfehlung ergänzt. Danach wird das jeweilige Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen zusammenfassend dargestellt und bewertet. Themen, die im Rahmen der Robustheitsbewertung seitens der RSK detaillierter behandelt wurden (Erdbeben, interne Überflutung, Lastabsturz, Dichtigkeit der HKMP-Dichtungen bei Ausfall der primären Wärmesenke), sind zusätzlich ausführlicher in Anhängen dargestellt.

Die im Folgenden behandelten Empfehlungen sind folgenden Dokumenten entnommen:

- 1 RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan), 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011 [1]
- 2 RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012 [2], einschließlich RSK-Stellungnahme „Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben“ aus der 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013 [6]
- 3 RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ aus der 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012 [3]

-
- 4 RSK-Stellungnahme „Konkretisierung von Anforderungen im Zusammenhang mit der 10 h-Autarkie bei zivilisatorischen Einwirkungen von außen (Notstandsfälle)“ aus der 459. RSK-Sitzung am 20.06.2013 [4]
 - 5 RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013 [5]
 - 6 RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015 [7]

Hinweise:

- Die Empfehlungen der RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima I (Japan)“ aus der 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011 [1] werden im Folgenden für DWR nicht angesprochen, da sie in der Regel durch die oben aufgelisteten RSK-Empfehlungen oder Stellungnahmen weiter konkretisiert wurden und hier in der konkretisierten Form behandelt werden, für den SWR werden sie angesprochen, soweit sie noch relevant sind. Für die Empfehlung betreffend Angriffe auf softwarebasierte Systeme war bereits in [1] festgestellt worden, dass die weitere Behandlung in einem anderen Verfahren erfolgt. Für die Empfehlung betreffend Explosionsdruckwelle wurde in [2] festgestellt, dass der noch offene Punkt nur die Überprüfung der Abstände zu potenziellen Explosionsursachen betrifft, die nicht generisch, sondern anlagenspezifisch zu erfolgen hat.
- Die Untersuchungen zur Bewertung der Robustheit betreffend Flugzeugabsturz sind noch nicht abgeschlossen und werden deshalb separat behandelt.

Bestimmte Einzelempfehlungen, die bereits von der RSK behandelt wurden, sind in [8] erläutert.

Teil B Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima: DWR-Anlagen

Im Nachfolgenden werden die Konzepte des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen in den deutschen DWR-Anlagen aus RSK-Sicht bewertet.

B.1	RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012, einschließlich RSK-Stellungnahme „Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben“ aus der 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013	5
B.1.1	<i>Systematische Analyse der Robustheit deutscher Kernkraftwerke</i>	5
B.1.2	<i>Anstreben von Robustheitslevel 1 bzw. Schutzgrad 2</i>	9
B.1.3	<i>Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben</i>	9
B.1.4	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Hochwasser</i>	13
B.1.5	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung</i>	14
B.1.6	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz</i>	18
B.1.7	<i>Erreichen der sicherheitstechnischen Zielsetzung von Notfallmaßnahmen auch bei naturbedingten EVA</i>	21
B.1.8	<i>Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen</i>	22
B.1.9	<i>Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität</i>	24
B.1.10	<i>Gefilterte Druckentlastung bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout</i>	27
B.1.11	<i>Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen</i>	28
B.1.12	<i>Kurzfristige Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG)</i>	30
B.2	RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ aus der 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012	32
B.2.1	<i>Maßnahmen zur Überprüfung und ggf. Verbesserung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf Blockaden des Kühlwasserzulaufs</i>	32
B.2.2	<i>Maßnahmen zur Stärkung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf den Eintritt von seltenen Einwirkungen von außen</i>	32
B.2.3	<i>Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke</i>	32
B.3	RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013	36
B.4	RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015	40

B.1 RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012, einschließlich RSK-Stellungnahme „Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben“ aus der 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013

B.1.1 Systematische Analyse der Robustheit deutscher Kernkraftwerke

Empfehlung der RSK, [2], Teil 1

Zur Absicherung der vitalen Sicherheitsfunktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen (EVA) oder innen (EVI) sollte eine systematische Analyse durchgeführt werden, um Potenziale zur angemessenen Anhebung der Robustheit zu identifizieren, für die ggf. ergänzende Maßnahmen konzipiert werden sollten.

Somit sind die Auslegungsreserven in den vorhandenen Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen dahingehend zu bewerten, ob und ab wann bei erhöhten (auslegungsüberschreitenden) Annahmen zu externen und internen Einwirkungen die benötigte Sicherheitsfunktion von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen gefährdet sein kann. Diese Analysen können mittels ingenieurmäßiger Bewertungen erfolgen.

Auf dieser Basis ist dann zu bewerten, ob eine Erhöhung der Robustheit möglich ist,

- entweder durch angemessene Maßnahmen zur Ertüchtigung vorhandener Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen oder*
- durch vorhandene oder zusätzliche Notfallmaßnahmen zur Absicherung vitaler Sicherheitsfunktionen bei zu erwartendem Ausfall von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen. Diese Notfallmaßnahmen dürfen ihre Funktionsfähigkeit nicht durch diejenigen Einwirkungen verlieren, die in den Analysen zum Funktionsausfall von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen geführt haben.*

Mit den auf diese Weise konzipierten Notfallmaßnahmen zur Absicherung der vitalen verfahrenstechnischen Sicherheitsfunktionen kann dann auch die Aufgabenstellung für Hilfsfunktionen abgeleitet werden und damit für geeignete Notfallmaßnahmen zur Kompensation von ggf. auftretenden Ausfällen in den sicherheitstechnischen Hilfsfunktionen (insbesondere elektrische Energieversorgung und Nebenkühlwasserversorgung).

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 12 bis 24, 62 bis 65, 67 und 76,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [14],
- Kernkraftwerk Brokdorf (KBR), Empfehlungen der RSK zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012, Stellungnahme an das Umweltministerium in Schleswig-Holstein (MELUR) vom 12.08.2013, Seiten 6 bis 8 sowie Anlage 1 [19], nachfolgend als KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 bezeichnet.

Nach der Darstellung des VGB ist zur Untersuchung der Robustheit sowie zum Ableiten robustheitserhöhender Maßnahmen wie folgt vorgegangen worden:

-
- Betrachtung des Spektrums relevanter Szenarien mit dem Potenzial für redundanten-übergreifende Ausfälle von Sicherheitseinrichtungen:
 - Auslegungsüberschreitende Einwirkungen von außen und innen (FLAB, Erdbeben, Hochwasser, Lastabsturz, Ringraumüberflutung),
 - Auslegungsüberschreitend postulierte Ausfälle von Sicherheitseinrichtungen (totaler Ausfall der Drehstromversorgung einschließlich unterstelltem langdauerndem Ausfall der externen Netze infolge Bemessungserdbeben oder Bemessungshochwasser, totaler Ausfall der primärseitigen Kühlung durch unterstellte Verstopfung der sicherheitstechnisch wichtigen Zwischenkühler).
 - Festlegung konservativer Annahmen zu den Randbedingungen bei den relevanten Szenarien
 - Ausfall der externen Stromversorgung für mindestens 10 h, bei den EVA-Fällen für sieben Tage
 - Externe Hilfe mit technischem Gerät bei den naturbedingten EVA-Fällen erst nach drei Tagen
 - Betrachtung repräsentativer Anlagenzustände (Leistungsbetrieb, Nicht-Leistungsbetrieb mit Varianten, die sich hinsichtlich der Randbedingungen für die Analyse wesentlich unterscheiden)
 - Festlegung von Zeitbereichen, die sich hinsichtlich der Möglichkeiten zur Durchführung von Handmaßnahmen oder Ersatzmaßnahmen unterscheiden (< 2 h, 2 bis 10 h, 10 bis 72 h, drei bis sieben Tage)
 - Ermittlung der „Vitalen Funktionen“, um bei derartig unterstellten Szenarien und verschiedenen Anlagenzuständen gravierende Auswirkungen auf die Umgebung zu vermeiden
 - Bewertung der Funktionsfähigkeit vorhandener Sicherheits- und Notstandseinrichtungen für die Gewährleistung der vitalen Funktionen bei diesen Szenarien
 - Soweit die Funktionsfähigkeit der vorhandenen Sicherheits- und Notstandseinrichtungen mit den auslegungsüberschreitenden Annahmen infrage gestellt ist, Ableitung ergänzender Nachweise oder Maßnahmen (bei Sicherheitseinrichtungen sowie vorhandenen oder zu ergänzenden Notfallmaßnahmen)

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung zur Robustheit sind Maßnahmen mit entsprechenden Wirksamkeitsbedingungen abgeleitet worden (VGB-Vortrag 04.11.2014 [14], Folien 22 bis 24) insbesondere:

- Mobile Dieselaggregate für SBO-Bedingungen, Aufbewahrung im Notspeisegebäude oder außerhalb, Betrieb außerhalb.
- Zusätzliche Bespeisung der DE, z. B. über zusätzliche mobile Pumpe mit Aufbewahrung im Notspeisegebäude/außerhalb, Betrieb inner-/außerhalb.
- Mobiles Dieselaggregat für den Betrieb einer Notnachkühlkette, Lagerung und Betrieb mit Einspeisepunkt zugänglich bei Bemessungshochwasser und -erdbeben.

-
- Optimierung Nachspeisung der Notspeisewasserbecken:
 - Inventarergänzung der Notspeisebecken über Anschlussstutzen am/im Notspeisegebäude mit Hilfe einer mobilen Feuerlöschpumpe, hochwassersicher vorgehalten,
 - Ansaugung zum Beispiel aus Deionatbehältern, Objektschutzgraben, Fluss, Kühlturmtasse.
 - Optimierung Dieseldauerbetrieb:
 - Erhöhte Schmiermittelvorräte für mehr als drei Tage gesichert verfügbar,
 - Prozedur zur Treibstoffschonung durch Abschaltung einzelner Notstromdiesel, Versorgung wichtiger Verbraucher ggf. über Querverbindungen,
 - Mobile Umpumpstation für Kraftstoff und vertraglich gesicherte Anlieferung und Betankung der Diesel bei EVA-Szenarien.
 - Überflutungsschutz Ringraum
 - Prozedur zur Verhinderung einer unzulässigen Überflutung durch frühzeitige Handmaßnahmen bei Wassereinbruch in mehreren Ringraumquadranten (RESA, Nebenkühlwasserpumpe abstellen),
 - Schaffen von zusätzlichen Möglichkeiten zum Abpumpen zum Beispiel mit Einrichtungen der mobilen verkürzten Kühlkette (mvKK, s. im Folgenden) oder mit Feuerwehrequipment und vorhandenen mobilen Tauchpumpen oder zum Abfließen von Wasser aus dem Ringraum.
 - Erforderlichenfalls erweiterter Hochwasserschutz, zum Beispiel hochwassersichere Anschlussmöglichkeiten an Deionat- und Heizölbehälter und entsprechende Aufstellung/Anschlüsse für mobile Feuerlösch-/Notfallpumpen sowie mobile Dieselaggregate, Temporäre Vorkehrungen, wie zum Beispiel Dammbalken an sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden.
 - Mobile verkürzte Kühlkette (nur für Anlagen ohne Zellenkühler oder ohne eine Kühlung über Brunnenwasser), Ansaugen aus gegebenenfalls noch verfügbaren zusätzlichen Wasserreservoirs, je nach Szenario zum Beispiel Objektschutzgraben oder Kühlturmtassen, mit einer mobilen Pumpe zur Durchströmung der Nachwärmekühler und der Kühlstellen der Becken- oder Nachkühlpumpen, Rücklauf ins Freie.
 - Prozedur zur Wiederaufnahme des Nachkühlbetriebs bei Mitte-Loop-Betrieb oder Abfuhr der Nachzerfallsleistung durch Verdampfen und Nachspeisen aus den Druckspeichern bzw. dem BELB (Brennelement-Lagerbecken).
 - Prozedur zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung im BELB durch Verdampfen und Nachspeisen von Kühlmittelinventar, Nachspeisung aus den Deionatbehältern, den Notspeisebecken oder dem Feuerlöschsystem, unter anderem mit mobilen Pumpen.

-
- Prozedur zur Sumpfansaugung mit einer Einspeisung ins BELB bei nicht absperbarem Kühlmittelverlust aus dem gefluteten Reaktorbecken und gezogenem Beckenschütz.
 - Zusätzliche Notfallmaßnahme zur RSB-Druckbegrenzung und damit Begrenzung der Siedetemperatur im BELB bei ca. 120 °C im Falle einer BELB-Kühlung durch Verdampfung und Bespeisen (dazu Nachweis der Integrität des BELB für eine Temperatur von mindestens 130 °C). [30]

Im Nachgang zu der bis Sommer 2013 in den Anlagen durchgeführten, oben skizzierten Robustheitsanalyse sind aufgrund danach verabschiedeter RSK-Stellungnahmen [4], [5], [7] sowie aufgrund zusätzlicher Diskussionen in Sitzungen der RSK-AG Robustheit mit dem VGB weitere robustheitserhöhende Maßnahmen abgeleitet worden. Hierzu zählen insbesondere:

- Möglichkeit einer Bespeisung des Reaktorkühlsystems über eine Notfallmaßnahme mit Nutzung des Volumenregelsystems bei unterstellter Unverfügbarkeit der sonstigen Einspeisefunktionen (nicht bei Anlagen mit Zellenkühlern) [18], s. im Folgenden Kap. B.1.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“
- Möglichkeit für eine Notfallmaßnahme unter Nutzung vorhandener Einrichtungen zum Umwälzen der Ringraumatmosfera (Vermeiden erhöhter lokaler H₂-Konzentrationen) sowie kontrolliertem Austausch der Atmosphäre (Begrenzen der H₂-Konzentration) im Falle von Kernschadenszuständen mit Eintrag von H₂ in den Ringraum [18], s. im Folgenden Kap. B.4 „RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015“
- Administrative Maßnahmen im Zusammenhang mit extremen Wetterbedingungen, s. im Folgenden Kap. B.3 „RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013“
- Robustheit bei Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb, s. im Folgenden Kap. B.1.3 „Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben“

Bewertung der RSK

Die Vorgehensweise bei der Robustheitsanalyse ist der RSK stichpunktartig vorgestellt worden. Eine detailliertere Darstellung der Vorgehensweise zur systematischen Robustheitsanalyse enthält ein für eine Anlage erstellter Bericht [19], der hinsichtlich der Vorgehensweise repräsentativ für alle DWR-Anlagen sein soll. Die Systematik zum Ableiten von ergänzenden Nachweisen und Maßnahmen entspricht den Anforderungen der RSK.

Diese Bewertung bezieht sich auf die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Robustheitsanalyse. Auf im Einzelnen daraus abgeleitete Maßnahmen wird im Folgenden eingegangen. Soweit konkret von der RSK vorgeschlagene Maßnahmen nicht umgesetzt werden sollen, wird hierauf im Folgenden ebenfalls eingegangen.

B.1.2 Anstreben von Robustheitslevel 1 bzw. Schutzgrad 2

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Die RSK hält es für angemessen, dass im Ergebnis mindestens Robustheitslevel 1 bzw. mindestens Schutzgrad 2 (zivilisatorische Einwirkungen) angestrebt wird.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

Die in der RSK-SÜ ausgewiesenen Robustheitslevel wurden vom VGB nicht zur Bewertung der Robustheit herangezogen.

Aus Sicht des VGB haben jedoch die durchgeführten Analysen ggf. mit Berücksichtigung zusätzlicher robustheitserhöhender Maßnahmen eine hohe Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Ereignissen belegt.

Bewertung der RSK

Aufgrund der systematischen Robustheitsanalyse und den daraus abgeleiteten Maßnahmen wurde im Vergleich zur SÜ 2011 eine weitere Erhöhung der Robustheit erreicht.

Auch wenn der VGB der Zuordnung zu Robustheitsleveln nicht nachgegangen ist, kommt die RSK aufgrund der vorliegenden Informationen zur Einschätzung, dass bei anlagenspezifisch sachgerechter Umsetzung der vom VGB vorgestellten Konzepte sowie bei Berücksichtigung der Hinweise der RSK in dieser Stellungnahme weitestgehend ein Niveau der Robustheit erreicht wird, das im Bereich von Robustheitslevel 1, teilweise auch darüber liegt. Auch bei den Ereignissen oder Merkmalen, zu denen in der SÜ 2011 keine Zuordnung zu Robustheitsleveln vorgenommen wurde (siehe z. B. B.3 „RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013“ und B.4 „RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015“), ist mit der Umsetzung der Konzepte eine deutliche Zunahme der Robustheit gegeben, d. h. selbst bei einem Überschreiten der Auslegungsanforderungen bestehen noch deutliche Reserven, um gravierende Auswirkungen auf die Umgebung zu verhindern.

Hinweis: Auf Schutzgrade, wie sie in [1] für zivilisatorische Einwirkungen definiert sind, wird hier nicht eingegangen, weil die entsprechenden zivilisatorischen Einwirkungen in dieser Stellungnahme nicht behandelt werden.

B.1.3 Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben

Empfehlung der RSK, [2], Teil 1, und [6]

a) Für Anlagen, für die Ergebnisse von probabilistischen seismischen Sicherheitsanalysen vorliegen, ist die Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Erdbebeneinwirkungen zu bewerten. Die Bewertung soll auf Basis der HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure) Werte der zur Gewährleistung der vitalen Sicherheitsfunktionen erforderlichen Bauwerke und Einrichtungen erfolgen.

-
- b) Für Anlagen, für die keine Ergebnisse von probabilistischen seismischen Sicherheitsanalysen vorliegen, kann der Weg gewählt werden, eine Übertragbarkeitsbetrachtung (evtl. unterstützt über eine Begehung der Anlage durch eine Expertenkommission) ausgehend von Ergebnissen gemäß a) zur Bewertung der Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Erdbebeneinwirkungen vorzunehmen.

Im Sinne der Robustheit ist eine Überlagerung kurzzeitiger, während des Nichtleistungsbetriebes anstehender Betriebszustände mit einem Erdbeben über die bisherigen Regelwerksvorgaben hinaus zu betrachten. Zur Analyse der Robustheit ist zu zeigen, dass das Bemessungsbeben bei kurzzeitig anstehenden Betriebszuständen nicht zu erheblichen Auswirkungen in der Umgebung führt.

Dabei sind insbesondere Situationen zu betrachten, in denen vitale Sicherheitsfunktionen dadurch beeinträchtigt werden können,

- dass veränderte Massenverteilungen (z. B. gefüllter Reaktorraum bei Umladung) im Reaktorgebäude zu höheren Erdbeben-bedingten Belastungen sicherheitsrelevanter Einrichtungen und Gebäudestrukturen führen als im Leistungsbetrieb.
- dass bestimmte Einrichtungen ausschließlich (z. B. Flutkompensator beim SWR) oder in einer spezifischen Betriebsweise (z. B. Brennelement-Wechselmaschine außerhalb der Parkposition) im Nichtleistungsbetrieb eingesetzt werden, für die keine spezifischen oder keine abdeckenden Auslegungsnachweise gegen Erdbeben vorliegen.
- dass Einrichtungen (z. B. Brennelement-Transportbehälter, schwere Komponenten) und Betriebsmittel (Schmieröle und Lösungsmittel), die im Nichtleistungsbetrieb in die Anlage eingebracht bzw. gehandhabt werden, Erdbeben-bedingt zu Schäden an sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen und Gebäudestrukturen führen.
- dass sicherheitsrelevante Maßnahmen und Einrichtungen bei Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb nur eingeschränkt zur Verfügung stehen (z. B. Freischaltung von Nachkühlsträngen, kurzfristige Handmaßnahmen), die für die Beherrschung der Erdbebenfolgen benötigt werden.

Für Anlagen, die sich dauerhaft im Nichtleistungsbetrieb befinden, ist der Robustheitsnachweis für länger andauernde Zustände auch bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben gemäß a) und b) (siehe oben) zu führen.

Im Hinblick auf einen PGA Mindestwert von 0,1 g für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung hat die RSK in [6] ausgeführt:

Der Nachweis der Erfüllung der IAEA-Anforderung nach eines PGA-Wertes von 0,1 g kann durch eine Nachbewertung der seismischen Widerstandsfähigkeit der betroffenen Anlagen anhand der Methoden des IAEA-Guide NS-G-2.13 erfolgen. Mittels der in NS-G-2.13 genannten Methode „Seismic Margin Assessment“ (ggfs. unter Nutzung von Daten einer vorliegenden seismischen PSA) wäre für Anlagen mit einer maximalen Bodenbeschleunigung von $< 0,1$ g aufzuzeigen, dass die Anlage auch für eine Bodenbeschleunigung von 0,1 g ausreichend widerstandsfähig ist. Dieses Vorgehen ist bereits in den Empfehlungen der RSK-

Stellungnahme zur Robustheit [2] im Grundsatz enthalten. Sollte standortspezifisch bei einer angenommenen Intensität entsprechend Robustheitslevel 1 ein PGA-Wert $< 0,1$ g ermittelt werden, empfiehlt die RSK die in der Auslegung vorhandenen Reserven für einen angenommenen PGA-Wert von $0,1$ g zu ermitteln.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013, Folien 29 bis 31 und 68 [9],
- VGB-Vortrag vom 25.06.2015, 108. AST-Sitzung [20],
- VGB-Vortrag vom 17.07.2015 [23],
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 8 bis 12,
- VGB, E-Mail Erdbeben-Robustheit, 02.10.2015 [29],
- VGB Schreiben vom 03.03.2016 [30],
- VGB, E-Mail Spreizdübel, 20.10.2015 [31].

Der VGB führte schwerpunktmäßig zu folgenden Aspekten aus (detailliert s. Anhang Erdbeben, ab Seite 77):

- Grundsätze der Erdbebenauslegung, die im Zeitraum der Errichtung der KKW mit Leistungsbetrieb bei diesen angewendet wurden,
- Maßstab zur Bewertung der Robustheit gegen Erdbeben,
- Einschätzung der Auslegungsreserven gegen Erdbebenlasten bei den laufenden Anlagen,
- Seismische probabilistische Sicherheitsanalyse (SPSA),
- Übertragbarkeit der Ergebnisse von detaillierter untersuchten Anlagen auf andere Anlagen,
- Fähigkeit von Anlagen mit einem Bemessungserdbeben und $< 0,1$ g maximale Horizontalbeschleunigung (PGA), Horizontalbeschleunigungen bis $0,1$ g abtragen zu können.

Die Betreiber kommen zu dem Ergebnis, dass bei den Anlagen im Leistungsbetrieb die Praxis der Auslegung gegen Erdbebeneinwirkungen zu erheblichen Reserven geführt habe.

Für insgesamt drei DWR-Anlagen sei eine vollständige seismische probabilistische Sicherheitsanalyse (SPSA) durchgeführt worden. Bei den beiden Anlagen mit detailliert vorgestellten Analysen habe sich eine Reserve von mindestens dem Faktor 2 bezogen auf die maximale horizontale Freifeldbeschleunigung (PGA) eines Erdbebens mit der Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$ ergeben. Dabei seien jedoch noch nicht alle tatsächlich vorhandenen Reserven ermittelt worden.

Die Ergebnisse der durchgeführten SPSAen seien hinsichtlich der festgestellten Reserve aufgrund der Ähnlichkeit der Anlagen- und Auslegungskonzepte auf die anderen DWR-Anlagen im Leistungsbetrieb übertragbar, was auch durch gezielte Einzeluntersuchungen sowie Anlagenbegehungen verifiziert worden sei.

Da ein Faktor 2 in der horizontalen Freifeldbeschleunigung (PGA) etwa einer Größenordnung in der Eintrittshäufigkeit entspricht (siehe Anhang D zu Erdbeben), könne somit davon ausgegangen werden, dass alle DWR mit Leistungsbetrieb Auslegungsreserven haben, mit denen die Beanspruchungen auch aus Erdbeben abgetragen werden, die in der Eintrittshäufigkeit mindestens eine Größenordnung niedriger liegen als bei einem Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$.

Damit ergebe sich auch, dass Anlagen, bei denen ursprünglich für die Auslegung ein PGA-Wert von 0,5 m/s² bzw. 0,7 m/s² angesetzt worden war, für einen PGA-Wert von 1,0 m/s² (entsprechend ca. 0,1 g) robust sind.

Weiterhin sei eine systematische Bewertung der Robustheit bezüglich des Ereignisses „Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb“ repräsentativ für einige DWR-Anlagen durchgeführt worden. Dazu wurden Auslegungsunterlagen im Hinblick auf spezielle Bedingungen des Nichtleistungsbetriebs/BE-Wechsels (u. a. den Lastabtrag mit veränderten Massenanordnungen) überprüft und Anlagenbegehungen durchgeführt. Schwerpunkte der Begehungen waren die Aufstellung von Komponenten/Einbauten/Hilfswerkzeugen und das daraus evtl. resultierende Gefährdungspotential bei unterstelltem Erdbeben. Unter Berücksichtigung von einigen Optimierungsmaßnahmen während Revisionen (z. B. Sicherung gegen Verrutschen) würden auch Erdbebenszenarien im Nichtleistungsbetrieb mit einer Eintrittshäufigkeit der Kombination von 10⁻⁶/a nicht zu einem Verlust von vitalen Funktionen führen. Die Ergebnisse der Bewertung sollen in allen Anlagen umgesetzt werden.

Bewertung der RSK

Die Bewertung beschränkt sich auf die Fragen, ob die von den Betreibern für alle DWR-Anlagen gemeinsam vorgestellte Vorgehensweise den Empfehlungen der RSK in [2] entspricht und die Ergebnisse der entsprechend durchgeführten Untersuchungen grundsätzlich plausibel sind. Eine Bewertung der anlagenspezifischen Umsetzung wird nicht vorgenommen. Insgesamt kommt die RSK zu folgenden Bewertungen:

- Der von den Betreibern gewählte methodische Ansatz zur Ausweisung von Reserven stimmt mit der RSK Empfehlung überein. Die von den Betreibern beschriebenen Verfahren zur Ermittlung von Reserven (mittels einer SPSA) entsprechen der international üblichen Vorgehensweise.
- Die vom VGB angegebenen Reserven liegen für Anlagen mit SPSA (vorgestellt wurden GKN II, KWG, zusätzlich SPSA vorhanden für KKP 2) hinsichtlich der PGA-Werte um etwa einen Faktor 2 oberhalb der bei der Errichtung zu Grunde gelegten Werte. Dies entspricht in etwa einer gegenüber der Bemessungseinwirkung um eine Intensitätsstufe erhöhten Einwirkung. Gleichzeitig sind nach Darstellung des VGB die bei der Errichtung angesetzten Bemessungserdbeben für alle Standorte vergleichbar mit oder höher als das nach heutigem Stand probabilistisch ermittelte Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von 10⁻⁵/a.

Nach Kenntnis der RSK liegt allerdings das aktuelle Bemessungserdbeben (unter Bezug auf eine Eintrittshäufigkeit von 10⁻⁵/a) für die Anlage KWG oberhalb der bei der Errichtung zu Grunde gelegten Werte. [41]

- Auf Basis der vorliegenden Angaben ist nach Ansicht der RSK für Anlagen mit SPSA – bis auf die Anlage KWG – die Erreichung des Robustheitslevels 1 plausibel. Vor dem Hintergrund des meldepflichtigen Ereignisses ME 16/063 „Fehlerhafte Verbindungsbolzen an Halterungen von Lüftungskanälen“ in KKP-2 im Dezember 2016 findet in der RSK allerdings aktuell noch eine generische Beratung zur Belastbarkeit der SPSA Ergebnisse statt.
- Bei den Anlagen, für die keine seismische PSA erstellt wurden, sind aus Sicht der RSK die vom VGB vorgestellten Elemente der Übertragbarkeitsbetrachtung geeignet, die Umsetzung der entsprechenden

RSK Empfehlung zu erfüllen. Die Übertragbarkeit wurde abgesichert durch gezielte Einzelbetrachtungen und anlagenspezifische Begehungen mit Augenmerk auf jenen Komponenten, die auf Basis der Erfahrungen mit den durchgeführten SPSA die geringsten Erdbebenkapazitäten aufweisen (wie elektrotechnische Komponenten, Dieselperipherie, Leittechnikschränke). Da die Eintrittshäufigkeiten der jeweils für diese Anlagen angesetzten Bemessungserdbeben durchweg bei $\leq 10^{-5}/a$ liegen, ergibt sich für diese Anlagen ebenfalls eine Reserve von einem Faktor 2 gegenüber einem Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von $10^{-5}/a$.

- Für drei der noch im Leistungsbetrieb befindlichen DWR-Anlagen waren bei der ursprünglichen Auslegung PGA-Werte von $0,5 \text{ m/s}^2$ bzw. $0,7 \text{ m/s}^2$ (etwa $0,05 \text{ g}$ bzw. $0,07 \text{ g}$) angesetzt worden. Eine SPSA für die Anlage KWG mit $0,5 \text{ m/s}^2$ ergab eine Lastabtragsfähigkeit bei den relevanten Funktionen für mindestens 1 m/s^2 (ca. $0,1 \text{ g}$). Die vom VGB vorgebrachten grundsätzlichen Überlegungen für eine Übertragbarkeit dieses Ergebnisses auf andere DWR-Anlagen im Leistungsbetrieb mit einem Bemessungs-PGA Wert $< 0,1 \text{ g}$ sind aus Sicht der RSK nachvollziehbar.
- Der methodische Ansatz zur Bewertung der Robustheit von DWR Anlagen gegen Erdbebeneinwirkungen im Nichtleistungsbetrieb und während kurzer Betriebszustände ist nach Auffassung der RSK ebenfalls geeignet, die Umsetzung der entsprechenden RSK Empfehlung zu erfüllen. Voraussetzung ist, dass die zur Bewertung erforderlichen Begehungen anlagenspezifisch durchgeführt sind und sichergestellt ist, dass die daraus gezogenen Folgerungen in allen weiteren NLB-Zuständen eingehalten werden.

B.1.4 Konkretisierung der Empfehlung zu Hochwasser

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Sofern ein Pegelstand, bei dem eine Gefährdung vitaler Sicherheitsfunktionen zu besorgen ist, nicht aufgrund der standortspezifischen Gegebenheiten ausgeschlossen werden kann, sind die Kriterien aus der Sicherheitsüberprüfung [1] für mindestens Level 1 heranzuziehen. Alternativ kann standortspezifisch begründet dargelegt werden, dass eine postulierte Abflussmenge, die durch Extrapolation vorhandener probabilistischer Kurven auf eine Eintrittshäufigkeit von $10^{-5}/a$ ermittelt wird, nicht zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen führt. Für Tidestandorte gilt eine analoge Vorgehensweise. Die hierbei angewandte Methodik ist nachvollziehbar darzulegen.

Die Auftriebssicherheit von Kanälen und Gebäuden ist dabei zu berücksichtigen.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013, Folie 32 [9],
- VGB-Vortrag vom 31.05.2012, 80. AST-Sitzung,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seite 13 f.
- VGB-Schreiben vom 02.05.2016 [37]
- VGB-Mail vom 10.06.2016 [38]

Bei der Überprüfung der Hochwasseranalysen für die Anlagen wurde nach Angaben des VGB von den Aufsichtsbehörden bestätigt, dass die der Anlagenauslegung zugrunde liegenden Hochwasseranalysen auch nach

aktuellem Kenntnisstand abdeckend sind. Die realisierten „Schutzhöhen“ der Anlagen liegen demnach deutlich oberhalb des heute anzusetzenden Bemessungshochwassers mit einer Eintrittshäufigkeit von $10^{-4}/a$.

Zur Bewertung der Auslegungsreserven beim postulierten Überschreiten des Wasserpegels auf dem Anlagen-
gelände bei Bemessungshochwasser wurden weitere Daten zusammengestellt [42], aufgrund derer der stand-
ortspezifische Einfluss auf die Zunahme des Pegels eingeschätzt werden kann. Danach ergibt sich für

- vier Anlagen, dass der Abstand in der Pegelhöhe zwischen dem hundertjährigen bzw. dem tausend-
jährigen Hochwasser und dem Bemessungshochwasser ($10^{-4}/a$) kleiner oder zumindest nicht größer
ist als zwischen dem Bemessungshochwasser und der Schutzhöhe der Einrichtungen für die vitalen
Funktionen,
- zwei weitere Anlage, dass aufgrund von Abflussmöglichkeiten ins Umland der Pegel kaum weiter stei-
gen kann und damit weit unter der Schutzhöhe für die vitalen Funktionen bleibt bzw. das Anlagenge-
lände nicht überfluten kann,

Damit sind durch die Schutzhöhe der Einrichtungen für die vitalen Funktionen Wasserstände abgedeckt, die
bei Extrapolation des Bemessungshochwasser-Pegels auf eine Eintrittshäufigkeit von $10^{-5}/a$ zu erwarten wä-
ren.

Bewertung der RSK

Aus den Angaben der Betreiber ergibt sich folgender Sachverhalt:

- Für alle Anlagen liegt eine Ermittlung des Bemessungshochwassers (Häufigkeit ca. $10^{-4}/a$) aus den
letzten zehn Jahren vor.
- Für die noch in Betrieb befindlichen DWR-Anlagen kann aus den vorhandenen Daten das Δ im Pegel
zwischen dem Bemessungshochwasser und dem 100- bzw. 1.000-jährlichen Hochwasser bestimmt
werden oder es kann begründet werden, warum der Bemessungshochwasser-Pegel auch bei noch ge-
ringerer Eintrittshäufigkeit nicht wesentlich zunehmen kann.
- Dieses Δ ist bei allen Anlagen nicht größer als der Unterschied zwischen dem Bemessungshochwasser-
Pegel und der für die vitalen Funktionen relevanten Schutzhöhe, d. h. damit wäre auch ein Hochwasser
mit einer Extrapolation auf eine Eintrittshäufigkeit von $10^{-5}/a$ abgedeckt.

Bei standortspezifischer Bestätigung der Betreiberangaben sind die von der RSK genannten Kriterien für
Robustheitslevel 1 erfüllt.

B.1.5 Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Es sollten folgende Sachverhalte dargestellt bzw. geklärt werden:

-
- *Darstellung der bei einer Überflutungshöhe von 2 m auf der unteren Ringraumbene ausfallenden sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen. Hierbei ist insbesondere zu prüfen, welche Auswirkungen sich durch die Überflutung von Messumformern und weiteren elektrischen und leittechnischen Einrichtungen im Ringraum auf die Nachwärmeabfuhr und die Borierung des Primärkühlmittels ergeben können. Hierbei ist darzustellen, ob Maßnahmen behindert, verhindert oder fehlerhaft ausgelöst werden können.*
 - *Unter Berücksichtigung dieses Punktes ist darzustellen, welche Maßnahmen je nach Betriebsphase im Einzelnen gesichert zur Verfügung stehen, um unter den Randbedingungen einer auslegungsüberschreitenden Überflutung des Ringraums bis zu einer Fluthöhe von 2 m einen unzulässig langen Ausfall vitaler Sicherheitsfunktionen zu vermeiden. Insbesondere ist darzustellen, mit welchen Maßnahmen*
 - *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen ausgehend vom Leistungsbetrieb kurzfristig die sekundärseitige Wärmeabfuhr sowie darüber hinaus ein Abfahren in den kalten drucklosen, unterkritischen Zustand gewährleistet sind und welche Einrichtungen hierfür kreditiert werden müssen und zur Verfügung stehen.*
 - *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen sowohl im Leistungsbetrieb als auch im Nichtleistungsbetrieb im erforderlichen Zeitrahmen die Kühlung des Brennelement-Beckens sichergestellt werden kann.*
 - *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen im Nichtleistungsbetrieb mit abgesenktem Füllstand in den Hauptkühlmittelleitungen kurzfristig und mittelfristig eine Ergänzung des verdampften Inventars erreicht werden kann (dabei ist z. B. zu belegen, dass die Druckspeicher-Einspeisung gesichert verfügbar ist und aktiviert werden kann).*

Ferner ist aufzuzeigen, wie in Betriebsphasen mit geflutetem Reaktorbecken Szenarien mit Wasserverlusten in den Ringraum aus dem verbundenen System (RDB – Reaktorraum – Brennelement-Lagerbecken) unter allen Betriebsbedingungen der Brennelement-Beckenkühl- und Beckenreinigungssysteme (incl. Lecks verursacht durch Fehlhandlungen oder Fehlanregungen von RS-Schutzsignalen) verhindert und bei Versagen der dafür ggf. vorgesehenen Vorsorgemaßnahmen beherrscht werden.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 20,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [13], Folien 5 bis 11,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 14 bis 18,
- mündliche Erläuterungen, 2. Sitzung der RSK-AG Robustheit am 04.06.2014,
- VGB-Vortrag vom 19.05.2015 [18], Folien 5 bis 10
- mündliche Erläuterungen, 5. Sitzung der RSK-AG Robustheit am 19.05.2015 [26],
- VGB, E-Mail HD-Förderpumpen, 24.11.2014 [32].
- VGB, mündliche Erläuterungen, 10. Sitzung der RSK-AG Robustheit am 02.02.2016 [35]

Nach Ansicht des VGB ist aufgrund der vorhandenen und noch verbesserten Vorsorgemaßnahmen gegen einen Wassereintrag in den Ringraum sowie der Gegenmaßnahmen bei einem unterstellten Wassereintrag eine auslegungsüberschreitende Überflutung mit übergreifendem Ausfall von Sicherheitseinrichtungen im Ringraum nicht zu unterstellen. Für das Postulat der RSK hinsichtlich einer solchen auslegungsüberschreitenden Überflutung wird vom VGB allenfalls ein Potenzial gesehen bei Anlagen mit Nebenkühlwasseransaugung aus einem Fluss, aber nicht bei Anlagen mit Zellenkühlern, d. h. mit geschlossenem Nebenkühlwasserkreislauf, da dort wegen des begrenzten Inventars eine auslegungsüberschreitende Ringraumüberflutung als ausgeschlossen angesehen wird.

Vom VGB wurde deshalb ein generisches Konzept für die Beherrschung der Auswirkungen einer postulierten auslegungsüberschreitenden Überflutung im Ringraum nur für Anlagen mit Nebenkühlwasseransaugung aus einem Fluss entwickelt. Die entsprechenden Anlagen haben auf Basis dieses generischen Konzepts bewertet, ob und wie weit dieses Konzept anlagenspezifisch umgesetzt werden soll (Bewertungsvorgang noch nicht bei allen Anlagen abgeschlossen).

Zu dem generischen Konzept wurden folgende Aspekte vorgetragen (detaillierter s. Anhang Ringraumüberflutung (DWR und SWR) ab Seite 85):

- Nach BHB sind bei stärkerem Wasseranstieg mit nicht eingrenzbarer Ursache frühzeitig RESA sowie das schnelle sekundärseitige Abfahren auszulösen und die Nebenkühlwasserpumpe des betroffenen Quadranten abzustellen.
- Anlagenspezifisch soll geprüft werden, ob zur Gewinnung von Karenzzeit eine Öffnung des Ringraums zum Hilfsanlagegebäude hin sinnvoll sein kann.
- Es wurde eine Analyse der Ausfälle von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen einschließlich der Messumformer (MU) bei einer unterstellten Überflutungshöhe von 2 m auf der unteren Ringraumebene vorgenommen. Abhängig von der Verarbeitung der Messwerte in der Logik werden die zugehörigen Reaktorschutzaktionen bei Überflutung der MU entweder ausgelöst oder blockiert (z. B. Blockieren der FD-Abgabe).
- Die Gegenmaßnahmen sind von der Betriebsphase, in der sich die Anlage befindet, abhängig. (In jedem Fall werden zunächst Maßnahmen ergriffen, um den Kühlwassereintrag zu beenden):
 - Im Leistungsbetrieb soll zunächst RESA ausgelöst und das Abfahren der Gesamtanlage eingeleitet werden, um die Zeit bis zum Eintreten von Ausfällen zu nutzen (z. B. auch Einspeisen von borierterem Kühlmittel mit dem Zusatzboriersystem, solange dies noch verfügbar ist). Wesentlich ist dann zunächst insbesondere die Absicherung/Wiederherstellung der Wärmeabfuhr über die Sekundärseite, wozu bereits bestehende Maßnahmen zur Druckabsenkung auf der Sekundärseite der DE ergriffen werden, insbesondere Rücksetzen des Absperrsignals für die Abblasestationen und Öffnen von Abblaseregelventilen per Ansteuerung von der Warte (innerhalb weniger Minuten durchführbar). Die durch Ausfall von MU ggf. ausgelöste Einspeisung mit dem Notspeisesystem wird durch Eingriff in das Reaktorschutzsystem beendet, um eine Überspeisung der DE zu verhindern.

Längerfristig sind zum Abfahren ein weiteres Aufborieren des Primärkreises und eine Kompensation der Volumenkontraktion erforderlich, wozu zunächst die Zusatzborierpumpen und anschließend die Pumpen des Volumenregelsystems nach Herstellung einer Kühlung über Notfallmaßnahmen genutzt werden können, da diese aufgrund ihrer räumlich hohen Anordnung nicht überflutet werden und nur die Kühlung über das Zwischenkühlsystem durch eine Notfallmaßnahme ersetzt werden muss. Mit dieser Notfallmaßnahme kann erforderlichenfalls auch gegen hohen Druck im Reaktorkühlsystem eingespeist werden (detaillierter s. Anhang Ringraumüberflutung (DWR und SWR) ab Seite 85, zur Notfallmaßnahme zur Nutzung einer Pumpe des Volumenregelsystems s. Kap. B.1.9 „Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität“).

Das BE-Lagerbecken kann durch eine Bespeisung aus Bereichen außerhalb des Ringraums in Kombination mit einer Ableitung des verdampfenden Kühlmittels aus dem RSB und damit Begrenzung der Siedetemperatur im BE-Lagerbecken bei ca. 120 °C gekühlt werden (zur Notfallmaßnahme zur Wassereinspeisung s. Kap. B.1.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“).

- Im Nicht-Leistungsbetrieb bestehen bei geflutetem Reaktorbecken große Karenzzeiten bis Maßnahmen zur Kühlung der Brennelemente im Reaktordruckbehälter notwendig sind ($>> 10$ h). Die kürzesten Karenzzeiten ergeben sich im Falle des Mitte-Loop-Betriebs. Durch Einspeisung von mindestens vier Druckspeichern ist jedoch eine Wärmeabfuhr für längere Zeit über Verdampfung möglich (verfügbare Karenzzeit > 10 h), anschließend muss eine Kühlmiteinspeisung über das Volumenregelsystem erfolgen.
- Für den Zustand „Alle Brennelemente im BE-Lagerbecken und Dichtschütz gesetzt“ können die „Verdampfungskühlung“ und die betriebliche Deionateinspeisung zur Ergänzung von Kühlmittelinventar im BE-Lagerbecken genutzt werden (dafür werden keine aktiven Komponenten im Ringraum benötigt).

Es ist zwar zu erwarten, dass bei dem unterstellten Szenario die Überflutung von Verbrauchern im Ringraum, die an Notstromschienen (D1) angeschlossen sind, zu Kurzschlüssen führt, was jedoch durch die selektive gestaffelte Abschaltung dieser Verbraucher von der Notstromschiene beherrscht würde, ohne dass die Notstromschienen spannungslos werden [34]. Wenn wegen eines zusätzlich unterstellten Fehlers ein Trennschalter nicht öffnen sollte und es damit zur Abschaltung einer Notstromschiene käme, kann der Trennschalter mit Fehler lokalisiert und von Hand geöffnet werden. Anschließend kann die Notstromschiene innerhalb der Karenzzeit wieder angekuppelt werden (Volumenregelsystem-Pumpen werden erst nach mehreren Stunden benötigt).

Bewertung der RSK

Das von den Betreibern für Anlagen mit Ansaugen des Nebenkühlwassers aus einem Fluss dargestellte generische Konzept für Maßnahmen und Strategien zur Beherrschung auslegungsüberschreitender Überflutungen des Ringraums ist nach Auffassung der RSK geeignet, die entsprechenden RSK Empfehlungen zu erfüllen, sofern folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

-
- Da eine auslegungüberschreitende Ringraumüberflutungen mit Ausfall von Messumformern zu komplexen Anlagenzuständen führen kann, so dass kurzfristig Eingriffe in das Reaktorschutzsystem sowie Ersatzinformationen anstelle ausgefallener Messungen erforderlich werden können, sollte in den Anlagen ein NHB-Kapitel mit der Darstellung des zu erwartenden Systemverhaltens und den notwendigen Maßnahmen zur Beherrschung derartiger Szenarien implementiert sein.
 - Anlagenspezifisch sollte die Umsetzbarkeit der vorgesehenen Maßnahmen innerhalb der Karenzzeit verifiziert sein.

Bei sachgerechter Umsetzung dieses Konzepts betrachtet die RSK die Empfehlungen als erfüllt an.

Nach Auffassung der RSK sind Szenarien mit der Folge einer auslegungüberschreitenden Ringraumüberflutung auch in Anlagen mit Zellenkühlern nicht mit hinreichender Gewissheit auszuschließen. Die von den Betreibern vorgestellten Notfallmaßnahmen sollten deshalb auch in diesen Anlagen vorgesehen werden.

B.1.6 Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Es wird empfohlen:

- *die Auswirkungen des Absturzes eines Brennelement-Transportbehälters in das Brennelement-Lagerbecken im Hinblick auf einen Verlust an Beckenwasser zu analysieren. Die Überspeisbarkeit von auftretendem Verlust an Beckenwasser ist zu überprüfen, ggf. sind spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen.*
- *Ebenso sind die Auswirkungen des Absturzes von Lasten in den RDB oder auf die im Nichtleistungsbetrieb vorhandene Verbindung von RDB und BE-Lagerbecken zu analysieren. Ggf. sind abhängig von den Folgewirkungen spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen.*
- *Bezüglich der Handhabung von Lasten im Umfeld von sicherheitstechnisch erforderlichen Einrichtungen ist zu analysieren, ob sich nach einem postulierten Absturz einer Last unzulässige Rückwirkungen auf die Druckführende Umschließung ergeben oder redundanzübergreifende Schäden resultieren, die zu „cliff-edge“ Bedingungen in der Anlage führen können.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 20,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [13], Folien 12 bis 25,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 19 bis 25.

Ziel der Betrachtungen des VGB-AK „Nachweisverfahren“ (VGB-AK „NWV“) war es, zu zeigen, dass ein Absturz schwerer Lasten auszuschließen ist oder die Folgen eines unterstellten Absturzes nicht zum Ausfall

vitaler Sicherheitsfunktionen führen (detaillierter s. Teil F Anhang Lastabsturz (DWR und SWR) ab Seite 92).

Hinsichtlich der vitalen Sicherheitsfunktionen geht es im Wesentlichen darum, das Schutzziel Kühlung der Brennelemente sicherzustellen, da eine erhebliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen nur bei einem Schmelzen von Kernbrennstoff in größerem Umfang möglich wäre. Ein derartiger Ausfall der Kühlung ist praktisch nur vorstellbar infolge des unterstellten Absturzes von Lasten, die aufgrund ihres Gewichts nur mit dem Reaktorgebäudekran-Haupthub bewegt werden (ca. 30 bis 40 Betriebsstunden im Jahr).

Das Konzept des VGB-AK „NWV“ beruht darauf,

- einerseits die Eintrittshäufigkeit für Lastabstürze zu minimieren, die einen größeren Kühlungsausfall verursachen könnten, und
- andererseits Maßnahmen vorzusehen, mit denen eine beeinträchtigte Kühlung im erforderlichen Umfang wieder hergestellt werden kann.

Vorsorge gegen Absturz

Für Hebezeuge und Anschlagsmittel, die dem heutigen Stand der kerntechnischen Regeln KTA 3902, 3903 und 3905 entsprechen, wird die Versagenhäufigkeit für Hebezeuge nach Abschnitt 4.3 von KTA 3902 auf $< 10^{-6}/a$ eingeschätzt (Dokumentationsunterlage zur Regeländerung KTA 3902, 21. KTA-Sitzung, S. D-6).

Da im Übrigen nicht jeder unterstellte Absturz zu einer Gefährdung von vitalen Funktionen führt, kann davon ausgegangen werden, dass ein Lastabsturz mit Potenzial für die Beeinträchtigung von vitalen Funktionen eine Eintrittshäufigkeit hat, die mindestens eine Größenordnung niedriger liegt als der oben genannte Wert.

Handhabung von BE-Transportbehältern

BE-Transportbehälter (TB) werden planmäßig im Reaktorgebäude nur während des Leistungsbetriebs bewegt (Betondecke über der Reaktorgrube geschlossen). Wegen Auslegung und WKP des Gebäudekrans wurde ein Behälterabsturz bisher ausgeschlossen. Ein Überfahren kritischer Bereiche wird durch technische Maßnahmen und administrative Vorgaben (Fahrbereichsverriegelungen des Gebäudekrans bei angeschlagenem TB und Überwachung des Vorgangs) verhindert.

Bei den Bewegungen des TB am Kranhaken in geringer Höhe über dem Beckenflur ist bei einem postulierten Absturz davon auszugehen, dass die massiven Stahlbetonstrukturen des Beckenflurs die Stoßlasten aufnehmen können. Für den unterstellten Absturz des Transportbehälters beim Absenken in das Transportbehälterbecken liegen zwar keine Nachweise vor, die zeigen, dass die resultierende Stoßlast vom Boden des Transportbehälterbeckens ohne erhebliche Rissbildung abgetragen wird. Für das eigentliche BE-Lagerbecken ist jedoch aufgrund der massiven Stahlbetonstrukturen zwischen BE-Lagerbecken und dem Transportbehälterbecken (Schwelle vorhanden), die sich auf eine darunter angeordnete Querwand abstützen, nicht damit zu rechnen, dass im BE-Lagerbecken Risse mit Leckagen auftreten könnten, die für die Kühlung nicht über-
speisbar wären (s. unten).

Ein Versagen des Hebezeugs genau in dem kurzen Zeitraum, in dem der TB so über der Öffnung des Transportbehälterbeckens hängt, dass er beim Fallen auf dem Rand des Transportbehälterbeckens aufsetzen und dann in Richtung BE-Lagerbecken kippen würde, wird probabilistisch ausgeschlossen.

Handhabung des RDB-Deckels und des oberen Kerngerüsts

Die Betrachtung des RDB-Deckels ist hinsichtlich mechanischer Einwirkungen auf den Flanschbereich des RDB abdeckend. Wird unterstellt, dass das Hebezeug versagt, ist beim Auftreffen des Deckels auf den Flanschbereich des RDB mit einer Stoßbelastung zu rechnen, die zu plastischen Verformungen in der Aufhängung und damit zu einer gewissen Absenkung des RDB führt (Ringträger und Tragpratzen). Eine Abschätzung der Deutschen Risikostudie, Phase B (DRS-B, Teil F, Anhang Lastabsturz), hat jedoch gezeigt, dass ein Abreißen oder Versagen der anschließenden Hauptkühlmittelleitungen nicht zu erwarten ist. Bei unterstellten Schäden in den anschließenden HKML würde der Füllstand im RDB bis zur Unterkante der HKML abfallen. Aufgrund der deutlich tieferen Lage des Reaktorkerns und des entsprechend Wasserinventars im RDB verbleibt jedoch ausreichend Zeit (ca. 1 h), bis das Kühlmittel im RDB ergänzt werden muss, um ein Abfallen des Füllstands bis in den zu kühlenden Bereich des Reaktorkerns zu vermeiden. Zur Kühlmittelergänzung bei einem derartigen Szenario wurden in der Betriebsdokumentation Maßnahmen ergänzt für die Einspeisung mit bereitgehaltenen Druckspeichern und Nachkühlpumpen.

Handhabung sonstiger Lasten

Sonstige im Reaktorgebäude mit Hebezeugen bewegte Lasten sind hinsichtlich ihres Gewichts durch die vorstehend diskutierten Fälle abgedeckt. In den Gebäudebereichen, in denen diese Lasten bewegt werden, ist durch die räumliche Trennung von sicherheitstechnischen Einrichtungen sichergestellt, dass selbst bei unterstellten Folgeschäden maximal eine Redundanz von sicherheitstechnischen Einrichtungen betroffen wäre.

Möglichkeiten zur Kühlung

Zur Einspeisung von boriiertem Kühlmittel in das BE-Lagerbecken oder in den RDB stehen mehrere diversifizierte Möglichkeiten zur Verfügung. Nach Einspeisen der Inventare des Nachkühlsystems können die Nachkühl-/ Beckenkühlpumpen auf Sumpfbetrieb umgeschaltet werden und damit die Wärmeabfuhr auf Dauer sicherstellen.

Bewertung der RSK

Auch wenn nach Auffassung der Betreiber ein Absturz schwerer Lasten nicht angenommen werden muss, wurde die Möglichkeit eines Absturzes schwerer Lasten und dabei ggf. auftretender Auswirkungen untersucht. Für die unterstellten Szenarien zeigen die Angaben der Betreiber, dass – ggf. unter Berücksichtigung von Notfallmaßnahmen – die Folgen so begrenzt bleiben, dass gravierende Auswirkungen auf die Umgebung nicht zu unterstellen sind. Ein Absturz des BE-Transportbehälters ins BE-Lagerbecken wird von den Betreibern dabei ausgeschlossen, da ein Fahren über das BE-Lagerbecken durch Verriegelungen und administrative Vorgaben verhindert werde und eine Kombination von einem dennoch angenommenen Fehlfahren mit einem gleichzeitigen Versagen des Hebezeugs nicht zu unterstellen sei.

Aus Sicht der RSK kann jedoch der Absturz des BE-Transportbehälters ins BE-Lagerbecken mit Blick auf das Verhindern von Cliff-Edge-Effekten noch nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden, da neben technischen auch administrative Vorsorgemaßnahmen erforderlich sind. Die RSK empfiehlt daher weiterhin, die Auswirkungen des Falls eines BE-Transportbehälters in das Brennelement-Lagerbecken im Hinblick auf einen Verlust an Beckenwasser zu analysieren. Die Überspeisbarkeit von auftretendem Verlust an Beckenwasser ist zu überprüfen, ggf. sind spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen. Alternativ ist detaillierter darzulegen, durch welche Maßnahmen ein Fallen oder Kippen eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken so sicher verhindert wird, dass es bzgl. Cliff-Edge-Effekten ausgeschlossen werden kann.

Zu den weiteren Analysen der Betreiber kommt die RSK zu den folgenden Bewertungen:

- Ein Absturz in das Transportbehälterbecken wurde für sehr unwahrscheinlich eingestuft, aber dennoch unterstellt. Zu den Auswirkungen wurde aufgrund ingenieurmäßiger Betrachtungen gefolgert, dass selbst bei Schäden am Transportbehälterbecken ggf. als Folge am BE-Lagerbecken auftretende Leckagen überspeisbar bleiben. Die RSK stimmt dieser Einschätzung zu.
- Für einen unterstellten Absturz des RDB-Deckels auf den RDB hatten bereits Untersuchungen im Rahmen der Deutschen Risikostudie (DRS) gezeigt, dass an der DfU dadurch keine nichtüberspeisbaren Leckagen entstehen würden. In der DRS (Hauptband, S. 468ff) wurden für die Abschätzung bestimmte Randbedingungen in den Abläufen angenommen; bei evtl. heute praktizierten Abweichungen von diesen Abläufen ist anlagenspezifisch zu bewerten, ob die für die Einspeisung von Kühlmittel in den RDB hinreichende Integrität der Hauptkühlmittelleitungen dennoch nicht infrage gestellt ist.

- Für andere, nicht ausgeschlossene Lastabsturzereignisse wurde kein Potenzial für unzulässige Schäden an der DfU oder für redundantenübergreifende Auswirkungen identifiziert. Dem folgt die RSK.

Hinweis: Das Thema „Transportbehälter am Haken des Gebäudekrans bei Erdbeben“ wird in Kap. B.1.3 „Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben“ bzw. im zugehörigen Teil D Anhang Erdbeben (DWR und SWR) behandelt.

B.1.7 Erreichen der sicherheitstechnischen Zielsetzung von Notfallmaßnahmen auch bei naturbedingten EVA

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Die sicherheitstechnische Zielsetzung der Notfallmaßnahmen soll auch bei bzw. nach naturbedingten Bemessungseinwirkungen von außen (EVA) erreicht werden. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte bei/nach diesen EVA zu berücksichtigen:

- *ggf. anzunehmende Einschränkungen der Zugänglichkeit des Kraftwerksgeländes und von Kraftwerksgebäuden,*
- *die Funktionsfähigkeit der Notfallmaßnahmen und*
- *die Verfügbarkeit der Ausweichstelle.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 35,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 25 bis 27.

Grundsätzlich ist die Zugänglichkeit der Anlage auch unter EVA-Bedingungen über den Katastrophenschutzplan der Behörden geregelt und kann mit den technischen Möglichkeiten des Katastrophenschutzes und des Kerntechnischen Hilfszuges sichergestellt werden.

Im Zuge der Robustheitsanalyse wurde gezeigt, dass allein mit dem auf der Anlage vorhandenen Personal und den robust gelagerten Notfalleinrichtungen und Betriebsmitteln, auch unter Annahme von Beeinträchtigungen der Zugänglichkeit infolge Bemessungs-EVA, die vitalen Sicherheitsfunktionen aufrechterhalten werden können (bzgl. der dafür erforderlichen Stromversorgung siehe auch Abschnitt B.1.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“).

Eine gleichzeitige Unverfügbarkeit der Ausweichstellen bei das Kraftwerk beeinträchtigenden Bemessungsereignissen ist aufgrund der räumlichen Trennung nicht zu unterstellen (Ausweichstellen mehrere Kilometer vom Anlagengelände entfernt und nach DIN gegen Erdbeben ausgelegt).

Bewertung der RSK

Auf Basis der Darlegungen des VGB kommt die RSK zu dem Ergebnis, dass die sicherheitstechnische Zielsetzung der Notfallmaßnahmen auch bei bzw. nach naturbedingten Bemessungseinwirkungen von außen (EVA) erreicht wird. Im Hinblick auf die Verfügbarkeit der Ausweichstelle verweist die RSK auf die erforderliche sachgerechte Umsetzung der RSK/SSK-Rahmenempfehlungen zum Notfallschutz.

B.1.8 Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

- a) Es ist zu zeigen, dass die für die vitalen Sicherheitsfunktionen benötigte Drehstromversorgung selbst dann gegeben ist, wenn bis zu einer Woche keine Netzanbindung verfügbar ist.*
- b) Bei einem unterstellten Station Blackout sollen die erforderlichen vitalen Sicherheitsfunktionen erhalten bleiben oder rechtzeitig vor Erreichen von „cliff-edge“ Effekten wiederhergestellt werden können. Dies umfasst:*
 - *Die für die vitalen Sicherheitsfunktionen benötigte Gleichstromversorgung soll selbst dann gegeben sein, wenn bis zu 10 h eine Drehstromversorgung nicht verfügbar ist. Ein autarkes Ladeaggregat zum Wiederaufladen von relevanten Batterien, welches EVA-geschützt vorgehalten ist, kann kreditiert werden, wenn die Karenzzeiten für Anschluss und Nutzung eines solchen Ladeaggregats sicher ausreichen.*

-
- *Des Weiteren ist zu zeigen, dass eine Drehstromversorgung im Rahmen einer anlagenspezifisch ermittelten Karenzzeit mit Ersatzaggregaten wiederhergestellt werden kann. Hierzu zählen aus Sicht der RSK:*
 - *EVA-geschützte Anordnung von standardisierten Einspeisepunkten außerhalb der Gebäude zur Versorgung der für den Erhalt der vitalen Sicherheitsfunktionen notwendigen Systeme. Durch eine entsprechende Ausführung der Einspeisepunkte soll gewährleistet werden, dass die dafür erforderlichen Notstromschienen bzw. die Notspeisenotstromschienen versorgt werden können, ohne den Schutzzustand der entsprechenden Gebäude (z. B. Lüftungsabschluss und Hochwasserschutz) gegenüber den betreffenden EVA zu beeinträchtigen. Die Einspeisepunkte sind rückwirkungsfrei auszuführen.*
 - *mindestens ein EVA-geschützter mobiler Notstromgenerator mit einer Leistung für eine Nachkühlredundanz.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [98], Folien 44 bis 49,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 27 bis– 29,
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Sicherheitsfunktionen bei auslegungüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen. [21]

Die Betreiber haben ausgeführt, dass mit den jeweils vierfach redundanten D1- und D2-Dieselmotoren bereits eine sehr zuverlässige Absicherung für den Fall einer Unverfügbarkeit aller externen Netzanbindungen gegeben ist. Ihre Robustheitsanalysen haben ergeben, dass mit weiteren Einrichtungen nicht mehr nennenswert zur Risikoversorgung beigetragen werden kann. Ungeachtet dessen wurden mobile Dieselaggregate mit Anschlusspunkten am Notspeisegebäude installiert.

Dabei wurden folgende Maßnahmen und Einrichtungen realisiert:

- Für Unverfügbarkeit der Netzanbindung bis zu einer Woche: Verlängerung der Diesellaufzeit auf bis zu sieben Tage unter Nutzung gesicherter Kraftstoffvorräte (Dieselvorratsbehälter auf dem Anlagengelände oder bei deren Unverfügbarkeit durch Abschaltung nicht benötigter Diesel und Umpumpen von Treibstoff). Hinweis: Von der möglichen Staffelung des Betriebs von D1- und D2-Dieseln wurde hierbei noch kein Kredit genommen.
- Erhalten der vitalen Sicherheitsfunktionen bei einem postulierten totalen Ausfall der Drehstromversorgung: Implementierung mobiler Dieselaggregate und, soweit noch nicht vorhanden, einer zusätzlichen Feuerlösch-/Notfallpumpe mit folgenden Aufgaben:
 - Ein mobiles Dieselaggregat (je nach Ausführung ca. 200 bis 650 kW), innerhalb oder außerhalb des Notspeisegebäudes gelagert, zur Versorgung der leittechnischen Einrichtungen im Notspeisegebäude, das innerhalb von 1 bis 2 h angeschlossen werden kann.

-
- Ein weiteres mobiles Dieselaggregat, räumlich getrennt vom ersten mobilen Dieselaggregat gelagert, für den Anschluss an eine D2-Schiene.
 - Möglichkeit der Versorgung einer Not-Nachkühlkette innerhalb von weniger als 10 h.
 - Eine zusätzliche Feuerlösch-/Notfallpumpe zur DE-Bespeisung (geschützt innerhalb oder außerhalb des Notspeisegebäudes, abhängig von der Anlagenkonfiguration).

Bewertung der RSK

Bei sachgerechter Umsetzung des vom VGB vorgesehene Konzepts ist die Empfehlung der RSK zur Absicherung der vitalen Funktionen bei unterstellter Unverfügbarkeit des Netzes bis zu einer Woche sowie bei unterstelltem SBO erfüllt.

B.1.9 Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- *EVA-geschütztes Vorhalten mobiler Pumpen und von sonstigem Einspeiseequipment (Schläuche, Anschlussstücke, Kupplungen etc.) sowie von Bor mit einer Vorgabe von Karenzzeiten für die Bereitstellung einschließlich Antransport.*
- *Gewährleistung einer auch nach EVA verfügbaren Wasserentnahmestelle.*
- *Wassereinspeisemöglichkeiten in den Dampferzeuger, das Reaktorkühlsystem und ggf. die Kondensationskammer sowie den Reaktorsicherheitsbehälter (hierbei auch unter Berücksichtigung höherer Gegendrucke), ohne dass ein Betreten von Bereichen mit hohem Gefährdungspotential (Dosisleistung, Trümmerlast) erforderlich ist und um örtliche Zerstörungen kompensieren zu können (z. B. durch festverlegte und räumlich getrennte Einspeisewege).*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 36 und 44,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [13], Folie 49,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seiten 29 bis 32.

Das VGB-Konzept umfasst folgende Maßnahmen:

-
- EVA-geschützte Lagerung (räumliche Trennung durch Abstand zu Reaktorgebäude und Notspeisegebäude, hochwassersicherer Aufstellungsort, sicher gegen Trümmerlasten bei Erdbeben) einer Feuerlösch-/Notfallpumpe zur Bespeisung eines Dampferzeugers oder des BE-Lagerbeckens (s. hierzu auch Abschnitt B.1.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“).
 - Nach EVA verfügbare Wasserentnahmestelle, s. im Folgenden Abschnitt B.2.3 „Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke“.
 - Wassereinspeisung bei DWR:
 - In die Dampferzeuger über eine zusätzliche Feuerlösch-/Notfallpumpe mit autarkem Antrieb und Anschluss in oder am Notspeisegebäude,
 - In das Reaktorkühlsystem über das Volumenregelsystem mit separater Kühlung der Pumpen (diese Maßnahme ist für Anlagen vorgesehen, bei denen der Ausfall anderer Einspeisemöglichkeiten durch eine postulierte Ringraumüberflutung nicht ausgeschlossen werden kann, s. Kap. B.1.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“).

Der VGB führte bezüglich einer zusätzlichen Einspeisemöglichkeit in das RKS aus, dass mit dem Anlagenkonzept der DWR 1300 bereits vielfältige Möglichkeiten zur Einspeisung von boriiertem Kühlmittel ins RKS über

- das Volumenregelsystem,
 - das Not- und Nachkühlsystem mit HD- und ND-Einspeisepumpen,
 - das Zusatzboriersystem,
 - die Notnachkühlpumpen (ggf. versorgt über die mobilen Dieselaggregate)
- bestehen.

Ein gemeinsam verursachter Ausfall aller Einspeisemöglichkeiten ist aus Sicht des VGB nicht zu unterstellen:

- Im Falle eines unterstellten vollständigen Ausfalls der Drehstromversorgung (d. h. im Vergleich zu SBO im Ausland weitergehendes Postulat) kann innerhalb der Karenzzeit, bis eine Einspeisung von boriiertem Kühlmittel erforderlich ist, über mobile Dieselaggregate die Versorgung einer D2-Schiene hergestellt werden (s. Kap. B.1.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“), so dass eine Einspeisung mit dem Zusatzboriersystem oder den Notnachkühlpumpen möglich ist. Alternativ kann über den 3. Netzanschluss die Versorgung einer D1-Schiene hergestellt werden, mit Einspeisung über das HD-Einspeisesystem oder das Volumenregelsystem.
- Eine auslegungsüberschreitenden Ringraumüberflutung wird durch Vorsorgemaßnahmen gegen Überflutungen sowie Gegenmaßnahmen bei Wassereinträgen in den Ringraum verhindert. Wenn trotz der gegebenen Vorkehrungen das Postulat einer auslegungsüberschreitenden Ringraumüberflutung bei Anlagen mit Nebenkühlwasseransaugung aus einem Fluss angesetzt wird, ergäbe sich daraus zwar ein gleichzeitiger Ausfall aller Einspeisemöglichkeiten. In diesem Fall kann jedoch die Einspeisung über das Volumenregelsystem wieder verfügbar gemacht werden (s. Kap. B.1.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“).

Über diese beiden Fälle hinaus lassen sich aus der systematischen Robustheitsanalyse aus Sicht des VGB keine zusätzlichen Erkenntnisse bezüglich einer zusätzlichen primärseitigen Einspeisung ableiten.

Bewertung der RSK

Das Konzept für die Aufstellung und den Anschluss einer zusätzlichen Feuerlösch-/Notfallpumpe mit autarkem Antrieb und der zusätzlichen Wasserentnahmestelle (s. Abschnitt B.2.3 „Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke“) sowie mit zusätzlichen Maßnahmen zur Bespeisung eines Dampferzeugers bzw. des BE-Lagerbeckens (s. Abschnitt B.1.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“) entspricht der Empfehlung der RSK.

Hinsichtlich einer zusätzlichen Einspeisung in das Reaktorkühlsystem ist Folgendes festzustellen:

- Die Einspeisemöglichkeiten in das Reaktorkühlsystem bei den DWR-Anlagen umfassen drei Systeme mit insgesamt 17 Pumpen, wobei hinsichtlich der Pumpentypen, der Einspeisewege, der genutzten Kühlmittel-/Borwasservorräte sowie der elektrischen Energieversorgung Redundanz und Diversität realisiert sind.
- Die Empfehlung zur Überprüfung der Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität im Reaktorkern hatte sich zum einen aus der Diskussion zum vollständigen Ausfall der Drehstromversorgung sowie zur Ringraumüberflutung und zum anderen szenarienunabhängig aus der Forderung nach zusätzlichen Einspeisemöglichkeiten von Wasser über das im Reaktorgebäude vorhandene Wasservolumen hinaus ergeben.
- Bei einem unterstellten vollständigen Ausfall der Drehstromversorgung kann über mobile Dieselaggregate eine D2-Schiene (für den Betrieb des Zusatzboriersystems bzw. der Notnachkühlpumpen) oder über den 3. Netzanschluss eine D1-Schiene der Notstromversorgung (für den Betrieb des Sicherheits-einspeisesystems) in der gegebenen Karenzzeit wieder versorgt werden. Damit kann die Einspeisung von boriertem Kühlmittel in den Primärkreis auch bei höheren Gegendrücken vorgenommen werden.
- Bei einer unterstellten, auslegungsüberschreitenden Ringraumüberflutung ist eine gleichzeitige Unverfügbarkeit aller Einspeisemöglichkeiten zu erwarten, da alle Pumpen bis auf die des Volumenregelsystems auf der untersten Ebene angeordnet sind. Die Kühlung der Pumpen des Volumenregelsystems ist aber abhängig von der Funktion der auf der untersten Ebene angeordneten Zwischenkühlpumpen. Mit der im VGB-Konzept vorgesehenen Notfallmaßnahme zur Kühlung der Pumpen des Volumenregelsystems ist ein Einspeisebetrieb dieser Pumpen selbst bei einem Ausfall des Zwischenkühlsystems möglich.
- Weitere Szenarien über SBO und Ringraumüberflutung hinaus, die zur gleichzeitigen Unverfügbarkeit der diversitären Einspeisemöglichkeiten führen könnten, wurden nicht identifiziert.

-
- Sofern vorgesehen wird, die HD-Pumpen des Volumenregelsystems für die Notfallmaßnahme zur Einspeisung in den Primärkreis zu nutzen, sieht die RSK dies als verträglich mit ihrer Empfehlung an, wenn folgende Randbedingungen gegeben sind:
 - Kühlung der Kühlstellen der HD-Pumpe auch bei Unverfügbarkeit des Komponentenkühlsystems (Realisierung muss möglich sein, wenn der untere Bereich des Ringraums nicht begehbar ist),
 - Stromversorgung für den Betrieb der HD-Pumpe auch bei Unverfügbarkeit der Eigenbedarfsversorgung und der D1-Diesel (z. B. über 3. Netzanschluss oder Notfalldiesel),
 - Möglichkeit zur Einspeisung von Wasser und Bor aus Bereichen außerhalb des Reaktorgebäudes,
 - Berücksichtigung von Maßnahmen in den Notfallprozeduren, um erforderliche Verriegelungen aufzuheben, die eine Einspeisung über die HD-Pumpe verhindern würden,
 - Realisierbarkeit der Notfallmaßnahme innerhalb weniger Stunden.

Insgesamt sind mit den im VGB-Konzept vorgesehenen Maßnahmen bei sachgerechter Umsetzung und bei Einhaltung der im Hinblick auf die Nutzung der HD-Einspeisepumpen des Volumenregelsystems genannten Randbedingungen die Empfehlungen der RSK erfüllt. Allerdings ist die RSK mit Blick auf eine grundsätzliche, zusätzliche Einspeisemöglichkeit von Wasser über das im Reaktorgebäude vorhandene Wasservolumen hinaus der Auffassung, dass die beschriebenen Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung einer primärseitigen Einspeisung in allen DWR-Anlagen mit Berechtigung zum Leistungsbetrieb realisiert werden sollten (auch bei Anlagen mit Zellenkühlern).

Eine separate Einspeisung in den Sicherheitsbehälter wurde mit Blick auf Notfallmaßnahmen zur evtl. Außenkühlung des RDB bei SWR diskutiert. Für die hier betrachteten DWR wird eine solche Notfallmaßnahme als nicht aussichtsreich eingestuft. Vielmehr wird beim DWR das Problem einer verstärkten Wasser-Schmelze-Wechselwirkung in Szenarien mit gravierenden Kernschäden und Versagen des RDB gesehen.

Soweit beim DWR eine Einspeisung in den RDB auch bei Kernschmelzszenarien hergestellt werden kann, ist auf diesem Weg ggf. auch eine Wasserüberdeckung der Schmelze außerhalb des RDB möglich. Eine zusätzliche Einspeisemöglichkeit in den Sicherheitsbehälter ist dann durch die Empfehlung nicht gefordert.

B.1.10 Gefilterte Druckentlastung bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Die Einrichtungen zur gefilterten Druckentlastung sind so abzusichern, dass die Druckentlastung auch bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout wiederholt durchgeführt werden kann.

Zudem ist die Wirksamkeit der Einrichtungen zum Wasserstoffabbau im Sicherheitsbehälter entsprechend abzusichern.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 33 und 44,

Die dem Design und der Auslegung zugrunde liegenden Unterlagen der Nass- und Trockensysteme wurden hinsichtlich Bemessungserdbeben bewertet. Die Ergebnisse zur Erdbebenfestigkeit wurden bis 12/2014 den Landesbehörden vorgestellt.

Eine Druckentlastung ist in allen Anlagen auch bei unterstelltem Station Blackout wiederholt durchführbar. In einigen Anlagen ist zur Vermeidung detonabler Gemische in der Abluftstrecke die Nutzung mobiler Lüftungsaggregate vorgesehen.

Zur Bildung zündfähiger Wasserstoff-Luft-Gemische im Entlastungspfad während einer gefilterten Druckentlastung haben die Betreiber im Rahmen des VGB-Betreiberkreises Studien für die in Einsatz befindlichen Nass- und Trockensysteme durchgeführt. (s. hierzu Abschnitt B.4 „RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015“)

Bewertung der RSK

Mit einem Nachweis, dass die Funktionsfähigkeit der für eine Druckentlastung erforderlichen Einrichtungen durch ein Bemessungserdbeben nicht infrage gestellt ist, und der Möglichkeit, die Stromversorgung im erforderlichen Umfang wiederherzustellen, wird die Empfehlung der RSK erfüllt.

Zum dritten Aspekt s. Abschnitt B.4 „RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015“.

B.1.11 Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen im Rahmen des Notfallschutzkonzepts unter Beachtung folgender Aspekte:

- *Wassereinspeisemöglichkeiten in das Brennelement-Nasslager, ohne dass ein Betreten von Bereichen mit hohem Gefährdungspotential (Dosisleistung, Trümmerlast) erforderlich ist und um örtliche Zerstörungen kompensieren zu können (z. B. durch festverlegte und räumlich getrennte Einspeisewege).*
- *Zur Absicherung der Verdampfungskühlung: Nachführung der Nachweise für Brennelement-Lagerbecken, Flutraum, Absetzbecken, Flutkompensator auf Siedetemperatur.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 50 bis 52 und 67,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [13], Folien 50 bis 54,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seite 33.
- VGB Schreiben vom 03.03.2016 [30]

Das Konzept des VGB verfolgt das Ziel, die BE-Kühlung auch unter auslegungsüberschreitenden Ausfallannahmen so abzusichern, dass ein Auftreten gravierender BE-Schäden einschließlich H₂-Bildung ausgeschlossen werden kann. Wesentliche Bestandteile des Konzepts sind:

- Zusätzliche Vorkehrungen zur Kühlmittelergänzung im BE-Lagerbecken
 - durch Sumpfbetrieb bei Wasserverlust aus BE-/Reaktorbecken,
 - bei unterstelltem vollständigen Ausfall der Beckenkühlsysteme durch Einspeisung z. B. aus Deionatbehältern oder Notspeisebecken oder Feuerlöschsystem u. a. mit mobilen Pumpen, ohne dass ein Betreten des RSB erforderlich ist (Anschluss im Ringraum an festinstallierte Leitungen, die zum BE-Lagerbecken führen).
- Abfuhr der Nachzerfallsleistung im BE-Lagerbecken durch Dampfabgabe in den RSB und Nachspeisen.

Die erforderliche Einspeiserate zur Kompensation der Verdampfung beträgt je nach Beckenbelegung und Abklingzeit bis zu 7 kg/s. Die Karenzzeit für eine Einspeisung, um ein Absinken des Wasserspiegels in den Bereich der aktiven Zone der BE zu verhindern, beträgt ca. 2 d oder mehr.
- Absicherung der Integrität des BE-Lagerbeckens (Auskleidung) durch RSB-Druckentlastung – anlagenabhängig über strömungstechnisch geeignete Pfade aus dem Containment (z. B. über die Kompressorleitung) – zur Begrenzung der Beckenwassertemperatur auf ca. 120 °C und dazu Begrenzung des RSB-Überdrucks auf ca. 1 bar (anlagenspezifische Untersuchungen zur Integrität der Beckenstruktur für Temperaturen für mindestens 130 °C), [30].

Da bei mit Wasser bedeckten BE keine BE-Schäden auftreten, kann die Druckentlastung grundsätzlich ungefiltert vorgenommen werden.

Bewertung der RSK

Bei Umsetzung des beschriebenen Konzepts und aufgrund der großen Karenzzeiten, bis nach einem unterstellten Ausfall der Beckenkühlung eine Einspeisung in das BE-Lagerbecken wiederhergestellt werden muss, sowie aufgrund der vergleichsweise einfachen Maßnahmen für die Einspeisung in das BE-Lagerbecken ist ein Kühlungsausfall mit der Folge gravierender BE-Schäden aus Sicht der RSK praktisch ausgeschlossen. Deshalb ist bei einer Ableitung des verdampften Kühlmittels aus dem Reaktorsicherheitsbehälter über die Kompressorleitung eine Filterung zur Reduzierung der Aktivitätsabgabe in dieser Situation nicht erforderlich.

In Szenarien mit Kernschäden steht dieser Pfad zur Druckentlastung nicht zur Verfügung. In diesem Fall ist die gefilterte Druckentlastung nutzbar. Ein Verlust der Integrität von Stahlbetonstrukturen und damit des

Brennelement-Lagerbeckens ist bei den sich dann einstellenden Temperaturen nicht zu unterstellen. Eventuelle entstehende Leckagen aus der Auskleidung sind überspeisbar.

Nach Auffassung der RSK entspricht das vom VGB dargestellte Konzept bei sachgerechter Umsetzung den Empfehlungen der RSK.

B.1.12 Kurzfristige Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG)

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Weiterhin sieht die RSK es als erforderlich an, dass die Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG) kurzfristig erfolgt.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 38, 44, 56 bis 58,
- VGB-Vortrag vom 19.05.2015 [18], Folien 29 bis 57,
- KBR-MELUR-Schreiben vom 12.08.2013 [19], Seite 34.

Die anlagenspezifischen Handbücher mitigativer Notfallmaßnahmen (HMN) sind fertiggestellt. Aufbau und Inhalt des HMN wurden bereits im Rahmen von Informationsveranstaltungen der Landesbehörden und der AG SAMG des RSK-AST vorgestellt. Erste Personalschulungen und interne Notfallübungen wurden durchgeführt.

Zwei Fachgespräche zu den verbliebenen Diskussionspunkten die von GRS aufgeworfen wurden, fanden im Rahmen der AG SAMG des RSK-AST Ende September/Anfang Oktober 2014 statt. In allen Anlagen ist das Handbuch für mitigative Notfallmaßnahmen (HMN) bis Ende 2014 eingeführt worden. Die Übergänge ins HMN sind in den entsprechenden Betriebsunterlagen der Anlagen geregelt.

Im Rahmen der weiteren Diskussion aufgetretene Detailfragen (ausreichende Verfügbarkeit von Informationen/Instrumentierung zur Einleitung und Durchführung von Maßnahmenblöcken im HMN, Vorgehen bei Aktivitätsfreisetzungen auf dem Standort) wurden in weiteren Gesprächen geklärt.

Zur Robustheit der Instrumentierung wurde vom VGB ausgeführt [18], [26], dass die Qualifikation der Instrumentierung nach KTA 3502 die KMV-Festigkeit der Messstellen garantiert. Eine systematische Analyse hat nach Ansicht des VGB gezeigt, dass die Messstellen im Sicherheitsbehälter (SHB) bis zum Versagen des RDB sicher funktionieren, da erwartete Drücke, Temperaturen, Strahlenbelastung und Feuchtigkeit, über die Qualifikation als KMV-fest, abgedeckt sind. Der VGB führt aus, dass durch die Qualifikation der genutzten Messstellen bei den zu erwartenden Belastungen mindestens der Kernschadenzustand C (Kernschmelze außerhalb RDB, RDB defekt) erkannt und ein sukzessiver Ausfall von Messstellen nach Eintritt in den KSZ C bei den Unfallanalysen berücksichtigt wird.

Zur Robustheit der Stromversorgung der HMN-relevanten Messstellen wurde vom VGB erläutert [18], [26], dass für den Krisenstab Hilfsmittel existieren, in denen die Gewinnung von Ersatzwerten für einige der lediglich durch das D1-Netz versorgten Messstellen aufgezeigt wird. Dies ist laut VGB für alle D1-versorgten Messwerte möglich und rechtfertigt aus Sicht des VGB damit keine generelle Ertüchtigung der Messstellen zu einer D2-Versorgung. Für einige Messstellen wird seitens VGB argumentiert, dass diese für die Unfallbeherrschung von untergeordneter Bedeutung sind. Zusammenfassend kam der VGB zu dem Ergebnis, dass auch bei Unverfügbarkeit der D1-versorgten Messwerte eine geeignete Strategie gewählt wird, um die Unfallfolgen inklusive Freisetzung zu minimieren.

Bewertung der RSK

Die Einführung der SAMG/des Handbuches mitigativer Notfallmaßnahmen (HMN) in den Anlagen ist erfolgt. Fachgespräche unter Beteiligung der GRS haben gezeigt, dass zur Struktur des HMN keine generischen Fragen offen sind. Aus dem Erfahrungsrückfluss, z. B. bei Notfallübungen, anfallende Hinweise auf Optimierungen von Darstellungstiefe und -umfang können erforderlichenfalls betriebsbegleitend umgesetzt werden.

Die RSK weist ergänzend auf folgende Punkte hin, die die Betreiber in der weiteren Optimierung berücksichtigen sollten:

- Aus Sicht der RSK ist die Verfügbarkeit der Instrumentierung der für das HMN relevanten Parameter von besonderer Bedeutung. Anlagenspezifisch sollte im Detail nachvollzogen werden, inwieweit für die im HMN referenzierten Messstellen eine Verfügbarkeit unter der Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen der unterschiedlichen Szenarien und Kernschadenzustände gegeben ist.
- Die RSK kommt unter Würdigung der Aussagen des VGB [18], [26] zu dem Ergebnis, dass es vor dem Hintergrund der bereits auslegungsseitig sehr robusten Stromversorgung durch das D2-Netz sowie der von den Betreibern ergriffen zusätzlichen robustheitserhöhenden Maßnahmen im Bereich der D2-Versorgung (vgl. hierzu auch B.1.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“) anzustreben ist, dass die im HMN kreditierten Messstellen vom D2-Netz versorgt werden. Dort wo dies nicht erfolgt, sollten geeignete Vorgaben für die Gewinnung von gleichwertigen Alternativmesswerten im HMN verankert sein.
- Die Auswirkungen der im HMN behandelten Kernschadenzustände auf die Nutzbarkeit der Infrastruktur sollten im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung systematisch analysiert werden. Die Auswirkungen von darin festgestellten Unverfügbarkeiten sollten in der Darstellung im HMN Berücksichtigung finden.

B.2 RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ aus der 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012

B.2.1 Maßnahmen zur Überprüfung und ggf. Verbesserung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf Blockaden des Kühlwasserzulaufs

Empfehlung der RSK [3]

Die RSK hält es für erforderlich, dass unter Berücksichtigung der in Fukushima und in anderen Anlagen gewonnenen Betriebserfahrungen eine Nachbewertung der Primären und soweit vorhanden der Diversitären Wärmesenke standortspezifisch erfolgt.

Bewertung der RSK

Hier handelt es sich um anlagenspezifische Aspekte im Bereich der Auslegung, die hier nicht weiter betrachtet wurden.

B.2.2 Maßnahmen zur Stärkung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf den Eintritt von seltenen Einwirkungen von außen

Empfehlung der RSK [3]

Die RSK empfiehlt zu überprüfen, ob bei den Annahmen für Hochwasserereignisse auch die im Bereich der Kühlwasserentnahme zu erwartenden dynamischen Überhöhungen einer anlaufenden Flutwelle berücksichtigt wurden.

Im Zusammenhang mit der Nachbewertung des Hochwasserschutzes sowie der Auslegung gegen Erdbeben und andere sehr seltene Ereignisse wie Flugzeugabsturz sowie deren Folgewirkungen in der Umgebung der Anlage ist zu überprüfen, ob alle aus solchen Ereignissen ggf. resultierenden Ausfallursachen bei der Auslegung der Primären Wärmesenke im erforderlichen Umfang berücksichtigt wurden.

Bewertung der RSK

Hier handelt es sich um anlagenspezifische Aspekte im Bereich der Auslegung, die hier nicht weiter betrachtet wurden.

B.2.3 Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke

Empfehlung der RSK

Die Nachwärmeabfuhr aus der Anlage und den Brennelementlagerbecken muss in allen Betriebszuständen auch bei Ausfall der Primären Wärmesenke aufgrund von Ausfallursachen im Bereich der Kühlwasserentnahmen und Kühlwasserrückführungen durch eine Diversitäre Wärmesenke sichergestellt werden können (ggf. auch verschiedene Wärmesenken in Kombination). Die hierfür benötigten Einrichtungen müssen mindestens den Anforderungen an Notfallmaßnahmen genügen und deren Wirksamkeit ist nachzuweisen.

Der Nachweis sollte unter folgenden Bedingungen erfolgen. Es ist zu zeigen,

- *dass ein Ausfall der Primären Wärmesenke und der davon gekühlten Notstromdiesel in Verbindung mit dem gleichzeitigen Verlust der Netzversorgung beherrscht wird. Dabei sind alle relevanten Betriebszustände sowie die Kühlung der Brennelementlagerbecken zu betrachten.*
- *dass für mindestens 72 Stunden, die erforderlichen technischen Einrichtungen sowie Hilfs- und Betriebsstoffe auf der Anlage vorhanden und wirksam einsetzbar sind. Die Durchführbarkeit der Maßnahmen ist unter den ereignisbedingten Gegebenheiten nachzuweisen.*
- *dass die Schutzziele bis zur Wiederherstellung der Netzeinspeisung (auch Drittnetzeinspeisung), mindestens für 7 Tage eingehalten werden können. Nach Ablauf von 72 Stunden können vorbereitete und zuverlässig verfügbare externe Hilfsmaßnahmen bei der Nachweisführung kreditiert werden.*
- *dass Maßnahmen generell nur dann kreditiert werden, wenn die notwendige Energieversorgung und die Versorgung mit den erforderlichen Hilfs- und Betriebsstoffen nachweislich sichergestellt ist. Ferner sind die beim Ausfall der Primären Wärmesenke herrschenden Randbedingungen (z. B. der Ausfall von Raum- und Komponentenkühlung, insbesondere die Kühlung der Hauptkühlmittelpumpendichtungen in DWR-Anlagen bzw. der Dichtungen der Zwangsumwälzpumpen von SWR-Anlagen) zu berücksichtigen.*

Die RSK empfiehlt – sofern nicht bereits vorhanden – die Nachrüstung einer Notfallmaßnahme mit der Kühlwasser in das Nukleare Zwischenkühlwassersystem eingespeist und wieder abgeführt werden kann. Die Versorgung kann durch mobile Einrichtungen erfolgen. Die Einspeisemengen müssen ausreichen für die Abfuhr der Nachzerfallsleistung aus Reaktor und Brennelementlagerbecken sowie der Verlustwärme der für einen solchen Kühlbetrieb erforderlichen Komponenten.

Die RSK empfiehlt, dass bei den Anlagen, die aufgrund der redundanzübergreifenden Zusammenführung der Kühlwasserrückläufe ein entsprechendes GVA-Potential aufweisen, entsprechende Notfallmaßnahmen zur Sicherstellung des Kühlwasserrücklaufes vorgesehen werden.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 44, 53 bis 55,
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014 [13], Folien 36 bis 54,
- weitere Information im Rahmen des VGB-Vortrags vom 19.05.2015 [18], Folien 4 bis 10.

Nach Darstellung des VGB sind für diejenigen Anlagen, die bereits eine hinreichend diversitäre Nebenkühlwasserversorgung haben (für nicht diversitäre Komponenten Maßnahmen zur Verhinderung einer Verstopfung), keine zusätzlichen Maßnahmen vorgesehen, da für diese Anlagen bereits im Rahmen der RSK-SÜ eine hohe Robustheit nachgewiesen wurde.

Bei diesen Anlagen gibt es zwei Varianten:

-
- gesichertes Nebenkühlwasser (viersträngig) über Zellenkühler, alternativ Notnachkühlketten (zwei-strängig) aus Vorfluter,
 - gesichertes Nebenkühlwasser (viersträngig) über Vorfluter, alternativ Notnachkühlketten (zweist-rängig) mit Brunnenwasser.

Bei diesen Anlagen waren keine Mechanismen für redundanzübergreifende Verstopfung von Wärmetau-schern aus theoretischen Überlegungen oder Auswertungen von Betriebserfahrungen ableitbar.

Für die weiteren Anlagen im Leistungsbetrieb umfasst das vom VGB vorgestellte Konzept zum Vermeiden gravierender Auswirkungen bei einem unterstellten Ausfall der primären Wärmesenke folgende Haupte-lemente:

- a) Einrichtungen und Maßnahmen für eine zusätzliche mobile verkürzte Kühlkette (mvKK) bei Anlagen, die keine weitgehend diversitäre Nebenkühlwasserversorgung, wie z. B. Zellenkühler und Notneben-kühlwasser aus Vorfluter oder Brunnenwasser zum Abführen der Nachzerfallsleistung, besitzen.
- b) Überprüfung, dass ein Versagen der Hauptkühlmittelpumpen-Dichtungspartien bei einem Kühlungs-ausfall und damit eine vergrößerte Leckage nicht zu besorgen sind, die einen Betrieb des Notkühlsys-tems erforderlich machen würden.
- c) Notfallmaßnahmen für zusätzliche Einspeisemöglichkeiten ins Reaktorkühlsystem (RKS) und ins BE-Lagerbecken sowie zur BEB-Verdampfungskühlung.

Zu a)

Mit der mobilen verkürzten Kühlkette soll aus einem diversitären Wasserreservoir außerhalb des Reaktorge-bäudes Wasser über einen Stutzen in die Vorlaufleitung von Strang 10 oder 40 des Zwischenkühlsystems so eingespeist werden, dass der nukleare Nachkühler sowie der Kühler der Notnachkühlpumpe bzw. Becken-kühlpumpe mit Kühlwasser versorgt werden. Für den Rücklauf wird auf der Saugseite der Zwischenkühl-pumpe ein Rohrleitungsstück ausgebaut und durch ein Einbaustück ersetzt, so dass von dort das erwärmte Wasser über eine Schlauchleitung nach außerhalb des Reaktorgebäudes ablaufen kann. Die Ablaufleitung wird über eine Fluchttür nach außen geführt. (Je nach landesspezifischen Anforderungen wird die verbleiben-de Öffnung mit einem Blecheinsatz verschlossen oder nicht.) Die erforderlichen Komponenten (mobile Pum-pe mit autarkem Antrieb, Krümmer, Schlauchabschnitte mit DN 200) werden teils im Reaktorgebäude in der Nähe der Fluchttür, teils außerhalb des Reaktorgebäudes gegen naturbedingte EVA geschützt gelagert.

Die Pumpen und Schläuche der mobilen verkürzten Kühlkette werden unter Berücksichtigung der Entfernung zum diversitären Wasserreservoir so dimensioniert, dass der Kühlwasserdurchsatz ausreicht, um den Bedarf ab ca. 10 h nach Abschaltung aus Leistungsbetrieb zu decken.

Zu b)

Die Ausführung der Dichtungspartien der HKMP ist in den Anlagen je nach Pumpenhersteller und eventuell nach Baujahr unterschiedlich (s. detaillierter Anhang Robustheit der HKMP-Dichtungen ab Seite 98). Für beide Pumpentypen (KSB, Andritz) haben detaillierte Untersuchungen gezeigt, dass nach dem heutigen Aus-

führungsstand der Dichtungspartien auch bei den Szenarien „*Ausfall der primären Wärmesenke im Leistungsbetrieb* und *Station Blackout (SBO)*“ keine Temperaturverläufe auftreten, bei denen es zu einem Versagen der Dichtungen mit der Folge einer erhöhten Leckagemenge käme. Bei den KSB-Pumpen kann es dafür erforderlich sein, nach 1 bis 2 h entweder offengebliebene HD-Leckageleitungen zu schließen oder das Abfahren der Anlage zu beginnen. Entsprechende Vorgaben sind in den Betriebsunterlagen vorgesehen. Bei den Andritz-Pumpen sind nach den vorliegenden Aussagen innerhalb von 2 d keine Maßnahmen zum Vermeiden zu hoher Temperaturen an den Dichtungen erforderlich.

Zu c)

Darstellung und Bewertung s. Abschnitte B.1.7 „Erreichen der sicherheitstechnischen Zielsetzung von Notfallmaßnahmen auch bei naturbedingten EVA“, B.1.9 „Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität“ und B.1.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“.

Bewertung der RSK

In der Anlagenspezifischen Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan) vom Mai 2011 hatte die RSK festgestellt, dass für drei Anlagen bis auf gemeinsam genutzte Kühler diversitäre Wärmesenken gegeben sind. Aus diesem Grund wurde diesen Anlagen hinsichtlich des Aspekts „Ausfall der Nebenkühlwasserversorgung“ der Robustheitslevel 2 zugeordnet.

Aus Sicht der RSK gilt diese Einschätzung unverändert. Damit sind aus der obigen Empfehlung für diese Anlagen keine weiteren Maßnahmen abzuleiten, sofern eine anlagenspezifische Bewertung ergeben hat, dass generell und insbesondere im Zusammenhang mit dem Ereigniseintritt *Ausfall der primären Wärmesenke* kein Potenzial zur Verstopfung von Zwischenkühlern besteht sowie kein redundanzübergreifendes Verblocken des Kühlwasserrücklaufs möglich ist (ggf. wegen getroffener Gegenmaßnahmen).

Für die beiden Anlagen mit Zellenkühlern für das gesicherte Nebenkühlwassersystem ist kein relevantes Potential für eine redundanzübergreifende Verstopfung von Zwischenkühlern erkennbar. Bei der Anlage, bei der erforderlichenfalls die Kühlwasserversorgung durch Brunnenwasser sichergestellt werden soll, ist durch spezifische Analyse zu zeigen, dass ein relevantes Verstopfungspotential für den Zwischenkühler nicht besteht. Weiterhin ist bei dieser Anlage zu zeigen, dass eine Verblockung des Kühlwasserrücklaufs durch entsprechende Maßnahmen vermieden oder behoben werden kann.

Für diese Anlagen ist dann die im vorletzten Absatz der RSK-Empfehlung angesprochene Nachrüstung einer Notfallmaßnahme mit Einspeisung von Kühlwasser in das Nukleare Zwischenkühlwassersystem nicht erforderlich.

Für alle anderen Anlagen wurde ein Konzept für eine Notfallmaßnahme mit verkürzter Kühlkette vorgestellt. Wenn das Konzept wie beschrieben sachgerecht umgesetzt wird und die Wirksamkeit der Maßnahmen (ins-

besondere erforderliche Einspeiseraten, Wärmeabfuhrleistung und ganzjährige, langfristige Verfügbarkeit) anlagenspezifisch bestätigt ist, wird die Empfehlung der RSK erfüllt.

Nach dem vorgestellten Konzept für die verkürzte Nachkühlkette ist diese sowohl bei Ausfallursachen im Bereich der Nebenkühlwasserentnahme als auch der Nebenkühlwasserrückführung wirksam.

Die in der Empfehlung angesprochenen einzuhaltenden Bedingungen für Nachweise (Vorhaltung von elektrischer Versorgung sowie Betriebs- und Hilfsstoffen) müssen dabei für die kreditierte diversitäre Wärmesenke berücksichtigt werden.

B.3 RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013

Empfehlung der RSK [5]

Die RSK hat in ihrer 457. Sitzung am 11.04.2013 die Empfehlung ausgesprochen, „dass internationalen Entwicklungen (ENSREG, RHWG/WENRA) folgend Nachweise im Auslegungsbereich für die Beherrschung von Wetterbedingungen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von $10^{-4}/a$ geführt werden sollen. Sofern sich Einwirkungen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, sollte mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung sowie eine hohe Robustheit ausgewiesen werden.“ Ergänzend wurde angeregt, im Sinne der Robustheit über diese Einwirkungen hinausgehende Einwirkungen mit ingenieurmäßigen Abschätzungen zur Ermittlung von Sicherheitsreserven zu berücksichtigen. [5]

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [16],
- VGB-Vortrag vom 17.07.2015 [17],
- VGB-Schreiben vom 24.08.2015 [27]
- VGB-Schreiben vom 03.03.2016 [30].

Nach Aussage des VGB kann bei allen der im Folgenden diskutierten Einwirkungen für die Beherrschung davon Kredit genommen werden, dass die jeweilige Anlage hinreichend schnell abgeschaltet und somit der Bedarf an Kühlwasser auf die für die vitalen Funktionen benötigte Menge reduziert werden kann.

A1 – Eisregen, Eissturm, Schneesturm

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Schnee- oder Eisablagerungen vitale Funktionen beeinträchtigt werden können (z. B. Zufuhr von Verbrennungsluft für Diesel, Zirkulation von Kühlwasser). Es sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- Räumlich getrennte und zur Windrichtung unterschiedlich orientierte Luft-Ansaugöffnungen, teilweise Schutz durch naheliegende Bauwerke,
- Kühlwassereinrichtungen außerhalb der Gebäude in frostsicherer Tiefe im Erdreich angeordnet,

-
- messtechnische Überwachung und elektrische Beheizung kritischer Stellen in Zellenkühlern,
 - Möglichkeiten zum Bypass-Betrieb zum Vermeiden zu tiefer Temperaturen in Zellenkühlern,
 - Anweisungen zu Kontrollgängen an kritischen Stellen und erforderlichenfalls zur Beseitigung von Ablagerungen.

A2 – Eisschollen auf dem Vorfluter

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Eisschollen und Packeisbildung die Zufuhr von Kühlwasser beeinträchtigt werden könnte. Dagegen sind z. B folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- In vielen Anlagen Ansaugung aus faktisch stehenden Gewässern ohne Potenzial für Packeisbildung,
- Kühlwasseransaugungen sehr tief gelegt (ca. -4 m) und damit frostsicher ausgeführt,
- bei Ansaugung aus ausströmenden Gewässern sind Einlaufbauwerke so zur Strömung ausgerichtet, dass Zusetzen durch Packeisbildung sehr unwahrscheinlich ist,
- standortspezifisch besteht die Möglichkeit zur Beimischung von vorgewärmten Rücklaufkühlwasser in den Zulauf,
- standortspezifisch diversitäre Wärmesenke mit Kapazität für abgeschaltete Anlage.

A3 – Extrem niedrige Lufttemperaturen

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Temperaturabsenkung flüssige Medien einfrieren oder zu zäh werden könnten. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert:

- Sicherheitstechnisch wichtige Systeme sind weitgehend innerhalb von Gebäuden in geschlossenen, beheizten und überwachten Räumen untergebracht,
- Leitungen sicherheitstechnisch wichtiger Systeme außerhalb der Gebäude sind in frostsicherer Tiefe im Erdreich angeordnet bzw. gegen Frosteinwirkungen geschützt,
- Beimischung von Frostschutzmittel in Messleitungen der Notstromdiesel,
- Vorwärmung von Notstromdieseln mit Hilfseinrichtungen,
- Betriebsbewährung von Dieselaggregaten bei Einsatz in Regionen mit extrem tiefen Temperaturen, u. a. sind keine Beeinträchtigungen in KKW in Russland, Kanada oder Finnland bekannt.

A4 – Extrem niedrige Umgebungstemperaturen

Durch Kombinationen anderer betrachteter Wettereinwirkungen und die entsprechenden Gegenmaßnahmen abgedeckt

A5 – Sulzeis und Schwebeis

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Sulzeis und Schwebeis die Siebe der Kühlwasserreinigung zuge-setzt und damit die Zufuhr von Kühlwasser beeinträchtigt werden könnte.

Unter den Standortbedingungen der Anlagen ist das Auftreten von Sulzeis und Schwebeis sehr unwahrscheinlich. Unabhängig davon werden Auswirkungen durch die gleichen Gegenmaßnahmen wie bei A2 beherrscht.

A6 – Extrem niedriger, langanhaltender Vorfluterwasserstand

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob eine ausreichende Zufuhr von Kühlwasser bleibt. Dazu sind u.a. folgende Maßnahmen realisiert:

- Ansaughöhe der Einlaufbauwerke einige Meter unter dem niedrigsten gemessenen Wasserstand,
- messtechnische Überwachung (insbesondere Differenzdruck, Füllstand) kritischer Stellen,
- Reduzierung des erforderlichen Durchsatzes bei Erreichen von Grenzwerten,
- Nutzung zusätzlicher Wasservorräte (Brunnen, Wasserreservoirs),
- bei einigen Anlagen sicherheitstechnische Unabhängigkeit vom Vorfluter durch Zellenkühler.

A7 – Anlagenexterner Brand

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob eine unzulässige Einwirkung von Brandgasen und Hitze auf sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen möglich ist:

- Keine großen Brandlasten in der Umgebung der Anlage,
- Vorfeldüberwachung auf dennoch eventuell auftretende kleinere Brände und ihre Bekämpfung,
- ausreichender Abstand sicherheitstechnisch wichtiger Anlagenteile zum Kraftwerkszaun zum Vermeiden direkter Einwirkung aus Bränden,
- bei Auftreten von Rauchgasen Lüftungsabschluss der Zuluft in den sicherheitstechnisch relevanten Gebäuden ,
- größere räumliche Trennung der Ansaugöffnungen der verschiedenen Notstromdiesel, Verwendung von Aggregaten (insbesondere Filtern), die gegenüber Rauchbelastungen robust sind,
- Betriebsbewährung anderer Dieselaggregate unter Einsatzbedingungen, die sehr viel ungünstiger sind (z. B. Brandbekämpfung).

A8 – Langanhaltender Starkregen

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob ein Eindringen von Wasser in sicherheitstechnisch wichtige Gebäude möglich ist. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert:

- Für hochwasserfreie Standorte: Extreme Niederschläge können vom Anlagengelände auch bei unterstellter Unverfügbarkeit der Anlagen zur Oberflächenentwässerung abfließen, ohne sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen zu beeinträchtigen. Insbesondere wurden die Abflussverhältnisse im Bereich der Notstromdieselgebäude überprüft. Die Notstromdieselgebäude stellen einen Hochpunkt dar. Am Gebäude bestehen Schwellen in der Größenordnung von 15 cm Höhe, die das Eintreten von Regenwasser verhindern.
- Für Standorte mit Hochwasser auf dem Anlagengelände: wasserdichte Ausführung der Gebäude bis über den maximalen Hochwasserstand hinaus. Dadurch sind Betrachtungen für Starkregen abgedeckt.
- Schutz der Luftansaugung gegenüber Wassereintrag

Die deutschen Kernkraftwerksbetreiber haben den Sachverhalt der Wasserableitung im Bereich des Notstromdieselgebäudes generell für alle Anlagen überprüft. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten, der Geländeprofile im Bereich des Notstromdieselgebäudes und der aus den Messprofilen bei Hochwasser abgeleiteten geodätischen Höhenprofile des Geländes ist aufgrund konservativer Randbedingungen für den Ablauf von Starkregen ein Gebäudeeintritt von Wasser bei Starkregen auszuschließen.

A9 – Starkwind und Tornado

Aufgrund der Auslegung der für vitale Funktionen benötigten Bauwerke gegen Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle sind die bei Starkwind und Tornado möglichen Überdrücke abgedeckt.

Der bei einem Tornado mögliche Unterdruck (maximal ca. 0,2 bar) kann die Standsicherheit und Funktion dieser Bauwerke und ihrer Einrichtungen nicht beeinträchtigen, selbst wenn ein Öffnen von einzelnen Fluchttüren infolge des Unterdrucks nicht ausgeschlossen werden kann.

A10 – Sandstürme und Staubstürme

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob, ein Eindringen von Sand oder Staub in sicherheitstechnisch wichtige Gebäude zu Beeinträchtigungen sicherheitstechnisch wichtiger Systeme führen kann. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- Keine größeren, durch Winde mobilisierbare Sand- und Staubreservoirs in der Nähe der Standorte,
- gestaffelte Filterung der Zuluft für die Gebäude (Gitter gegen größere luftgetragene Teile, Aufbereitungsstrecken zur Einstellung von Luftfeuchte, -temperatur und -reinheit),
- Ansaugung der Verbrennungsluft der Diesel über eigene Filter, räumlich auseinanderliegende Ansaugmöglichkeiten,
- Differenzdrucküberwachung der Filter mit Signalisierung, bei Bedarf ist ein Filteraustausch oder eine Filterreinigung möglich,
- Betriebserfahrung zeigt hohe Reserven insbesondere der Filter der Notstrom-Dieselaggregate gegen Staubbelastung. So war zum Beispiel in einer Anlage beim Betrieb der Notstrom-Dieselaggregate im Rahmen wiederkehrender Prüfungen (WKP) und bei Filterstandzeiten von acht Jahren keine Erhöhung des Differenzdrucks über die Luftfilter der Notstrom-Dieselaggregate feststellbar.

Der VGB kommt zum Ergebnis, dass aufgrund der Auslegungsreserven und der in den Anlagen möglichen Gegenmaßnahmen auch gegenüber den Einwirkungen extremer, die Bemessungsereignisse überschreitender Wetter eine hohe Robustheit der Anlagen gegeben ist. Probabilistische Betrachtungen wurden hierzu nicht vorgenommen, da für Wetterbedingungen im Bereich einer Häufigkeit von $10^{-4}/a$ oder noch seltener in der Regel keine ausreichende statistische Basis vorliegt.

Bewertung der RSK

Das Vorgehen, die Reserven in der Auslegung der Anlagen gegenüber den wetterbedingten Bemessungseignissen einzuschätzen und zu bewerten, anstatt auf Eintrittshäufigkeiten im Bereich von $10^{-4}/a$ oder noch seltener abzustellen, war auch als Alternative in der RSK-Empfehlung enthalten..

Die Einschätzung, dass aufgrund des Auslegungskonzepts und der Auslegungsreserven eine deutliche Robustheit gegenüber diesen Einwirkungen vorhanden ist, hält die RSK trotz der nicht vorhandenen Quantifizierung von Reserven für plausibel.

Bzgl. der Einwirkung A1 (Eisregen, Eissturm, Schneesturm) wird eine ausreichende Robustheit für die Ansaugung der Verbrennungsluft der Diesel dann gesehen, wenn die Wetterschutzgitter elektrisch beheizt werden können.

Bzgl. der Einwirkung A6 (Extrem niedriger, langanhaltender Vorfluterwasserstand) wird eine ausreichende Robustheit dann gesehen, wenn mit 10 % der Ablaufmenge, die für Volllastbetrieb erforderlich ist, die sicherheitstechnisch benötigte Kühlung einen Tag nach Abschaltung erfolgen kann [39].

Zum Thema „Blitzeinwirkung“ wird auf die gesonderte Stellungnahme der RSK „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“ [51] verwiesen.

B.4 RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015

Empfehlungen der RSK [7]

Empfehlung 1:

Hinsichtlich der Wasserstofffreisetzung im Rahmen der gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters ist bei DWR-Anlagen (s. Kapitel 3.2) auf Basis repräsentativer Analysen gemäß dem in Kapitel 3.1 beschriebenen Ansatz zu untersuchen, welche Notfallmaßnahmen zur Vermeidung brennbarer Zustände bei der SHB-Druckentlastung in gemeinsam genutzten Abluftsystemen, wie z. B. in der Abluftkammer und im Kamin, vorgesehen werden können. Alternativ ist zu zeigen, dass Wasserstoffverbrennungen nicht zu sicherheitstechnisch relevanten Auswirkungen führen. Inwiefern diese Maßnahmen konkret sachgerecht realisiert werden, ist anlagenspezifisch zu zeigen.

Empfehlung 2: (SWR)

Empfehlung 3:

Bezüglich der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters beim DWR (s. Kapitel 3.3) ist zur Vermeidung der Ausbildung von zündbaren Gasgemischen im Rahmen der mitigativen Notfallmaßnahmen eine Maßnahme zu entwickeln und zu implementieren, mit der eine Umwälzung der Atmosphäre im Ringraum (Beseitigung von Schichtungen) sowie rechtzeitig eine kontrollierte Belüftung (Begrenzung des Anstiegs der H_2 -Konzentration) hergestellt wird. Für die dazu erforderliche Absaugung von Ringraumluft ist

zu bewerten, ob dabei Maßnahmen zur Verringerung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung genutzt werden können (z. B. Filterung, Abgabe über Kamin). Alternativ können auch Möglichkeiten zum Wasserstoff-abbau vorgesehen werden.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 19.05.2015 [18], Folien 13 bis 15

Bzgl. der Empfehlung 1 (Vermeidung brennbarer Zustände bei der SHB-Druckentlastung in gemeinsam genutzten Abluftsystemen) werden die entsprechenden Untersuchungen in anlagenspezifischen Verfahren durchgeführt und erforderlichenfalls Maßnahmen festgelegt. Die entsprechenden Maßnahmen werden nicht in dieser Stellungnahme behandelt.

Bzgl. der Empfehlung 3 wurde erläutert, wie mit einer Maßnahme unter Nutzung vorhandener Einrichtungen die Ringraumatmosfera umgewälzt (Vermeiden erhöhter lokaler H₂-Konzentrationen) sowie kontrolliert ausgetauscht werden kann (Begrenzen der H₂-Konzentration):

- Mit einer Umluftanlage für den oberen Ringraum (im Normalbetrieb vorgesehen, um Kondensatbildung bei Taupunktunterschreitungen zu vermeiden) kann Luft oben in der Kuppel über einen Kanal abgesaugt und etwa in Höhe des RSB-Äquators über einen Ringkanal verteilt in den Ringraum eingeblasen werden (Durchsatz ca. 11 m³/s).

Damit werden die Bereiche von der Umwälzung erfasst, in denen bei einem unterstellten schweren Störfall ein H₂-Austrag aus dem RSB in den Ringraum im Rahmen der Auslegungsleckage möglich wäre.

- Durch Öffnen z. B. einer Klappe in der Zuluftanlage sowie das Absaugen über die Ringraumabsaugung (ggf. über die Bedarfsfilteranlage im RHAG) wird ein Luftaustausch zum Begrenzen/Reduzieren der H₂-Konzentration erreicht (Durchsatz ca. 4000 m³/h). Da die Einspeisung der Luft im unteren Bereich des Ringraums erfolgt, kann damit auch eine Durchmischung des unteren Ringraumbereichs erfolgen. Die abgesaugte Luft wird grundsätzlich über Filterstrecken geführt.

Der Lüfter der Umluftanlage für den oberen Ringraum ist getrennt von der Ringraumatmosfera in einer Einhausung im Ringraum angeordnet, die Lüfter der Ringraumabsaugung in abgetrennten Räumen des Ringraums. Ein Ausfall der Lüfter in beiden Systemen aufgrund von Feuchte und Temperaturen ist deshalb nicht zu erwarten.

Der Lüfter der Umluftanlage für den oberen Ringraum wird elektrisch vom Normalnetz versorgt, erforderlichenfalls kann aber auch eine Stromversorgung im Schaltanlagengebäude über mobile Einrichtungen hergestellt werden. Die anderen ggf. benötigten Lüfter hängen an der Notstromversorgung.

Der Ringraum muss für die Durchführung der Maßnahmen nicht betreten werden.

Bewertung der RSK

Die RSK sieht die Realisierung einer Maßnahme unter Nutzung der vorstehend beschriebenen Einrichtungen zu Umwälzung und Austausch der Ringraumatmosfera als zielgerichtet an, wenn für die Realisierung die Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit einschließlich der erforderlichen Stromversorgung unter den anlagen-spezifischen Gegebenheiten gezeigt ist und die zugehörige Vorgehensstrategie in das Handbuch für miti-gative Notfallmaßnahmen aufgenommen ist.

Teil C Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima: SWR-Anlagen

Im Nachfolgenden werden die Empfehlungen der RSK mit Bezug zu Fukushima und das Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen in den deutschen SWR-Anlagen aus RSK-Sicht bewertet.

C.1	RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“ aus der 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011	44
C.1.1	<i>Optimierung der Hochdruck-Einspeisung bei SWR.....</i>	44
C.1.2	<i>Begrenzung der Freisetzen aus dem BE-Lagerbecken</i>	44
C.1.3	<i>Doppelblockanlagen.....</i>	44
C.2	RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012, einschließlich RSK-Stellungnahme „Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben“ aus der 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013	47
C.2.1	<i>Systematische Analyse der Robustheit deutscher Kernkraftwerke</i>	47
C.2.2	<i>Anstreben von Robustheitslevel 1 bzw. Schutzgrad 2</i>	50
C.2.3	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Erdbeben</i>	51
C.2.4	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Hochwasser</i>	54
C.2.5	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung.....</i>	55
C.2.6	<i>Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz</i>	58
C.2.7	<i>Erreichen der sicherheitstechnischen Zielsetzung von Notfallmaßnahmen auch bei naturbedingten EVA</i>	60
C.2.8	<i>Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen</i>	61
C.2.9	<i>Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität.....</i>	63
C.2.10	<i>Gefilterte Druckentlastung bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout....</i>	65
C.2.11	<i>Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen</i>	65
C.2.12	<i>Kurzfristige Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG).....</i>	67
C.3	RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ aus der 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012	68
C.3.1	<i>Maßnahmen zur Überprüfung und ggf. Verbesserung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf Blockaden des Kühlwasserzulaufs</i>	68
C.3.2	<i>Maßnahmen zur Stärkung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf den Eintritt von seltenen Einwirkungen von außen</i>	69
C.3.3	<i>Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke</i>	69
C.4	RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013	70
C.5	RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015.....	75

C.1 RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“ aus der 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011

C.1.1 Optimierung der Hochdruck-Einspeisung bei SWR

Empfehlung der RSK [1]

Optimierung der SWR-Notfallmaßnahme dampfgetriebene Hochdruck-Einspeisung bei SBO zur Vermeidung des Hochdruckpfads bei einer Kernschmelze (Erhalt einer ausreichenden Druckabbaufähigkeit bei erhöhter KoKa-Temperatur).

Bewertung der RSK

Diese Empfehlung ist nicht mehr relevant, da sie für den Reaktortyp SWR-69 spezifisch war. Für Anlagen dieses Typs ist kein Leistungsbetrieb mehr zugelassen. Die Anlagen befinden sich in der Nachbetriebsphase. Dafür ist die Vorhaltung einer HD-Einspeisung nicht mehr notwendig.

C.1.2 Begrenzung der Freisetzungen aus dem BE-Lagerbecken

Empfehlung der RSK [1]

Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzungen aus dem BE-Lagerbecken in SWR bei unterstellten gravierenden BE-Schäden, ggf. mit H₂-Bildung.

Bewertung der RSK

Diese Empfehlung ist im Kontext der RSK-Empfehlungen von 2012 [2] zur systematischen Robustheitsanalyse nicht aufrechterhalten worden, da aufgrund zusätzlicher Maßnahmen, um die BE im Lagerbecken mit Wasser bedeckt zu halten, ein Trockenfallen der BE und damit gravierende Schäden nicht mehr zu unterstellen sind.

C.1.3 Doppelblockanlagen

Empfehlung der RSK [1]

Vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus Fukushima empfiehlt die RSK eine Analyse dieser Fragestellung für die betroffenen Doppelblockanlagen im Aufsichtsverfahren vorzunehmen. Bei dieser Analyse sind ausgehend von den anzusetzenden Schadenszuständen des Nachbarblockes (u. a. Brände, Aktivitätsfreisetzungen, Kernschadenszustände, Kernschmelze) die Auswirkungen auf die Einhaltung der Vitalfunktionen des nicht betroffenen Blockes zu behandeln.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB Power Tech e. V., Generische SWR-spezifische Zusatzinformationen, 05.11.2014 [15], Folie 15
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 2-4
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 3. März 2016 [44]

-
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 14. März 2017 [46]
 - BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]
 - TÜV-Süd, E-Mail vom 21.06.2017 [49]

Laut VGB wurden für den SWR hinsichtlich Auswirkungen bei Doppelblockanlagen die Thematiken Brand, Aktivitätsfreisetzungen, Kernschadenszustände und Kernschmelze untersucht.

Für den Brand zeigen die Untersuchungen, dass im Vergleich zur Weiterleitungsnachricht der GRS WLN 07/2008 („Eindringen von Brandgasen in die Warte des Kernkraftwerks Krümmel beim Brand eines Maschinentransformators am 28.06.2007“) keine neuen Erkenntnisse zu berücksichtigen sind. Der Schutz der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen erfolgt durch den Lüftungsabschluss oder durch räumliche Trennung bei redundanzübergreifenden Einwirkungen.

Bei der Thematik Aktivitätsfreisetzung zeigten die Untersuchungen keine besonderen Aspekte für Doppelblockanlagen. Hinsichtlich der Wartenzuluftfilterung wurde ausgeführt, dass durch das Erzeugen eines Überdruckes von 0,2 mbar in der Warte und den Rechnerräumen das Eindringen von Gasen verhindert wird. Die zur Aufrechterhaltung des Überdrucks erforderliche Luftmenge wird in einer mobilen Filteranlage je Block gefiltert und mittels eines Ventilators den Räumen zugeführt.

Zu den Kernschadenszuständen und dem Kernschmelzen wurde dargestellt, dass es für die SWR-Doppelblockanlage nur den gemeinsamen Aspekt der blockgemeinsamen gefilterten Druckentlastung zu berücksichtigen gibt. Ein simultanes Kernschmelzen in beiden Blöcken, welches eine gleichzeitige Druckentlastung notwendig machen würde, wird aufgrund der anlagentechnischen Gegebenheiten bei KRB II als ein sehr unwahrscheinliches Szenario angesehen. Dennoch wurde die Möglichkeit eines alternierenden Ventings untersucht, bei dem die Druckentlastung zwischen den Blöcken periodisch umgeschaltet wird.

Nach Darstellung des VGB ist alternierendes Venting in der Sicherheitsebene 4b uneingeschränkt durchführbar. Die Druckentlastung kann sowohl ferngesteuert von der Warte als auch manuell durch Betätigung von Handarmaturen durchgeführt werden. Ein radiologischer Schutz bei Handbetrieb ist durch eine Wand zwischen Handrädern und Druckentlastungsleitung gegeben. Die Gebäudeabschlussklappen in den Rohgasleitungen werden über das unterbrechungslose Wechselstromnetz versorgt, zusätzlich ist eine Versorgung über mobile Notstromdieselaggregate möglich. Eine Handbetätigung ist damit auch bei hypothetischen Szenarien nicht erforderlich, sie wäre aber auch unter Strahlenschutzgesichtspunkten durchführbar [48, Anlage Rückmeldung]. Die Armaturen befinden sich gemäß [36] im Reaktorgebäude, daher besteht keine Beeinflussung durch den Nachbarblock.

Analyseergebnisse [36] zu einer stündlich alternierenden gefilterten Druckentlastung in den Blöcken B und C für einen Zeitraum von 17 Stunden lassen den druckmindernden Einfluss während des Ventings erkennen. Allerdings zeigt sich für beide Blöcke nach einem anfänglichen Abfall ein Wiederanstieg des mittleren RSB-Druckes um 1,5 bar binnen 14 Stunden, da die Wärmeabfuhrkapazität über das Druckentlastungssystem in dem untersuchten Zeitbereich (bis 24 Stunden nach Ereignisbeginn) nicht ausreichend ist, um bei alternierendem Betrieb den niedrigen Druckwert zu halten.

Dazu führt der VGB in [46] aus, dass das Ventingsystem für einen Sattdampfmassenstrom von 14 kg/s bei einem RSB Druck von 7 bar_{abs} ausgelegt ist. Daraus ergibt sich unter konservativer Berücksichtigung nur der Verdampfungswärme einer Wärmeabfuhr von ca. 29 MW. Nach Abschätzung des VGB kann bei einem RSB-Druck von 10 bar jedoch eine Leistung von etwa 40 MW über das Ventingsystem abgeführt werden.

Für das RSB-Versagen ist das Versagen des Ladedeckels führend. Dessen Versagensdruck wurde in Abhängigkeit von der Ladedeckeltemperatur unter Verwendung temperaturabhängiger Werkstoffkennwerte ermittelt. Bis zu einer Ladedeckeltemperatur von 220 °C beträgt der Versagensdruck ca. 11 bar_{abs}, bei höheren Temperaturen sinkt er ab. Temperaturen oberhalb von 200 °C würden nach MELCOR-Analysen im Ladedeckelbereich erst bei fortgeschrittenem Kernschmelzen überschritten. Bei 400 °C beträgt der Versagensdruck des Ladedeckels ebenso wie der des Sicherheitseinschlusses dann 8 bar_{abs}.

Nach Auffassung des VGB reicht die Wärmeabfuhr über das Ventingsystem aus, um den RSB-Druck auch bei alternierendem Venten beider Blöcke auf der Sicherheitsebene 4b auf Werte unterhalb des Versagensdrucks zu begrenzen.

Weiterhin wurde die Strahlenexposition bei Handbetätigung der Gebäudeabschlussklappen auf der Sicherheitsebene 4c unter konservativen Annahmen 15 Stunden nach Störfalleintritt auf 35 mSv und nach 3 Tagen auf ca. 165 mSv abgeschätzt [48, Anlage Rückmeldung]. Ein Betätiger der Handräder wäre somit immer noch möglich.

Im Übrigen weist der Betreiber, darauf hin, dass alle im Rahmen der PSA der Stufe 2 durchgeführten Untersuchungen zu Kernschmelzen Szenarien ergeben hätten, dass der RSB nach dem Beginn des Kernschmelzens innerhalb von < 24 h versagen würde [48, Anlage Rückmeldung]. Mit Versagen des RSB ist ein Venting nicht mehr möglich.

Bewertung der RSK

Auf Basis der Darstellung des VGB kommt die RSK zu dem Ergebnis, dass die gemeinsame Nutzung von Teilen des Ventingsystems den maßgeblichen Aspekt hinsichtlich einer gegenseitigen Beeinflussung der beiden Blöcke darstellt.

Hinsichtlich des Erhalts der Vitalfunktion Nachwärmeabfuhr auf der Sicherheitsebene 4b stellt der unterstellte zeitgleiche Ausfall der Nachkühlsysteme in beiden Blöcken die ungünstigste Randbedingung dar. Die RSK hält es auf Basis der vom VGB genannten Daten zur Auslegung des Ventingsystems für plausibel, dass bei einem RSB-Druck von 10 bar eine Leistung von etwa 40 MW über das Ventingsystem abgeführt werden kann. Dies entspricht bei alternierendem Venting einer Leistung von ca. 20 MW pro Block. Die Dampftemperatur bei 10 bar liegt um 40 K unterhalb der vom VGB angegebenen Temperatur für einen Versagensdruck des Ladedeckels von 11 bar. Bei Fortschreibung des in [36] dargestellten Anstiegs des RSB-Drucks würde ein Wert von 10 bar_{abs} mehr als zwei Tage nach Ereignisbeginn erreicht. Eine Wärmeabfuhrkapazität von 20 MW pro Block ist dann nach Ansicht der RSK ausreichend, den RSB-Druck auf 10 bar_{abs} zu begrenzen. Somit erscheint bei Umschalten des Ventings zwischen den beiden Blöcken die Kapazität des Ventingsystems auf der Sicherheitsebene 4b ausreichend für den Erhalt der Vitalfunktion Nachwärmeabfuhr. Hierbei ist unterstellt, dass das Umschalten verzögerungsfrei erfolgt.

Der TÜV SÜD kommt für einen postulierten „simultanen“ Kernschmelzunfall und unterstelltem Ausfall der Fernbetätigung der Gebäudeabschlussklappen des Ventingsystems auf der Basis eigener Abschätzungen für das Szenario „Bedienung der Handräder vor Ort“ zu dem Ergebnis, dass die Dosisbelastung für die durchführende Person für eine einzelne Durchführung der gesamten Maßnahme (d. h. Wegedosis + Dosis während der Maßnahme) unter 250 mSv bleibt. Dies gilt für alle Fälle, also auch für den Wiederholungsfall und 3 d nach Eintritt des Kernschmelzunfalles. D. h. im Falle von alternierendem Venting kann der hier einschlägige Wert der StrlSchV eingehalten werden, wenn das Personal für die einzelne Maßnahme jeweils gewechselt wird. Vor diesem Hintergrund kommt die RSK zu dem Ergebnis, dass alternierendes Venting auch bei postulierten Kernschmelzunfällen wiederholt durchführbar ist. Allerdings ist wie vom Betreiber dargestellt die mittelfristige Bedeutung des Venting bei einem fortschreitenden Kernschmelzunfall als eher gering anzusehen, da es in diesem Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem RSB-Versagen kommt.

Ein Eintrag von Wasserstoff in den Nachbarblock über das Ventingsystem ist auf Grund mehrfach vorhandener Absperrarmaturen nach Ansicht der RSK nicht zu besorgen.

C.2 RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012, einschließlich RSK-Stellungnahme „Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben“ aus der 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013

C.2.1 Systematische Analyse der Robustheit deutscher Kernkraftwerke

Empfehlung der RSK [2]

Zur Absicherung der vitalen Sicherheitsfunktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen (EVA) oder innen (EVI) sollte eine systematische Analyse durchgeführt werden, um Potenziale zur angemessenen Anhebung der Robustheit zu identifizieren, für die ggf. ergänzende Maßnahmen konzipiert werden sollten (siehe Anhang I).

...

Somit sind die Auslegungsreserven in den vorhandenen Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen dahingehend zu bewerten, ob und ab wann bei erhöhten (auslegungsüberschreitenden) Annahmen zu externen und internen Einwirkungen die benötigte Sicherheitsfunktion von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen gefährdet sein kann. Diese Analysen können mittels ingenieurmäßiger Bewertungen erfolgen.

...

Auf dieser Basis ist dann zu bewerten, ob eine Erhöhung der Robustheit möglich ist

- *entweder durch angemessene Maßnahmen zur Ertüchtigung vorhandener Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen oder*
- *oder durch vorhandene oder zusätzliche Notfallmaßnahmen zur Absicherung vitaler Sicherheitsfunktionen bei zu erwartendem Ausfall von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen. Diese Notfallmaßnahmen dürfen ihre Funktionsfähigkeit nicht durch diejenigen Einwirkungen verlieren, die in den Analysen zum Funktionsausfall von Sicherheits- oder Notstandseinrichtungen geführt haben.*

Mit den auf diese Weise konzipierten Notfallmaßnahmen zur Absicherung der vitalen verfahrenstechnischen Sicherheitsfunktionen kann dann auch die Aufgabenstellung für Hilfsfunktionen abgeleitet werden und damit für geeignete Notfallmaßnahmen zur Kompensation von ggf. auftretenden Ausfällen in den sicherheitstechnischen Hilfsfunktionen (insbesondere elektrische Energieversorgung und Nebenkühlwasserversorgung).

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlung

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 12-24, 62-65, 67, 76;
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014, Details zur systematischen Robustheitsanalyse (DWR) [14], Folien 7 - 24,
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014, Generische SWR-spezifische Zusatzinformationen [15], Folien 7-14
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 5-11
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46], Pkt. 4 und 6

Nach der Darstellung des VGB sind zur Untersuchung der Robustheit bisher betrachtet worden (vgl. auch *Tabelle C-1*):

- Das relevante Spektrum von Ereignissen mit dem Potenzial für redundanten-übergreifende Ausfälle von Sicherheitseinrichtungen
 - Auslegungsüberschreitende Einwirkungen von außen und innen
 - Auslegungsüberschreitend postulierte Ausfälle von Sicherheitseinrichtungen (Ausfall der primären Wärmesenke und Station Blackout)
- Die vitalen Funktionen für SWR, um bei derartig unterstellten Ereignissen und verschiedenen Anlagenzuständen gravierende Auswirkungen auf die Umgebung zu vermeiden.
- Die für SWR untersuchten Anlagenzustände zu Ereignisbeginn.
- Die Funktionsfähigkeit vorhandener Sicherheits- und Notstandseinrichtungen für die vitalen Funktionen bei diesen Ereignissen.
- Die Ergebnisse der Robustheitsanalyse für das auslegungsüberschreitende Erdbeben für SWR (beispielhaft für den IST-Zustand dargestellt).

Die Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die auslegungsüberschreitenden internen Ereignisse „Ausfall der primären Wärmesenke“ und „Station Blackout (SBO)“.
- Soweit die Funktionsfähigkeit mit den auslegungsüberschreitenden Annahmen infrage gestellt ist, Ableitung ergänzender Nachweise oder Maßnahmen (bei Sicherheitseinrichtungen oder auch zu ergänzenden Notfallmaßnahmen).

Tabelle C-1: Übersicht zu den Überlegungen des VGB bzgl. robustheitserhöhender Maßnahmen beim SWR-72 [46]

Zielstellung	Robustheitserhöhende Maßnahmen (SWR-72)
Stromversorgung ► Offenhalten SuE-Ventile ► Leittechnik im Reaktorgebäude RDB-Bespeisung ► mit mobiler Pumpe Zeitbereich ► 2 bis 10 h nach Ereigniseintritt	Stromversorgung ► Notfalldiesel für SBO-Bedingungen ► Aufbewahrung außerhalb, Betrieb außerhalb RDB-Bespeisung ► Erhöhung des möglichen Einspeisedrucks
Stromversorgung ► Verbraucher der Batterieanlage, Lüftung und Lichtverteilung eines der Sicherheitsteilsysteme 2 oder 3 Zeitbereich ► ab 3 bis 4 h nach Ereigniseintritt möglich	Stromversorgung ► Versorgung über mobilen Diesel
Optimierung der Nachspeisung in den RDB	Zusätzliches Tanklager für Dieseltreibstoff für mobile Pumpen, Erhöhung des möglichen Einspeisedrucks
Optimierung des Dauerbetriebs der Notstromdieselaggregate durch Nutzung aller anlageninternen Kraftstoffreserven und erweiterter Schmiermittelvorräte	Schmiermittelvorräte für mehr als sieben Tage gesichert verfügbar, Treibstoffschonung durch Abschaltung einzelner Notstromdiesel, Umpumpen möglich, neues, zusätzliches Treibstofflager, dadurch Autarkie des Standorts für mehr als sieben Tage
Optimierung des Überflutungsschutzes im Reaktorgebäude	Überflutungen führen nicht zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen
Optimierung des Hochwasserschutzes	Anlagenspezifische Überprüfung ergab erhebliche zusätzliche Reserven, erweiterter Hochwasserschutz (schon vor Überprüfung realisiert), zum Beispiel Schutz von Gebäuden mit sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten mittels Spundwänden, Anschaffung von Booten
Abfuhr der Nachzerfallsleistung über eine diversitäre Wärmesenke	war bereits realisiert
Optimierung der Kühlmittelergänzung ins Reaktorkühlsystem	neue BHB-Vorgabe zum frühzeitigen Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile, Erhöhung des möglichen Einspeisedrucks mobiler Pumpen
Optimierung der Kühlmittelergänzung ins BE-Lagerbecken	Abfuhr der Nachzerfallsleistung im BE-Lagerbecken durch Verdampfen und Nachspeisen von Kühlmittelinventar, Einspeisung aus dem Feuerlöschsystem oder mit mobilen Pumpen, z. B. Sonderlöschfahrzeuge
Sumpfbetrieb bei Wasserverlust aus dem BE-Lagerbecken/Reaktorbecken	Bei nicht absperbarem Kühlmittelverlust aus dem gefluteten Reaktorbecken bei gezogenem Beckenschütz kann das Beckenschütz schnell geschlossen werden; da es sich um ein Schwenkschütz handelt, werden dafür keine zusätzlichen Einrichtungen wie Kran und Gehänge benötigt; es bestehen verschiedene Möglichkeiten der Nachspeisung ins BE-Lagerbecken
Gewährleistung der BE-Lagerbeckenintegrität mittels RSB-Druckentlastung	Im Bereich des BE-Lagerbeckens sind Drücke von mehr als 1 bar nicht möglich

Bewertung der RSK

Die Vorgehensweise bei der Robustheitsanalyse ist stichpunktartig vorgestellt worden. Die angewandte Systematik ist anhand eines Ablaufplanes für den Bewertungsvorgang und die Ableitung notwendiger Verbesserungsmaßnahmen erläutert worden. Die Gewährleistung vitaler Sicherheitsfunktionen wurde beispielhaft für das auslegungsüberschreitende Erdbeben und die Ereignisse „Ausfall der primären Wärmesenke“ und „Station Blackout (SBO)“ gezeigt. Die Robustheit wurde anhand der für vier verschiedene Zeitbereiche zur Verfügung stehenden Systeme und ihrer Redundanten dargestellt. Die Betreiber haben darauf hingewiesen, dass sich die Vorgehensweise der systematischen Analyse eng an die beim DWR angelehnt habe.

Diese Bewertung bezieht sich auf die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Robustheitsanalyse. Auf im Einzelnen daraus abgeleitete Maßnahmen wird im Folgenden eingegangen. Soweit konkret von der RSK vorgeschlagene Maßnahmen nicht umgesetzt werden sollen, wird hierauf im Folgenden ebenfalls eingegangen (s. Kap. C.2.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“, Konzept bzgl. mobiler Dieselaggregate, Kap. C.3.3 „Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke“ bzgl. zusätzlicher Einspeisung in einen nuklearen Zwischenkühlkreislauf).

C.2.2 Anstreben von Robustheitslevel 1 bzw. Schutzgrad 2

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Die RSK hält es für angemessen, dass im Ergebnis mindestens Robustheitslevel 1 bzw. mindestens Schutzgrad 2 (zivilisatorische Einwirkungen) angestrebt wird.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 75

Die in der RSK-SÜ ausgewiesenen Robustheitslevel wurden nicht zur Bewertung der Robustheit herangezogen.

Aus Sicht des VGB haben jedoch die durchgeführten Analysen ggf. mit Berücksichtigung zusätzlicher robustheitserhöhender Maßnahmen eine hohe Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Ereignissen belegt.

Bewertung der RSK

Aufgrund der durchgeführten Maßnahmen wurde im Vergleich zur SÜ 2011 eine weitere Erhöhung der Robustheit erreicht.

Auch wenn der VGB der Zuordnung zu Robustheitsleveln nicht nachgegangen ist, kommt die RSK aufgrund der vorliegenden Informationen zur Einschätzung, dass bei anlagenspezifisch sachgerechter Umsetzung der vom VGB vorgestellten Konzepte sowie bei Berücksichtigung der Hinweise der RSK in dieser Stellungnahme weitestgehend ein Niveau der Robustheit erreicht wird, das im Bereich von Robustheitslevel 1, teilweise

auch darüber liegt. Auch bei den Ereignissen oder Merkmalen, zu denen in der SÜ 2011 keine Zuordnung zu Robustheitsleveln vorgenommen wurde (siehe z. B. C.4 und C.5), ist eine deutliche Robustheit gegeben, d. h. selbst bei einem Überschreiten der Auslegungsanforderungen bestehen noch deutliche Reserven, um gravierende Auswirkungen auf die Umgebung zu verhindern.

Hinweis: Auf Schutzgrade, wie sie in [1] für zivilisatorische Einwirkungen definiert sind, wird hier nicht eingegangen, weil die entsprechenden zivilisatorischen Einwirkungen in dieser Stellungnahme nicht behandelt werden.

C.2.3 Konkretisierung der Empfehlung zu Erdbeben

Empfehlung der RSK, [2], Teil 1, und [6]

- a) Für Anlagen, für die Ergebnisse von probabilistischen seismischen Sicherheitsanalysen vorliegen, ist die Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Erdbebeneinwirkungen zu bewerten. Die Bewertung soll auf Basis der HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure) Werte der zur Gewährleistung der vitalen Sicherheitsfunktionen erforderlichen Bauwerke und Einrichtungen erfolgen.*
- b) Für Anlagen, für die keine Ergebnisse von probabilistischen seismischen Sicherheitsanalysen vorliegen, kann der Weg gewählt werden, eine Übertragbarkeitsbetrachtung (evtl. unterstützt über eine Begehung der Anlage durch eine Expertenkommission) ausgehend von Ergebnissen gemäß a) zur Bewertung der Robustheit gegenüber auslegungsüberschreitenden Erdbebeneinwirkungen vorzunehmen.*

Im Sinne der Robustheit ist eine Überlagerung kurzzeitiger, während des Nichtleistungsbetriebes anstehender Betriebszustände mit einem Erdbeben über die bisherigen Regelwerksvorgaben hinaus zu betrachten. Zur Analyse der Robustheit ist zu zeigen, dass das Bemessungsbeben bei kurzzeitig anstehenden Betriebszuständen nicht zu erheblichen Auswirkungen in der Umgebung führt.

Dabei sind insbesondere Situationen zu betrachten, in denen vitale Sicherheitsfunktionen dadurch beeinträchtigt werden können,

- dass veränderte Massenverteilungen (z. B. gefüllter Reaktorraum bei Umladung) im Reaktorgebäude zu höheren Erdbeben-bedingten Belastungen sicherheitsrelevanter Einrichtungen und Gebäudestrukturen führen als im Leistungsbetrieb.*
- dass bestimmte Einrichtungen ausschließlich (z. B. Flutkompensator beim SWR) oder in einer spezifischen Betriebsweise (z. B. Brennelement-Wechselmaschine außerhalb der Parkposition) im Nichtleistungsbetrieb eingesetzt werden, für die keine spezifischen oder keine abdeckenden Auslegungsnachweise gegen Erdbeben vorliegen.*
- dass Einrichtungen (z. B. Brennelement-Transportbehälter, schwere Komponenten) und Betriebsmittel (Schmieröle und Lösungsmittel), die im Nichtleistungsbetrieb in die Anlage eingebracht bzw. gehandhabt werden, Erdbeben-bedingt zu Schäden an sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen und Gebäudestrukturen führen.*
- dass sicherheitsrelevante Maßnahmen und Einrichtungen bei Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb nur eingeschränkt zur Verfügung stehen (z. B. Freischaltung von Nachkühlsträngen, kurzfristige Handmaßnahmen), die für die Beherrschung der Erdbebenfolgen benötigt werden.*

Für Anlagen, die sich dauerhaft im Nichtleistungsbetrieb befinden, ist der Robustheitsnachweis für länger andauernde Zustände auch bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben gemäß a) und b) (siehe oben) zu führen.

Im Hinblick auf einen PGA Mindestwert von 0,1 g für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung hat die RSK in [6] ausgeführt:

Der Nachweis der Erfüllung der IAEA-Anforderung nach eines PGA-Wertes von 0,1 g kann durch eine Nachbewertung der seismischen Widerstandsfähigkeit der betroffenen Anlagen anhand der Methoden des IAEA-Guide NS-G-2.13 erfolgen. Mittels der in NS-G-2.13 genannten Methode "Seismic Margin Assessment" (ggfs. unter Nutzung von Daten einer vorliegenden seismischen PSA) wäre für Anlagen mit einer maximalen Bodenbeschleunigung von $< 0,1$ g aufzuzeigen, dass die Anlage auch für eine Bodenbeschleunigung von 0,1 g ausreichend widerstandsfähig ist. Dieses Vorgehen ist bereits in den Empfehlungen der RSK-Stellungnahme zur Robustheit [2] im Grundsatz enthalten. Sollte standortspezifisch bei einer angenommenen Intensität entsprechend Robustheitslevel 1 ein PGA-Wert $< 0,1$ g ermittelt werden, empfiehlt die RSK die in der Auslegung vorhandenen Reserven für einen angenommenen PGA-Wert von 0,1 g zu ermitteln.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

Zusätzlich zu übergeordneten Fragestellungen, die in Abschnitt B.1.3 „Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben“ dieser Stellungnahme behandelt sind, werden SWR-spezifische Aspekte behandelt in:

- VGB-Schreiben vom 24.08.2015 [27]
- VGB-Konzept – Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, 27.03.2015 [42]
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 16-18
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46], Pkt. 7 und 8
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]
- TÜV-Süd, E-Mail vom 21.06.2017 [49]
- BStMUV, E-Mail vom 05. September 2017 [50]

Der VGB verweist in [27] auf seine Ausführungen zur Robustheit von deutschen Kernkraftwerken gegenüber Erdbebeneinwirkungen – siehe Teil D Anhang Erdbeben (DWR und SWR). Gemäß [27] träfen die dargestellten Grundsätze zur Auslegung gegen Einwirkungen von außen (EVA) für alle deutschen Kernkraftwerke zu. Selbiges gelte für die grundsätzlichen Ausführungen zum Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb.

Die am Beispiel von zwei DWR-Anlagen vorgestellte Methodik der seismischen probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) und die diesbezüglichen Ergebnisse sind nach Auffassung des VGB repräsentativ auch für die SWR Anlage, die im vorgestellten seismischen Gefährdungsniveau liegt und damit hinsichtlich der Erdbebeneinwirkung mit den beispielhaft genannten DWR Anlagen vergleichbar ist.

Gemäß [46] wurde hinsichtlich der seismischen PSA ein vereinfachtes Verfahren nach PSA Methodenband durchgeführt. Die theoretischen Grundlagen bilden die einschlägigen EPRI- und NUREG-Berichte und die diesbezüglichen Konzepte (HCLPF, GERS - Generic Equipment Ruggedness Spectrum). Es wurde eine Bewertung der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeiten von Sicherheitsfunktionen für Erdbeben mit Intensitäten

I = VII (Auslegung) und I = VIII (Auslegung +1 Intensitätsstufe) vorgenommen. Am höchsten ist die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit der Hochdruckeinspeisung (keine vitale Sicherheitsfunktion) mit ca. 2% für beide Fälle (flacher Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilung im Beschleunigungsbereich zwischen I = VII und I = VIII). Die Ausfallwahrscheinlichkeit der anderen Sicherheitsfunktionen liegt nochmals mindestens eine Größenordnung darunter, ebenfalls für beide Fälle.

Für die beiden Maschinenhäuser der SWR-Anlage KRB II wurden Analysen zu ihrer Standsicherheit während eines Bemessungserdbebens (Intensität I = VII) durchgeführt. Gegenüber dem ursprünglichen Sicherheitserdbeben für die Errichtung (1974) ergaben sich im Vergleich mit Bewertungsspektren aus einer aktuellen Untersuchung (2016) zur Überprüfung des KRB II-Bemessungserdbebens niedrigere Beschleunigungswerte im unteren Frequenzbereich [49], [50], sodass zu erwarten war, dass die Maschinenhäuser auch einem Erdbeben der Intensität I = VIII sicher standhalten [36]. Zur Bestätigung dieser Einschätzung wurden rechnerische Untersuchungen in Auftrag gegeben [46, Pkt. 7], die inzwischen mit positivem Ergebnis abgeschlossen wurden [48].

Gemäß [46] wurde eine erdbebenbezogene Anlagenbegehung durchgeführt, in deren Rahmen die Aufstellung von Komponenten, Einbauten und Hilfswerkzeugen und das daraus eventuell resultierende Gefährdungspotenzial bei unterstelltem Erdbeben während laufender Revisionstätigkeiten bewertet worden ist. Demnach sind Cliff-edge-Effekte durch Verlagerung großer Komponenten bei schweren Erdbeben nicht möglich. Es wurden einige Möglichkeiten für Optimierungen erkannt, die umgesetzt wurden.

Bewertung der RSK

Die Bewertung beschränkt sich auf die Fragen, ob die von den Betreibern vorgestellte Vorgehensweise den Empfehlungen der RSK in [2] entspricht und die Ergebnisse der entsprechend durchgeführten Untersuchungen grundsätzlich plausibel sind. Insgesamt kommt die RSK zu folgenden Bewertungen:

- Der von den Betreibern gewählte methodische Ansatz zur Ausweisung von Reserven stimmt mit der RSK-Empfehlung überein. Die von den Betreibern beschriebenen Verfahren zur Ermittlung von Reserven (mittels einer SPSA) entsprechen der international üblichen Vorgehensweise.
- Die vom VGB angegebenen Reserven für ein Erdbeben mit einer gegenüber der Auslegungsintensität um eine Intensitätsstufe erhöhten Einwirkung weist nach Darstellung des VGB eine bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit der Hochdruckeinspeisung von ca. 2% aus. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der anderen Sicherheitsfunktionen liegt nach VGB Angaben mindestens eine Größenordnung darunter. Auf Basis dieser Angaben ist es nach Ansicht der RSK plausibel, dass der Robustheitslevel 1 erreicht wird. Vor dem Hintergrund des meldepflichtigen Ereignisses ME 16/063 „Fehlerhafte Verbindungsbolzen an Halterungen von Lüftungskanälen“ in KKP-2 im Dezember 2016 findet in der RSK allerdings aktuell noch eine generische Beratung zur Belastbarkeit der SPSA Ergebnisse statt.
- Der methodische Ansatz zur Bewertung der Robustheit gegen Erdbebeneinwirkungen im Nichtleistungsbetrieb und während kurzer Betriebszustände ist nach Auffassung der RSK ebenfalls geeignet, die Umsetzung der entsprechenden RSK Empfehlung zu erfüllen. Voraussetzung ist, dass die Folgerungen,

die aus der gemäß VGB Darstellung durchgeführten Begehung gezogen wurden, in allen weiteren NLB-Zuständen und kurzen Betriebszuständen eingehalten werden.

- Der PGA Wert für das betrachtete Erdbeben der Intensität VIII für die SWR Anlage liegt bei 1,6 m/s² [48, Anhang 3]. Daraus ergibt sich für den Robustheitslevel 1 ein PGA Wert von > 0,1 g, so dass die Einhaltung der IAEA Anforderung auf Basis der in [6] genannten Kriterien plausibel ist.

C.2.4 Konkretisierung der Empfehlung zu Hochwasser

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Sofern ein Pegelstand, bei dem eine Gefährdung vitaler Sicherheitsfunktionen zu besorgen ist, nicht aufgrund der standortspezifischen Gegebenheiten ausgeschlossen werden kann, sind die Kriterien aus der Sicherheitsüberprüfung [1] für mindestens Level 1 heranzuziehen. Alternativ kann standortspezifisch begründet dargelegt werden, dass eine postulierte Abflussmenge, die durch Extrapolation vorhandener probabilistischer Kurven auf eine Eintrittshäufigkeit von $10^{-5}/a$ ermittelt wird, nicht zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen führt. Für Tidestandorte gilt eine analoge Vorgehensweise. Die hierbei angewandte Methodik ist nachvollziehbar darzulegen.

Die Auftriebssicherheit von Kanälen und Gebäuden ist dabei zu berücksichtigen.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folie 16
- VGB-Schreiben vom 02.05.2016 [37]
- VGB-Mail vom 10.06.2016 [38]
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]

Für das gemäß KTA 2207 mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von $10^{-4}/a$ (10.000-jährlich, HQ10.000) auftretende Hochwasser wurde ein Abfluss von 2.100 m³/s mit einem zugehörigen Hochwasserstand von 433,33 m üNN bestimmt [42]. Bei diesem Bemessungshochwasserstand wäre das Anlagengelände (433,0 m üNN) überflutet, allerdings mit einer Reserve von mehr als 1 m, bevor das Wasser sicherheitstechnisch wichtige Systeme und Komponenten beeinträchtigen könnte.

Nach dem Ereignis in Fukushima wurde der Bemessungshochwasserstand nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik (zweidimensionale Berechnungen) für einen Abfluss von 2.100 m³/s neu ermittelt. Er beträgt maximal 432,92 m üNN. Bei diesem Bemessungshochwasserstand ist das Anlagengelände nicht überflutet.

Zur weiteren Quantifizierung der Reserven gegen auslegungsüberschreitende Hochwasser wurde in 2012 außerdem die Wasserspiegellage ermittelt, die bei einem um 50 % zu HQ10.000 erhöhten Abfluss der Donau (3.150 m³/s) zu erwarten wäre. Dieser Abfluss würde rechnerisch in einer maximalen Wasserspiegellage von 433,18 m üNN resultieren, also einen Pegelanstieg von nur 26 cm. Eine Abflussmenge, die einen Pegel von

434,50 m üNN zur Folge hätte, also den vorhandenen Freibord ausschöpfen würde, kann als ausgeschlossen angesehen werden. Im Rahmen der Robustheitsanalyse wurde der Standort daher als sicher bei Hochwasserereignissen bewertet.

Darüber hinaus sind noch Vorkehrungen für die temporäre Aufstellung von mobilen Spundwänden zur Verbesserung der Zugänglichkeit von Zugangstüren getroffen worden. Weiterhin sind drei Boote zur Personenbeförderung beschafft worden.

Bewertung der RSK

Nach Aussage des Betreibers sind neue Analysen für den Hochwasserpegel bei den SWR-Anlagen durchgeführt worden (für Bemessungshochwasser mit Eintrittshäufigkeiten $10^{-4}/a$ sowie für ein Hochwasser mit 50% höher angenommener Abflussmenge). Hierbei ist festgestellt worden, dass das Anlagengelände für das Bemessungshochwasser wasserfrei bleibt bzw. auch bei der erhöhten Abflussmenge der vorhandene Freibord bei weitem nicht ausgeschöpft wird. Auf dieser Basis ist der Robustheitslevel 1 erfüllt. Darüber hinaus können aufgrund der Vorlaufzeit für extreme Hochwasser erforderlichenfalls die noch verfügbaren zusätzlichen Maßnahmen getroffen werden.

C.2.5 Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Es sollten folgende Sachverhalte dargestellt bzw. geklärt werden:

- *Darstellung der bei einer Überflutungshöhe von 2 m auf der unteren Ringraumebene ausfallenden sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen. Hierbei ist insbesondere zu prüfen, welche Auswirkungen sich durch die Überflutung von Messumformern und weiteren elektrischen und leittechnischen Einrichtungen im Ringraum auf die Nachwärmeabfuhr und die Borierung des Primärkühlmittels ergeben können. Hierbei ist darzustellen, ob Maßnahmen behindert, verhindert oder fehlerhaft ausgelöst werden können.*
- *Unter Berücksichtigung dieses Punktes ist darzustellen, welche Maßnahmen je nach Betriebsphase im Einzelnen gesichert zur Verfügung stehen, um unter den Randbedingungen einer auslegungsüberschreitenden Überflutung des Ringraums bis zu einer Fluthöhe von 2 m einen unzulässig langen Ausfall vitaler Sicherheitsfunktionen zu vermeiden. Insbesondere ist darzustellen, mit welchen Maßnahmen*
 - *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen ausgehend vom Leistungsbetrieb kurzfristig die sekundärseitige Wärmeabfuhr sowie darüber hinaus ein Abfahren in den kalten drucklosen, unterkritischen Zustand gewährleistet sind und welche Einrichtungen hierfür kreditiert werden müssen und zur Verfügung stehen.*
 - *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen sowohl im Leistungsbetrieb als auch im Nichtleistungsbetrieb im erforderlichen Zeitrahmen die Kühlung des Brennelement-Beckens sichergestellt werden kann.*

-
- *bei auslegungsüberschreitenden Überflutungen im Nichtleistungsbetrieb mit abgesenktem Füllstand in den Hauptkühlmittelleitungen kurzfristig und mittelfristig eine Ergänzung des verdampften Inventars erreicht werden kann (dabei ist z. B. zu belegen, dass die Druckspeicher-Einspeisung gesichert verfügbar ist und aktiviert werden kann).*

Ferner ist aufzuzeigen, wie in Betriebsphasen mit geflutetem Reaktorbecken Szenarien mit Wasserverlusten in den Ringraum aus dem verbundenen System (RDB – Reaktorraum – Brennelement-Lagerbecken) unter allen Betriebsbedingungen der Brennelement-Beckenkühl- und Beckenreinigungssysteme (incl. Lecks verursacht durch Fehlhandlungen oder Fehlanregungen von RS-Schutzsignalen) verhindert und bei Versagen der dafür ggf. vorgesehenen Vorsorgemaßnahmen beherrscht werden.

Die in [2] formulierte Empfehlung bezog sich auf die spezifisch bei DWR-Anlagen in Deutschland gestehenden Randbedingungen. Die weiteren Betrachtungen seitens der RSK haben ergeben, dass auch beim SWR die Möglichkeit von auslegungsüberschreitenden Überflutungen im Reaktorgebäude besteht, mit der Folge, dass vitale Funktionen unverfügbar werden könnten.

Der VGB wurde deshalb um Informationen gebeten, die eine Einschätzung erlauben, ob es bei einer auslegungsüberschreitenden Überflutung im Reaktorgebäude zum Ausfall vitaler Funktionen kommen könnte.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folie 15
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 3. März 2016 [44]
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 14. März 2017 [46], Pkt. 9
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]

In [36] und [44] spricht der VGB die Thematik der Ringraumüberflutung beim SWR an. Als relevantes Ereignis wird ein großes Leck im nuklearen Nebenkühlwassersystem der Redundanzen 2 und 3 angesehen, da die Zwischenkühler im Reaktorgebäude angeordnet sind (für weitergehende Informationen s. Teil E2 „Ringraumüberflutung SWR“). Der Zwischenkühler der Redundanz 1 ist dagegen im nuklearen Betriebsgebäude installiert, so dass ein derartiges Ereignis in Redundanz 1 nicht zu einer Überflutung im RG-Ringraum führen kann. Es wurde vom VGB auf die Abschottung der Redundanzbereiche innerhalb des Reaktorgebäudes bis zu einer Höhenkote von 0 m verwiesen, so dass von den Redundanten 2 und 3 jeweils ca. 1.600 m³ Wasser aufgenommen werden können, bevor es zu redundanzübergreifenden Auswirkungen kommt. Es sind zweikanalige Sumpffüllstandsmessungen entsprechend den Anforderungen der KTA-Regel 3501 vorhanden, die frühzeitig zu Meldungen (Sicherheitsgefahrenmeldungen) und zu automatischen Maßnahmen mit Abschalten der betroffenen Pumpen der Systeme VE, TF und TH führen. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass der gesamte Reaktorschutz auf Ebene +8,3 m installiert ist und damit eine Überflutung praktisch ausgeschlossen ist. Somit bleiben nach Darstellung des VGB die Iso-Ventile des Speisewasser- und Frischdampfsystems ansteuerbar, wodurch die Nachwärmeabfuhr entweder über das Frischdampfsystem RA an die Hauptwärmesenke oder über das Öffnen der diversitären Druckbegrenzungsventile und die Abgabe von Dampf aus der Kondensationskammer über das Ventingsystem bei Bespeisung des RDB mit dem Speisewassersystem RL verfügbar bleiben.

Wenn das Kompartiment der Redundanz 2 überflutet ist, ist die Notfallmaßnahme zur RDB-Bespeisung über mobile Pumpen nicht durchführbar. Möglich blieben gemäß [46] die Einspeisung von Speisewasser und die Wärmeabfuhr über die Frischdampfleitungen und als Maßnahmen, mit denen Zeit gewonnen werden kann, die Einspeisung von Kühlmittel über Steuerstabantriebspumpen oder die Kühlwassereinspeisung über die Dichtungssperrowasserpumpen der Kühlmittelumwälzpumpen.

Bewertung der RSK:

Ein Potenzial für eine Überflutung des Reaktorgebäuderingraums besteht durch die Nebenkühlwasserleitungen und Zwischenkühler der Redundanten 2 und 3 in den jeweiligen Kompartments im RG. Leckmengen bis zu 1.600 m³ führen nicht zu redundanzübergreifenden Ausfällen. Bei einer unterstellten Überflutung eines Kompartments erfolgt die Flutung weiterer Kompartments durch überströmendes Wasser.

Im ungestörten Leistungsbetrieb befinden sich die Nebenkühlwasserpumpen grundsätzlich abgeschaltet im Bereitschaftszustand (nur kurze Betriebszustände für Wiederkehrende Prüfungen oder Temperaturhaltung der Kondensationskammer), so dass das Potenzial für das Eintreten einer redundanzübergreifenden Ringraumüberflutung im Leistungsbetrieb als gering anzusehen ist. Bei abgeschalteter Anlage ist mindestens ein Strang des Nebenkühlwassersystems in Betrieb.

Bei einem unterstellten Leck in einer Nebenkühlwasserleitung mit Wassereintrag in das jeweilige Kompartiment der Redundanten 2 oder 3 wird über eine Begrenzungsfunktion die jeweilige Nebenkühlwasserpumpe abgeschaltet. Eine Überflutung der Kompartments bei abgeschalteter Pumpe ist bei Flusswasserständen bis zur Höhe des aktuellen Bemessungshochwassers aufgrund der geodätischen Verhältnisse nicht zu besorgen. Eine redundanzübergreifende Ringraumüberflutung aus dem Nebenkühlwassersystem setzt somit neben dem Leck das Versagen dieser automatischen Maßnahme und von Handmaßnahmen voraus, zu denen die Schicht durch die mit der Überflutung erzeugten Sicherheitsgefahrenmeldung aufgefordert wird.

Der Gutachter geht gemäß [48] davon aus, dass bei der angenommenen Überflutung des Kompartments 2 (3) ein relevanter Übertritt von Wasser in das andere Kompartiment 3 (2) erst nach > 40 min aufträte. Da diversitäre Maßnahmen vorhanden und in 20 min oder weniger durchführbar sind, um die Einspeisung von Wasser zu unterbinden, wird eine Überflutung beider Kompartments vom Gutachter als sehr unwahrscheinlich angesehen.

Würde unabhängig davon eine redundanzübergreifende Ringraumüberflutung unterstellt, so erfolgte nach Darstellung des VGB [44] und [46] aufgrund der Höhenanordnung des Reaktorschutzsystems bei einer Flutung der Kompartments keine Überflutung leittechnischer Einrichtungen derart, dass die weitere Ereignisbeherrschung durch Fehlsignale erschwert wird.

Davon ausgehend kann die Dampfabfuhr aus dem RDB nach Ansicht der RSK auch bei einer unterstellten redundanzübergreifenden Ringraumüberflutung gewährleistet werden:

- Bei druckdicht geschlossenem RDB kann die Abfuhr des im RDB erzeugten Dampfes jedenfalls über die motorbetrieobenem DDV in die KOKA erfolgen, die Nachwärmeabfuhr aus der KOKA über das Ventingsystem.

-
- Bei nicht druckdicht verschlossenem RDB erfolgt die Dampffreisetzung in das Reaktorgebäude. Das Reaktorgebäude besitzt Überströmöffnungen zum Maschinenhaus, die bei einem Druckunterschied von ca. 60 mbar öffnen – siehe Abschnitt C.2.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“.

Hinsichtlich der Kühlmittelnachspeisung bestehen folgende Möglichkeiten:

- Bei gefülltem Flutraum und geöffnetem Schwenkschütz sowie bei Kernvollausschüttung kann die Kühlmittelnachspeisung über die Notfallmaßnahmen für das BELB erfolgen – siehe Abschnitt C.2.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“.
- In Anlagenzuständen mit geschlossenem RDB, in denen das Speisewasser- oder das Hauptkondensatsystem noch verfügbar ist, können diese zur RDB Bespeisung genutzt werden.
- Bespeisung aus dem Kondensatvorratsbehälter (KVB) mittels TE- und YT-Pumpen. Der KVB wird nach Darstellung des Gutachters nur zu Prüfzwecken entleert, er kann gemäß [52] mittels Notfallmaßnahmen aus dem Feuerlöschesystem nachgespeist werden.¹

Insgesamt kommt die RSK zu dem Ergebnis, dass für den SWR eine ausreichend hohe Robustheit hinsichtlich potentieller Ringraumüberflutungen gegeben ist.

C.2.6 Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz

(Absturzes eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken, Absturzes von Lasten in den RDB, unzulässige Rückwirkungen auf die Druckführende Umschließung)

Empfehlung der RSK [2], Teil 1

Es wird daher empfohlen:

- *die Auswirkungen des Absturzes eines Brennelement-Transportbehälters in das Brennelement-Lagerbecken im Hinblick auf einen Verlust an Beckenwasser zu analysieren. Die Überspeisbarkeit von auftretendem Verlust an Beckenwasser ist zu überprüfen, ggf. sind spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen.*
- *Ebenso sind die Auswirkungen des Absturzes von Lasten in den RDB oder auf die im Nichtleistungsbetrieb vorhandene Verbindung von RDB und BE-Lagerbecken zu analysieren. Ggf. sind abhängig von den Folgewirkungen spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen.*
- *Bezüglich der Handhabung von Lasten im Umfeld von sicherheitstechnisch erforderlichen Einrichtungen ist zu analysieren, ob sich nach einem postulierten Absturz einer Last unzulässige Rückwirkungen auf die Druckführende Umschließung ergeben oder redundanzübergreifende Schäden resultieren, die zu „cliff-edge“ Bedingungen in der Anlage führen können.*

¹ Diese Maßnahme steht unabhängig von den beiden vorgenannten zur Verfügung und ist bei abgeschalteter Anlage ausreichend zur Ergänzung des verdampften Kühlmittels.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folien 4 – 6
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 16-18
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15] Folien 4-6
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017, Pkt. 10 [46]
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]

Für den SWR wurden Ausführungen zum postulierten Lastabsturz des RDB-Deckels auf den RDB sowie zum postulierten Lastabsturz des Transportbehälters gemacht (für weitere Informationen s. Anhang F).

Im Rahmen der SWR-Sicherheitsanalyse wurde 1991 eine Untersuchung der GRS zum Lastabsturz des RDB-Deckels auf den RDB mit Auswirkungen auf die Standzarge durchgeführt. Dort wurde festgestellt, dass eine Gefährdung der Kühlbarkeit der Brennelemente durch den Absturz nicht zu unterstellen ist [45]. Vom VGB wird daher kein „Cliff-edge“-Effekt gesehen.

Für die BE-Transportbehälter gilt:

- Transport- und Handhabungsvorgänge sind im 40-Meter-Handbuch geregelt und erfolgen innerhalb des Reaktorgebäudes nur mit dem Reaktorgebäudekran nach begutachtetem Schrittfolgeplan über speziell dafür ausgewiesenen/nachgewiesenen Bereichen. Die größte Transporthöhe wird beim Heben über das Geländer am BE-Lagerbecken (1,10 m) mit ca. 1,30 m erreicht. Über administrative Regelungen ist sichergestellt, dass der Transportbehälter ausschließlich im peripheren Bereich des Reaktorgebäudes zwischen Transportschacht und dem separaten Transportbehälterbecken bewegt wird (Folie 17 in [36]).
- Unter dem Boden des Transportschachts (0 m) befindet sich der Hauptschleusenvorraum (-5 m bzw. -3,5 m), darunter ein leerer Anlagenraum (-8,3 m). Die Beschädigung von Sicherheitseinrichtungen durch einen CASTOR-Absturz im Transportschacht ist damit nicht möglich.
- Verriegelungen am Reaktorgebäudekran verhindern einen Lasttransport im Beckenbereich unter Last. Die Kranhaken können ohne Schlüsselschalter grundsätzlich nur unbelastet und in Höchststellung über dem Becken verfahren werden. Ein Verfahren der Kranhaken über dem Becken unter Last ist nur mit Schlüsselschalter möglich.
- Das Transportbehälterbecken und der Fahrbereich der BE-Transportbehälter sind nach [36] gegen einen Absturz ausgelegt. Der Absturz des Transportbehälters in das Transportbehälterbecken ist im Rahmen der Anlagenerrichtung mit dem Ergebnis untersucht worden, dass der Boden des Transportbehälterbeckens diesem Absturz stand hält, sodass auch hier kein Potential für einen „Cliff-edge“-Effekt zu erkennen ist.
- Der Sturz eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken (auch durch fehlerhaftes Aufsetzen auf der Kante des Transportbehälterbeckens und anschließendes Kippen ins BE-Lagerbecken) wird vom VGB ausgeschlossen, da Ereignisse mit Überlagerung des Fehlfahrens des KTA-Krans und gleichzeitigem Versagen des KTA-Gehänges im Sinne der Fußnote in den SiAnf, Punkt 2.5 (1) nicht zu unterstellen sind. Weiterhin ist auch ein Aushängen des Hebezeugs bei einem fehlerhaften Aufsetzen auf der Transportbehälterbeckenkante mit beginnendem Kippen aufgrund konstruktiver Maßnahmen in den Anschlagsmitteln nicht zu unterstellen [48, Anhang 1]. Damit ist der Absturz eines Transportbehälters in das BE-Lagerbecken insgesamt nicht zu unterstellen.

Bewertung der RSK

Auch wenn nach Auffassung der Betreiber ein Absturz schwerer Lasten nicht angenommen werden muss, wurde die Möglichkeit eines Absturzes schwerer Lasten und dabei ggf. auftretender Auswirkungen untersucht. Für die unterstellten Szenarien zeigen die Angaben der Betreiber, dass – ggf. unter Berücksichtigung von Notfallmaßnahmen – die Folgen so begrenzt bleiben, dass gravierende Auswirkungen auf die Umgebung nicht zu unterstellen sind. Ein Absturz des BE-Transportbehälters ins BE-Lagerbecken wird von den Betreibern dabei ausgeschlossen, da ein Fahren über das Becken durch Verriegelungen und administrative Vorgaben verhindert werde und eine Kombination von einem dennoch angenommenen Fehlfahren mit einem gleichzeitigen Versagen des Hebezeugs nicht zu unterstellen sei.

Da auch ein Aushängen des Hebezeugs bei einem fehlerhaften Aufsetzen auf der Kante des Transportbehälterbeckens nicht unterstellt werden muss, schließt sich die RSK dieser Bewertung an.

Zu den weiteren Analysen der Betreiber kommt die RSK zu den folgenden Bewertungen:

- Ein Absturz in das Transportbehälterbecken wurde für sehr unwahrscheinlich eingestuft, aber dennoch unterstellt. Aufgrund der Auslegung des Transportbehälterbeckens wird gefolgert, dass keine relevanten Schäden mit der Folge von Leckagen auftreten.
- Für einen unterstellten Absturz des RDB-Deckels auf den RDB hatten bereits Untersuchungen im Rahmen der SWR-Sicherheitsanalyse gezeigt, dass dadurch keine nichtüberspisbaren Leckagen entstehen würden.
- Für andere, nicht ausgeschlossene Lastabsturzereignisse wurde kein Potenzial für unzulässige Schäden an der DfU oder für redundantenübergreifende Auswirkungen identifiziert. Dem folgt die RSK.

Hinweis: Das Thema „Transportbehälter am Haken des Gebäudekrans bei Erdbeben“ wird in Teil D Anhang Erdbeben (DWR und SWR), Abschnitt f „Nichtleistungsbetrieb, kurzzeitig anstehende Betriebszustände ([23], Folien 19-60)“, behandelt.

C.2.7 Erreichen der sicherheitstechnischen Zielsetzung von Notfallmaßnahmen auch bei naturbedingten EVA

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Die sicherheitstechnische Zielsetzung der Notfallmaßnahmen soll auch bei bzw. nach naturbedingten Bemessungseinwirkungen von außen (EVA) erreicht werden. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte bei/nach diesen EVA zu berücksichtigen:

- *ggf. anzunehmende Einschränkungen der Zugänglichkeit des Kraftwerksgeländes und von Kraftwerksgebäuden,*
- *die Funktionsfähigkeit der Notfallmaßnahmen und*
- *die Verfügbarkeit der Ausweichstelle.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 35
- Aktionsplan Dezember 2014 [24]

-
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folie 19

Grundsätzlich ist die Zugänglichkeit der Anlage auch unter EVA-Bedingungen über den Katastrophenschutzplan der Behörden geregelt und kann mit den technischen Möglichkeiten des Katastrophenschutzes und des Kerntechnischen Hilfszuges sichergestellt werden.

Im Zuge der Robustheitsanalyse wurde gezeigt, dass allein mit dem auf der Anlage vorhandenen Personal und den robust gelagerten Notfalleinrichtungen und Betriebsmitteln, auch unter Annahme von Beeinträchtigungen der Zugänglichkeit infolge Bemessungs-EVA, die vitalen Sicherheitsfunktionen aufrechterhalten werden können (bzgl. der dafür erforderlichen Stromversorgung s. auch Abschnitt C.2.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“).

Laut [36] zeigen neue Hochwasseranalysen, dass der Standort hochwasserfrei bleibt, sodass alle Notfallmaßnahmen durchführbar bleiben. Beim Bemessungserdbeben können die vitalen Sicherheitsfunktionen auch ohne Berücksichtigung von Notfallmaßnahmen erfüllt werden. Der Beitrag von zusätzlichen Notfallmaßnahmen zur Erhöhung der Robustheit ist daher beim Bemessungserdbeben als gering zu bewerten. Unabhängig davon wurde die Durchführbarkeit aller Notfallmaßnahmen unter den Bedingungen von Bemessungserdbeben und Auslegungshochwasser bewertet.

Notfallmaßnahmen, die zusätzlich beim Bemessungserdbeben auch ohne elektrische Energieversorgung zur Verfügung stehen, sind laut [36] die gefilterte Druckentlastung, die RDB-Bespeisung mit mobiler Pumpe oder Feuerlöschfahrzeug sowie die Nachspeisung des BE-Lagerbeckens mit Feuerlöschwasser.

Eine gleichzeitige Unverfügbarkeit der Ausweichstellen bei das Kraftwerk beeinträchtigenden Bemessungs-Ereignissen ist aufgrund der räumlichen Trennung nicht zu unterstellen (Ausweichstellen mehrere Kilometer vom Anlagengelände entfernt und nach DIN gegen Erdbeben ausgelegt).

Laut Aktionsplan ist eine systematische Überprüfung der Robustheit von Notfallmaßnahmen unter Berücksichtigung von EVA durchgeführt und dokumentiert worden. Eine neue Ausweichstelle wurde geschaffen, um deren Verfügbarkeit zu erhöhen.

Bewertung der RSK

Die Zugänglichkeit des Kraftwerksgeländes und von Kraftwerksgebäuden sowie die Funktionsfähigkeit der Notfallmaßnahmen sind bei Bemessungserdbeben und Bemessungshochwasser nach Ansicht der RSK gegeben. Im Hinblick auf die Verfügbarkeit der Ausweichstelle verweist die RSK auf die erforderliche sachgerechte Umsetzung der RSK/SSK-Rahmenempfehlungen zum Notfallschutz.

C.2.8 Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

- a) *Es ist zu zeigen, dass die für die vitalen Sicherheitsfunktionen benötigte Drehstromversorgung selbst dann gegeben ist, wenn bis zu einer Woche keine Netzanbindung verfügbar ist.*

b) Bei einem unterstellten Station Blackout sollen die erforderlichen vitalen Sicherheitsfunktionen erhalten bleiben oder rechtzeitig vor Erreichen von „cliff-edge“ Effekten wiederhergestellt werden können. Dies umfasst:

- Die für die vitalen Sicherheitsfunktionen benötigte Gleichstromversorgung soll selbst dann gegeben sein, wenn bis zu 10 h eine Drehstromversorgung nicht verfügbar ist. Ein autarkes Ladeaggregat zum Wiederaufladen von relevanten Batterien, welches EVA-geschützt vorgehalten ist, kann kreditiert werden, wenn die Karenzzeiten für Anschluss und Nutzung eines solchen Ladeaggregats sicher ausreichen.
- Des Weiteren ist zu zeigen, dass eine Drehstromversorgung im Rahmen einer anlagenspezifisch ermittelten Karenzzeit mit Ersatzaggregaten wiederhergestellt werden kann. Hierzu zählen aus Sicht der RSK:
 - EVA-geschützte Anordnung von standardisierten Einspeisepunkten außerhalb der Gebäude zur Versorgung der für den Erhalt der vitalen Sicherheitsfunktionen notwendigen Systeme. Durch eine entsprechende Ausführung der Einspeisepunkte soll gewährleistet werden, dass die dafür erforderlichen Notstromschienen bzw. die Notspeisenotstrom-schienen versorgt werden können, ohne den Schutzzustand der entsprechenden Gebäude (z. B. Lüftungsabschluss und Hochwasserschutz) gegenüber den betreffenden EVA zu beeinträchtigen. Die Einspeisepunkte sind rückwirkungsfrei auszuführen.
 - mindestens ein EVA-geschützter mobiler Notstromgenerator mit einer Leistung für eine Nachkühlredundanz.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 44-49,
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folie 9, 13, 16 und
- Aktionsplan Dezember 2014 [24]
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folie 20
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]

Im Rahmen des VGB-Konzepts wurden folgende Maßnahmen und Einrichtungen realisiert:

- Für Unverfügbarkeit der Netzanbindung bis zu einer Woche
 - Verlängerung der Diesellaufzeit bis sieben Tage unter Nutzung gesicherter Kraftstoffvorräte (mit Abschaltung nicht benötigter Diesel (Treibstoffeinsparung)), zusätzlicher Dieseltank, Bevorratung von Schmierstoffen, Errichtung zentraler Tankanlage.
- Erhalten der vitalen Sicherheitsfunktionen bei SBO durch:
 - Die batteriegepufferte Stromversorgung steht bei unterstelltem vollständigen Ausfall der Stromversorgung mindestens 5 Stunden und für einzelne Schienen bis zu 15 Stunden zur Verfügung.
 - Das Öffnen der drei diversitären Druckbegrenzungsventile ist während der ersten 10 Stunden des Unfallablaufes möglich. Es wurde eine BHB-Optimierung zum Öffnen der drei diversitären Druckbegrenzungsventile vorgenommen.
 - Implementierung eines zusätzlichen mobilen Notfalldiesels je Block mit Einspeisepunkten und zusätzlicher mobiler Tauchpumpe mit eigener Stromversorgung

Mit Hilfe des Notfalldiesels, der innerhalb von 80 Minuten einsatzbereit gemacht werden kann, kann über eine 10-kV Notstromschaltanlage die Gleichstromversorgung eines der Sicherheitsteilsysteme 2 oder 3 gewährleistet werden.

- Einsatz von Feuerlöschfahrzeugen für die RDB-Bespeisung.
- Maßnahmen zur Erhöhung des Einspeisedruckes für die RDB-Bespeisung durch Verblockung von Sicherheitsventilen im Nebenkühlwassersystem.

Mit dem genannten mobilen Dieselaggregat kann zwar keine komplette Nachkühlkette zusätzlich versorgt werden [46, Pkt. 6]. Dies ist jedoch aus Sicht des VGB nicht erforderlich, da mit dem zusätzlichen Nachwärmabfuhr- und Einspeisesystem (ZUNA) bereits eine diversitäre Möglichkeit der Wärmeabfuhr besteht. Außerdem ist wegen der Möglichkeit der direkten Einspeisung von Wasser in den Reaktordruckbehälter (RDB) die Wärmeabfuhr ganz ohne Betrieb von Pumpen des Not- und Nachkühlsystems möglich. Deshalb wurde gegen ein schwereres und deshalb ungünstiger handhabbares Dieselaggregat entschieden.

Bewertung der RSK

Bei sachgerechter Umsetzung des vom VGB vorgesehene Konzepts ist die Empfehlung der RSK zur Absicherung der vitalen Funktionen bei unterstellter Unverfügbarkeit des Netzes bis zu einer Woche sowie bei unterstelltem SBO in ausreichendem Umfang erfüllt.

C.2.9 Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- *EVA-geschütztes Vorhalten mobiler Pumpen und von sonstigem Einspeiseequipment (Schläuche, Anschlussstücke, Kupplungen etc.) sowie von Bor mit einer Vorgabe von Karenzzeiten für die Bereitstellung einschließlich Antransport.*
- *Gewährleistung einer auch nach EVA verfügbaren Wasserentnahmestelle.*
- *Wassereinspeisemöglichkeiten in den Dampferzeuger, das Reaktorkühlsystem und ggf. die Kondensationskammer sowie den Reaktorsicherheitsbehälter (hierbei auch unter Berücksichtigung höherer Gegendrücke), ohne dass ein Betreten von Bereichen mit hohem Gefährdungspotential (Dosisleistung, Trümmerlast) erforderlich ist und um örtliche Zerstörungen kompensieren zu können (z. B. durch festverlegte und räumlich getrennte Einspeisewege).*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 37
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folie 13, 16-18
- VGB Power Tech e.V., Beantwortung von Fragen der ad-hoc Arbeitsgruppe Robustheit zum SWR, 02.02.2016 [36]

-
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]
 - VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 14. März 2017 [46]
 - Volker Noack, E-Mail vom 29.03.2017 [47]

Diverse Einspeisemöglichkeiten in den RDB waren für KRB bereits vor Fukushima im NHB vorhanden (z. B. Einspeisung mit TH-Füllpumpen, Steuerstabantriebspumpen, Dichtungssperrwasserpumpen, passive Einspeisung mit Dampfdruck aus dem SpW-Behälter).

Das VGB-Konzept umfasst nun folgende zusätzliche Maßnahmen zur Wassereinspeisung beim SWR:

- In den RDB durch Tauchpumpe mit Anschluss an das nukleare Nebenkühlwassersystem VE2 im Kühlwasserpumpenhaus und Einspeisung über TH2 sowie durch die zusätzliche Möglichkeit, ein Sonderlöschfahrzeug als mobile Pumpen zu verwenden.
Gemäß [46] wird im Notfallhandbuch (NHB) empfohlen, mit dem Einspeisevorgang bei einem RDB-Druck von weniger als 7 bar_{abs} zu beginnen. Das Notfallhandbuch sieht außerdem eine Bespeisung bis zu einem RDB-Druck von 10 bar_{abs} vor. Die mobile Pumpe ist mit einem Sicherheitsventil auf einen Druck von 13 bar_{abs} begrenzt, das heißt, sie fördert mit bis zu 13 bar_{abs} in den RDB. (13 bar_{abs} ist nicht die Nullförderhöhe, die Einspeiserate bei diesem Druck beträgt noch 18 kg/s). Für die Maßnahme wurden die vorhandenen Sicherheitsventile im VE-System blockiert, nachdem Bewertungen der Rohrleitungen ergeben hatten, dass in den Leitungen des VE-Systems keine Druckbegrenzung erforderlich ist [46]. Dadurch ist eine Bespeisung des RDB über mobile Einrichtungen auch bei postulierten auslegungsüberschreitenden Szenarien möglich bei denen das Ventingsystem zur Wärmeabfuhr aus dem RSB genutzt wird.
- Zusätzlich zur bereits bestehenden Notfallmaßnahme (Anschluss eines Feuerlöschschlauchs an die bestehende Feuerlöschleitung der +40 m-Ebene auf Höhe des Brennelement-Lagerbeckens) wird eine Einrichtung als Notfallmaßnahme zur Kühlung der Brennelement-Lagerbecken fest installiert, so dass im Anforderungsfall keine Notwendigkeit besteht, gefährdete Räume zu betreten – siehe Abschnitt C.2.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“.

Die Lagerung von Notfallequipment wurde hinsichtlich der Verfügbarkeit bei EVA-Einwirkungen überprüft. Optimierungen wurden vorgenommen: z. B. werden die mobilen Pumpen zusammen mit einem Fahrzeug für ihren Transport in einem beheizbaren Zelt gelagert. Damit bleiben die Einrichtungen bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben mit hoher Zuverlässigkeit verfügbar.

Bewertung der RSK

Das VGB Konzept erfüllt die Empfehlungen der RSK zur EVA-sicheren Lagerung mobiler Komponenten und hinsichtlich zusätzlicher Einspeisemöglichkeiten in den Reaktordruckbehälter und das BE-Lagerbecken. Aufgrund der Tatsache, dass zur Sicherstellung der Unterkritikalität bei SWR eine Borierung des Kühlmittels nicht erforderlich ist, ist die o. g. RSK-Empfehlung zum Vorhalten von Bor hier nicht relevant.

C.2.10 Gefilterte Druckentlastung bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Die Einrichtungen zur gefilterten Druckentlastung sind so abzusichern, dass die Druckentlastung auch bei bzw. nach naturbedingten Bemessungs-EVA und bei Station Blackout wiederholt durchgeführt werden kann. Zudem ist die Wirksamkeit der Einrichtungen zum Wasserstoffabbau im Sicherheitsbehälter entsprechend abzusichern.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 33, 44 und
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15]
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 20 und 21
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]

Die dem Design und der Auslegung zugrundeliegenden Unterlagen des Systems der gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters unter den Belastungen des Bemessungserdbebens wurden bewertet. Laut [36] hat die Analyse ergeben, dass das Druckentlastungssystem bei Bemessungserdbeben verfügbar bleibt. Ein Erdbebennachweis liegt für das System aber nicht vor. Die wesentliche Voraussetzung für die Verfügbarkeit bei Bemessungserdbeben war die Standsicherheit des Maschinenhauses, die mittels einer Standsicherheitsbewertung (siehe auch C.2.3 „Konkretisierung der Empfehlung zu Erdbeben“) gezeigt werden konnte.

Bei sichergestellter Integrität ist auf dem Entlastungspfad eine Bildung zündfähiger Wasserstoff-Luft-Gemische nicht zu besorgen, da die entsprechende Abgasleitung bis zum Kaminende geführt ist und damit Luftbeimischungen auf der Abluftstrecke nicht auftreten können.

Die gefilterte Druckentlastung ist auch über Handräder bei nicht vorhandener Stromversorgung einzuleiten und zu beenden. Eine radiologische Abschirmung ist durch die Wand zwischen den beiden Handrädern und der Druckentlastungsleitung gegeben. Damit ist selbst bei unverfügbarer Stromversorgung ein Venting wiederholt durchführbar.

Bewertung der RSK

Laut Aussage des VGB zur Ausführung des Systems zur gefilterten Druckentlastung beim SWR ist gezeigt worden, dass das System den Belastungen des Bemessungserdbebens standhält. Insbesondere konnte dies durch eine Standfestigkeitsanalyse des Maschinenhauses gezeigt werden. Die Maßnahme ist wiederholt durchführbar. Damit ist die Empfehlung der RSK erfüllt.

C.2.11 Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen im Rahmen des Notfallschutzkonzepts unter Beachtung folgender Aspekte:

-
- *Wassereinspeisemöglichkeiten in das Brennelement-Nasslager, ohne dass ein Betreten von Bereichen mit hohem Gefährdungspotential (Dosisleistung, Trümmerlast) erforderlich ist und um örtliche Zerstörungen kompensieren zu können (z. B. durch festverlegte und räumlich getrennte Einspeisewege).*
 - *Zur Absicherung der Verdampfungskühlung: Nachführung der Nachweise für Brennelement-Lagerbecken, Flutraum, Absetzbecken, Flutkompensator auf Siedetemperatur.*

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 44, 50-52, 67,
- VGB-Vortrag vom 05.11.2015 [15], Folie 13, 18
- Aktionsplan Dezember 2014 [24]
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folie 22
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 3. März 2016 [44]
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]

Das Konzept des VGB verfolgt das Ziel, die BE-Kühlung auch unter auslegungsüberschreitenden Ausfallannahmen so abzusichern, dass ein Auftreten gravierender BE-Schäden einschließlich H₂-Bildung ausgeschlossen werden kann. Wesentliche Bestandteile des Konzepts für den SWR sind:

- **Zusätzliche Vorkehrungen zur Kühlmittelergänzung im BE-Lagerbecken**
Bei unterstelltem vollständigen Ausfall der Beckenkühlsysteme kann eine Kühlmittelergänzung durch Einspeisung über ein Feuerlöschfahrzeug oder über eine mobile Pumpe erfolgen. Die Verbindung zur Einspeiseleitung erfolgt über einen fest installierten Anschlusspunkt mittels flexiblen Schlauchs. Der Anschlusspunkt befindet sich in einem Treppenhaus im Reaktorgebäude außerhalb des Sicherheitseinschlusses. Der Zugang von außen kann über eine in der Nähe befindliche Fluchttür erfolgen. Damit ist ein Betreten potentiell gefährdeter Bereiche des Reaktorgebäudes nicht erforderlich.
- **Abfuhr der Nachzerfallsleistung im BE-Lagerbecken durch Dampfabgabe in das Reaktorgebäude und Nachspeisen.** Die erforderliche Einspeiserate zur Kompensation der Verdampfung beträgt maximal 7 kg/s. Die Karenzzeit für eine Einspeisung, um ein Absinken des Wasserspiegels in den Bereich der aktiven Zone der BE zu verhindern, beträgt selbst bei Vollbeladung des BE-Lagerbeckens mehr als einen Tag. Für die Verdampfungskühlung wurde eine Betrachtung für eine Beckenwassertemperatur von 100 °C geführt. Höhere Temperaturen als etwas über 100°C müssen nicht betrachtet werden, da im Reaktorgebäude außerhalb des Sicherheitsbehälters kein relevanter Druckaufbau eintritt. Das Reaktorgebäude besitzt Überströmöffnungen zum Maschinenhaus, die bei einem Druckunterschied von ca. 60 mbar öffnen. Das Maschinenhaus ist ebenfalls mit Druckentlastungsklappen zur Atmosphäre versehen, die temporär bei einer Druckdifferenz von mehr als 12 mbar öffnen. Insgesamt beträgt der maximale Überdruck über dem BE-Lagerbecken daher ca. 60 mbar, sodass die Temperatur des Beckens an der Oberfläche 100 °C nur geringfügig überschreiten kann. Die Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken ist daher sichergestellt, solange die Brennelemente ausreichend mit Wasser bedeckt bzw. umgeben sind. Die Ergänzung von Beckenwasser kann langfristig erforderlich sein.

-
- Absicherung der Integrität des BE-Lagerbeckens bei Verdampfungskühlung

Es wurden nach [44], [46] ingenieurmäßige Analysen durchgeführt, dass die Lagerbeckenstruktur des SWR eine Beckenwassertemperatur von rund 100 °C ohne Beschädigungen beherrscht. Eine höhere Temperatur als rund 100 °C ist nicht zu besorgen, da durch offen stehende Abluftkanäle und/oder Druckabbauklappen zwischen Reaktorgebäude und Maschinenhaus beim Verdampfen des Beckenwassers kein relevanter Druckaufbau innerhalb des RG erfolgen kann.

Bewertung der RSK

Bei Umsetzung des beschriebenen Konzepts und aufgrund der großen Karenzzeiten, bis nach einem unterstellten Ausfall der Beckenkühlung eine Einspeisung in das BE-Lagerbecken wiederhergestellt werden muss, sowie der vergleichsweise einfachen Maßnahmen für die Nachspeisung in das BE-Lagerbecken, ist die Empfehlung der RSK erfüllt..

C.2.12 Kurzfristige Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG)

Empfehlung der RSK [2], Teil 2

Weiterhin sieht die RSK es als erforderlich an, dass die Einführung der Severe Accident Management Guidelines (SAMG) kurzfristig erfolgt.

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folien 38, 44, 56-58
- VGB-Vortrag zu SAMG SWR vom 02.10.2014 [12]
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folie 17
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46], Pkt. 19

Das „Handbuch mitigativer Notfallmaßnahmen (HMN)“ ist in den im Betrieb befindlichen SWR-Anlagen eingeführt, geschult und im Rahmen einer Notfallübung getestet worden. Das HMN besteht aus zwei Bänden. Der Band A des HMN enthält für die zu betrachtenden Anlagenzustände des Leistungs- und Nichtleistungsbetriebes der Reaktoranlage sowie des BE-Lagerbeckens Handlungsanweisungen zur Mitigation von Unfallabläufen. Er beinhaltet Anweisungen zur Bestimmung relevanter Anlagendaten, zur Diagnose des Kernschadenumfanges sowie zur Diagnose und Feststellung des Sicherheitsbehälterzustandes. Daran schließt sich die Bestimmung der für den ermittelten Anlagenzustand relevanten Strategie (sechs unterschiedliche Strategien im HMN vorhanden) an, die wiederum verschiedene Maßnahmenblöcke umfasst, welche abzuarbeiten sind. Als zusätzliches Hilfsmittel dient Band B des HMN, der Hintergrundwissen zu Kernschmelzunfällen, Begründungen für die einzelnen Strategien und Erläuterungen der Hilfsmittel enthält. Dieser Band ist für die Unfallmitigation nicht notwendig, sondern dient als zusätzliches Nachschlagewerk.

Nach Aussage des VGB [46] basieren der Einstieg in das HMN, die Strategiewahl und die Erfolgskontrolle für eingeleitete Notfallmaßnahmen auf Messungen, die aufgrund ihrer Auslegung auch bei Schädigungen des Kerns und/oder des Sicherheitsbehälters noch belastbare Informationen liefern können. Für jede im HMN

referenzierte Messung wurden der Mess-/Anzeigebereich und der Einsatz unter den bei einem Ereignis mit Kernschmelzen herrschenden Umgebungsbedingungen (zum Beispiel Druck, Temperatur, Feuchte, Strahlung) überprüft. In Fällen, bei denen die Zuverlässigkeit einer Messung nicht zweifelsfrei gegeben ist, werden im HMN geeignete Ersatzmessungen oder einfache Hilfsmittel zur Absicherung der jeweiligen Anlagenparameter angegeben. Dabei werden auch Informationen, die sich indirekt oder auf unkonventionelle Weise aus den Messwerten anderer Messstellen erschließen lassen, genutzt.

Die Einführung eines SAMG-Konzeptes ist in den SWR-Anlagen nach Zustimmung zu den notwendigen BHB-/SLS²-Änderungen durch die Aufsichtsbehörde erfolgt. Eine positive Stellungnahme des Gutachters der Aufsichtsbehörde liegt vor. Die Empfehlung ist umgesetzt.

Bewertung der RSK

Die Einführung der SAMG in den SWR-Anlagen ist erfolgt. Fachgespräche unter Beteiligung der GRS haben gezeigt, dass zur Struktur des HMN keine generischen Fragen offen sind. Aus dem Erfahrungsrückfluss, z. B. bei Notfallübungen, anfallende Hinweise auf Optimierungen von Darstellungstiefe und -umfang können erforderlichenfalls betriebsbegleitend umgesetzt werden.

Der Gutachter bestätigt, dass die relevanten Messstellen von der unterbrechungsfreien Stromversorgung versorgt werden und die langfristige Stromversorgung durch die mobilen Diesel sichergestellt werden kann (siehe C.2.8 „Verfügbarkeit der Drehstromversorgung für vitale Sicherheitsfunktionen“).

Die RSK weist ergänzend auf folgendes hin, was der Betreiber in der weiteren Optimierung berücksichtigen sollte:

- Die Auswirkungen der im HMN behandelten Kernschadenzustände auf die Nutzbarkeit der Infrastruktur sollten im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung systematisch analysiert werden. Die Auswirkungen von darin festgestellten Unverfügbarkeiten sollten in der Darstellung im HMN Berücksichtigung finden.

C.3 RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ aus der 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012

C.3.1 Maßnahmen zur Überprüfung und ggf. Verbesserung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf Blockaden des Kühlwasserzulaufs

Empfehlung der RSK [3]

Die RSK hält es für erforderlich, dass unter Berücksichtigung der in Fukushima und in anderen Anlagen gewonnenen Betriebserfahrungen eine Nachbewertung der Primären und soweit vorhanden der Diversitären Wärmesenke standortspezifisch erfolgt.

² Betriebshandbuch / Störfall-Leitschema

Bewertung der RSK

Hier handelt es sich um standortspezifische Aspekte im Bereich der Auslegung, die hier nicht weiter betrachtet wurden.

C.3.2 Maßnahmen zur Stärkung der Zuverlässigkeit der primären Wärmesenke im Hinblick auf den Eintritt von seltenen Einwirkungen von außen

Empfehlung der RSK [3]

Die RSK empfiehlt zu überprüfen, ob bei den Annahmen für Hochwasserereignisse auch die im Bereich der Kühlwasserentnahme zu erwartenden dynamischen Überhöhungen einer anlaufenden Flutwelle berücksichtigt wurden...

Im Zusammenhang mit der Nachbewertung des Hochwasserschutzes sowie der Auslegung gegen Erdbeben und andere sehr seltene Ereignisse wie Flugzeugabsturz sowie deren Folgewirkungen in der Umgebung der Anlage ist zu überprüfen, ob alle aus solchen Ereignissen ggf. resultierenden Ausfallursachen bei der Auslegung der Primären Wärmesenke im erforderlichen Umfang berücksichtigt wurden.

Bewertung der RSK

Hier handelt es sich um anlagenspezifische Aspekte im Bereich der Auslegung, die hier nicht weiter betrachtet wurden.

C.3.3 Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke

Empfehlung der RSK

Die RSK empfiehlt:

Die Nachwärmeabfuhr aus der Anlage und den Brennelementlagerbecken muss in allen Betriebszuständen auch bei Ausfall der Primären Wärmesenke aufgrund von Ausfallursachen im Bereich der Kühlwasserentnahmen und Kühlwasserrückführungen durch eine diversitäre Wärmesenke sichergestellt werden können (ggf. auch verschiedene Wärmesenken in Kombination). Die hierfür benötigten Einrichtungen müssen mindestens den Anforderungen an Notfallmaßnahmen genügen und deren Wirksamkeit ist nachzuweisen. ...

Die RSK empfiehlt – sofern nicht bereits vorhanden – die Nachrüstung einer Notfallmaßnahme mit der Kühlwasser in das Nukleare Zwischenkühlwassersystem eingespeist und wieder abgeführt werden kann. Die Versorgung kann durch mobile Einrichtungen erfolgen. Die Einspeisemengen müssen ausreichen für die Abfuhr der Nachzerfallsleistung aus Reaktor und Brennelementlagerbecken sowie der Verlustwärme der für einen solchen Kühlbetrieb erforderlichen Komponenten.

Die RSK empfiehlt, dass bei den Anlagen, die aufgrund der redundanzübergreifenden Zusammenführung der Kühlwasserrückläufe ein entsprechendes GVA-Potential aufweisen, entsprechende Notfallmaßnahmen zur Sicherstellung des Kühlwasserrücklaufes vorgesehen werden. [3]

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15], Folie 13
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 23 bis 25
- VGB-Konzept, Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, März 2015 [42]
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]

Als diversitäre Wärmesenke stehen zur Verfügung:

- Kühlmittelergänzung und Nachwärmeabfuhr durch das ZUNA-System
Damit ist die Einspeisung in den RDB sowie die Kühlung der KOKA bzw. des Flutraumes über das systemeigene Nebenkühlwassersystem VE4 mit den Nasszellenkühlern möglich. Die dauerhafte RDB Druckentlastung in die KOKA (bei verschlossenem RDB) kann hierbei durch Öffnen der drei motorbetriebenen diversitären Druckbegrenzungsventile erfolgen.
- Notfallmaßnahme frühzeitiges Öffnen und Offenhalten der drei diversitären Druckbegrenzungsventile in Kombination mit der gefilterten Druckentlastung und der RDB-Bespeisung unter Umgehung des nuklearen Zwischenkühler (Angaben zur Einleitung der Maßnahmen im BHB, zur Durchführung im NHB).
- Über die zusätzliche fest installierte Leitung kann das BE-Lagerbecken nachgespeist werden. Die Wärmeabfuhr kann über die Verdampfungskühlung erfolgen. Da das Reaktorgebäude nach Erreichen von 60 mbar Überdruck über Druckentlastungsklappen dauerhaft zum Maschinenhaus offen steht, kann die Temperatur des Beckenwassers außerhalb der BE-Kästen nicht mehr als 102 °C erreichen (s. hierzu C.2.11 „Stärkere Berücksichtigung der Nasslagerung von Brennelementen“).

Eine zusätzliche Notfallmaßnahme, mit der Kühlwasser in den nuklearen Zwischenkühlkreislauf eingespeist und aus diesem abgeführt werden kann, ist aus Sicht des VGB nicht erforderlich, da mit ZUNA und der Möglichkeit der direkten RDB-Bespeisung über Notfallmaßnahmen weitere Möglichkeiten der Kühlung auch bei Ausfall der primären Wärmesenke bestehen.

Bewertung der RSK

Der komplette Ausfall der Nebenkühlwasserversorgung aus dem Vorfluter kann über ZUNA und darüber hinaus durch die gefilterte Druckentlastung in Kombination mit einer Wassereinspeisung in den RDB beherrscht werden. Die Zielsetzung der RSK-Empfehlung ist damit erfüllt.

C.4 RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ aus der 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013

Empfehlung der RSK

Die RSK hat in ihrer 457. Sitzung am 11.04.2013 die Empfehlung ausgesprochen, „dass internationalen Entwicklungen (ENSREG, RHWG/WENRA) folgend Nachweise im Auslegungsbereich für die Beherrschung von Wetterbedingungen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von 10^{-4} /a geführt werden sollen. Sofern sich Einwirkun-

gen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, sollte mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung sowie eine hohe Robustheit ausgewiesen werden.“ Ergänzend wurde angeregt, im Sinne der Robustheit über diese Einwirkungen hinausgehende Einwirkungen mit ingenieurmäßigen Abschätzungen zur Ermittlung von Sicherheitsreserven zu berücksichtigen. [5]

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [16],
- VGB-Vortrag vom 17.07.2015 [17],
- VGB-Schreiben vom 24.08.2015 [27]
- VGB-Schreiben vom 03.03.2016 [30].

Nach Aussage des VGB kann bei allen der im Folgenden diskutierten Einwirkungen für die Beherrschung davon Kredit genommen werden, dass die jeweilige Anlage hinreichend schnell abgeschaltet und somit der Bedarf an Kühlwasser auf die für die vitalen Funktionen benötigte Menge reduziert werden kann.

A1 – Eisregen, Eissturm, Schneesturm

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Schnee- oder Eisablagerungen vitale Funktionen beeinträchtigt werden können (z. B. Zufuhr von Verbrennungsluft für Diesel, Zirkulation von Kühlwasser). Es sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- Räumlich getrennte und zur Windrichtung unterschiedlich orientierte Luft-Ansaugöffnungen, teilweise Schutz durch naheliegende Bauwerke,
- Kühlwassereinrichtungen außerhalb der Gebäude in frostsicherer Tiefe im Erdreich angeordnet,
- messtechnische Überwachung und elektrische Beheizung kritischer Stellen in Zellenkühlern,
- Möglichkeiten zum Bypass-Betrieb zum Vermeiden zu tiefer Temperaturen in Zellenkühlern,
- Anweisungen zu Kontrollgängen an kritischen Stellen und erforderlichenfalls zur Beseitigung von Ablagerungen.

A2 – Eisschollen auf dem Vorfluter

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Eisschollen und Packeisbildung die Zufuhr von Kühlwasser beeinträchtigt werden könnte. Dagegen sind z. B folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- In vielen Anlagen Ansaugung aus faktisch stehenden Gewässern ohne Potenzial für Packeisbildung,
- Kühlwasseransaugungen sehr tief gelegt (ca. -4 m) und damit frostsicher ausgeführt,
- bei Ansaugung aus ausströmenden Gewässern sind Einlaufbauwerke so zur Strömung ausgerichtet, dass Zusetzen durch Packeisbildung sehr unwahrscheinlich ist,
- standortspezifisch besteht die Möglichkeit zur Beimischung von vorgewärmten Rücklaufkühlwasser in den Zulauf,
- standortspezifisch diversitäre Wärmesenke mit Kapazität für abgeschaltete Anlage.

A3 – Extrem niedrige Lufttemperaturen

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Temperaturabsenkung flüssige Medien einfrieren oder zu zäh werden könnten. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert:

- Sicherheitstechnisch wichtige Systeme sind weitgehend innerhalb von Gebäuden in geschlossenen, beheizten und überwachten Räumen untergebracht,
- Leitungen sicherheitstechnisch wichtiger Systeme außerhalb der Gebäude sind in frostsicherer Tiefe im Erdreich angeordnet bzw. gegen Frosteinwirkungen geschützt,
- Beimischung von Frostschutzmittel in Messleitungen der Notstromdiesel,
- Vorwärmung von Notstromdieseln mit Hilfseinrichtungen,
- Betriebsbewährung von Dieselaggregaten bei Einsatz in Regionen mit extrem tiefen Temperaturen, u. a. sind keine Beeinträchtigungen in KKW in Russland, Kanada oder Finnland bekannt.

A4 – Extrem niedrige Umgebungstemperaturen

Durch Kombinationen anderer betrachteter Wettereinwirkungen und die entsprechenden Gegenmaßnahmen abgedeckt

A5 – Sulzeis und Schwebeis

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob durch Sulzeis und Schwebeis die Siebe der Kühlwasserreinigung zuge-setzt und damit die Zufuhr von Kühlwasser beeinträchtigt werden könnte.

Unter den Standortbedingungen der Anlagen ist das Auftreten von Sulzeis und Schwebeis sehr unwahrscheinlich. Unabhängig davon werden Auswirkungen durch die gleichen Gegenmaßnahmen wie bei A2 beherrscht.

A6 – Extrem niedriger, langanhaltender Vorfluterwasserstand

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob eine ausreichende Zufuhr von Kühlwasser bleibt. Dazu sind u.a. folgende Maßnahmen realisiert:

- Ansaughöhe der Einlaufbauwerke einige Meter unter dem niedrigsten gemessenen Wasserstand,
- messtechnische Überwachung (insbesondere Differenzdruck, Füllstand) kritischer Stellen,
- Reduzierung des erforderlichen Durchsatzes bei Erreichen von Grenzwerten,
- Nutzung zusätzlicher Wasservorräte (Brunnen, Wasserreservoirs),
- bei einigen Anlagen sicherheitstechnische Unabhängigkeit vom Vorfluter durch Zellenkühler.

A7 – Anlagenexterner Brand

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob eine unzulässige Einwirkung von Brandgasen und Hitze auf sicherheits-technisch wichtige Einrichtungen möglich ist:

-
- Keine großen Brandlasten in der Umgebung der Anlage,
 - Vorfeldüberwachung auf dennoch eventuell auftretende kleinere Brände und ihre Bekämpfung,
 - ausreichender Abstand sicherheitstechnisch wichtiger Anlagenteile zum Kraftwerkszaun zum Vermeiden direkter Einwirkung aus Bränden,
 - bei Auftreten von Rauchgasen Lüftungsabschluss der Zuluft in den sicherheitstechnisch relevanten Gebäuden ,
 - größere räumliche Trennung der Ansaugöffnungen der verschiedenen Notstromdiesel, Verwendung von Aggregaten (insbesondere Filtern), die gegenüber Rauchbelastungen robust sind,
 - Betriebsbewährung anderer Dieselaggregate unter Einsatzbedingungen, die sehr viel ungünstiger sind (z. B. Brandbekämpfung).

A8 – Langanhaltender Starkregen

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob ein Eindringen von Wasser in sicherheitstechnisch wichtige Gebäude möglich ist. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert:

- Für hochwasserfreie Standorte: Extreme Niederschläge können vom Anlagengelände auch bei unterstellter Unverfügbarkeit der Anlagen zur Oberflächenentwässerung abfließen, ohne sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen zu beeinträchtigen. Insbesondere wurden die Abflussverhältnisse im Bereich der Notstromdieselgebäude überprüft. Die Notstromdieselgebäude stellen einen Hochpunkt dar. Am Gebäude bestehen Schwellen in der Größenordnung von 15 cm Höhe, die das Eintreten von Regenwasser verhindern.
- Für Standorte mit Hochwasser auf dem Anlagengelände: wasserdichte Ausführung der Gebäude bis über den maximalen Hochwasserstand hinaus. Dadurch sind Betrachtungen für Starkregen abgedeckt.
- Schutz der Luftansaugung gegenüber Wassereintrag

Die deutschen Kernkraftwerksbetreiber haben den Sachverhalt der Wasserableitung im Bereich des Notstromdieselgebäudes generell für alle Anlagen überprüft. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten, der Geländeprofile im Bereich des Notstromdieselgebäudes und der aus den Messprofilen bei Hochwasser abgeleiteten geodätischen Höhenprofile des Geländes ist aufgrund konservativer Randbedingungen für den Ablauf von Starkregen ein Gebäudeeintritt von Wasser bei Starkregen auszuschließen.

A9 – Starkwind und Tornado

Aufgrund der Auslegung der für vitale Funktionen benötigten Bauwerke gegen Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle sind die bei Starkwind und Tornado möglichen Überdrücke abgedeckt.

Der bei einem Tornado mögliche Unterdruck (maximal ca. 0,2 bar) kann die Standsicherheit und Funktion dieser Bauwerke und ihrer Einrichtungen nicht beeinträchtigen, selbst wenn ein Öffnen von einzelnen Fluchttüren infolge des Unterdrucks nicht ausgeschlossen werden kann.

A10 – Sandstürme und Staubstürme

Im Wesentlichen wurde bewertet, ob, ein Eindringen von Sand oder Staub in sicherheitstechnisch wichtige Gebäude zu Beeinträchtigungen sicherheitstechnisch wichtiger Systeme führen kann. Dagegen sind u. a. folgende Vorkehrungen realisiert bzw. Maßnahmen vorgesehen:

- Keine größeren, durch Winde mobilisierbare Sand- und Staubreservoir in der Nähe der Standorte,
- gestaffelte Filterung der Zuluft für die Gebäude (Gitter gegen größere luftgetragene Teile, Aufbereitungsstrecken zur Einstellung von Luftfeuchte, -temperatur und -reinheit),
- Ansaugung der Verbrennungsluft der Diesel über eigene Filter, räumlich auseinanderliegende Ansaugmöglichkeiten,
- Differenzdrucküberwachung der Filter mit Signalisierung, bei Bedarf ist ein Filteraustausch oder eine Filterreinigung möglich,
- Betriebserfahrung zeigt hohe Reserven insbesondere der Filter der Notstrom-Dieselaggregate gegen Staubbelastung. So war zum Beispiel in einer Anlage beim Betrieb der Notstrom-Dieselaggregate im Rahmen wiederkehrender Prüfungen (WKP) und bei Filterstandzeiten von acht Jahren keine Erhöhung des Differenzdrucks über die Luftfilter der Notstrom-Dieselaggregate feststellbar.

Der VGB kommt zum Ergebnis, dass aufgrund der Auslegungsreserven und der in den Anlagen möglichen Gegenmaßnahmen auch gegenüber den Einwirkungen extremer, die Bemessungsereignisse überschreitender Wetter eine hohe Robustheit der Anlagen gegeben ist. Probabilistische Betrachtungen wurden hierzu nicht vorgenommen, da für Wetterbedingungen im Bereich einer Häufigkeit von $10^{-4}/a$ oder noch seltener in der Regel keine ausreichende statistische Basis vorliegt.

Bewertung der RSK

Das Vorgehen, die Reserven in der Auslegung der Anlagen gegenüber den wetterbedingten Bemessungsereignissen einzuschätzen und zu bewerten, anstatt auf Eintrittshäufigkeiten im Bereich von $10^{-4}/a$ oder noch seltener abzustellen, war auch als Alternative in der RSK-Empfehlung enthalten..

Die Einschätzung, dass aufgrund des Auslegungskonzepts und der Auslegungsreserven eine deutliche Robustheit gegenüber diesen Einwirkungen vorhanden ist, hält die RSK trotz der nicht vorhandenen Quantifizierung von Reserven für plausibel.

Bzgl. der Einwirkung A1 (Eisregen, Eissturm, Schneesturm) wird eine ausreichende Robustheit für die Ansaugung der Verbrennungsluft der Diesel dann gesehen, wenn die Wetterschutzgitter elektrisch beheizt werden können.

Bzgl. der Einwirkung A6 (Extrem niedriger, langanhaltender Vorfluterwasserstand) wird eine ausreichende Robustheit dann gesehen, wenn mit 10 % der Ablaufmenge, die für Volllastbetrieb erforderlich ist, die sicherheitstechnisch benötigte Kühlung einen Tag nach Abschaltung erfolgen kann [39].

Zum Thema „Blitzeinwirkung“ wird auf die gesonderte Stellungnahme der RSK „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“ [51] verwiesen.

C.5 RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ aus der 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015

Empfehlung der RSK

Empfehlung 1: (DWR)

Empfehlung 2:

Bezüglich der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters beim SWR-72 (s. Kapitel 3.3) sind Maßnahmen in das HMN einzuführen, um das Luft-Wasserstoffgemisch aus den Räumen des Reaktorgebäudes, in denen ein zündfähiges Gemisch entstehen kann, auszuspülen. Dabei sind die Möglichkeiten zur Aktivitätsrückhaltung einzubeziehen.

Empfehlung 3: (DWR)

Konzept des VGB zur Umsetzung der Empfehlungen

- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15] und
- Aktionsplan vom Dezember 2014 [24]
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]

Im deutschen Aktionsplan wird unter N7 für BE-Lagerbecken, die sich innerhalb des Reaktorgebäudes, aber außerhalb des Sicherheitsbehälters befinden, gefordert, passiv wirkende Sicherheitseinrichtungen zu installieren, die explosive Wasserstoffansammlung oberhalb des BE-Lagerbeckenbereichs vermeiden. Diese Einrichtungen sollen auch für den langfristigen Station Blackout noch nach 10 Stunden wirksam sein. Für die beiden SWR-Anlagen wurden zwölf passive autokatalytische Rekombinatoren im Reaktorgebäudebereich oberhalb des BE-Lagerbeckens („40 m“-Ebene) angebracht, um dort die entstehende Wasserstoffkonzentration während eines Unfallablaufes zu begrenzen.

In der RSK-Empfehlung „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ der 475. Sitzung vom 15.04.2015 [7] wird für den SWR hinsichtlich der Beherrschung von Wasserstoff außerhalb des Sicherheitsbehälters empfohlen, Maßnahmen bzw. Prozeduren im „Handbuch mitigativer Notfallmaßnahmen (HMN)“ vorzusehen, um die Luft-Wasserstoffgemische aus den Räumen des Reaktorgebäudes, in denen zündfähige Gemische entstehen können, ausspülen zu können.

Dazu führt der VGB in [46] aus, dass entsprechende Vorgaben im Rahmen seiner Erstellung in das HMN aufgenommen wurden. Dort sei unter anderem festgelegt, dass frühzeitig die Störfallunterdruckhaltung betrieben werden soll. Für den Fall, dass der Betrieb der Störfallunterdruckhaltung nicht möglich ist, wird auf die Möglichkeit der Nutzung des Naturzugs des Kamins für die Unterdruckhaltung hingewiesen. Im Zuge der Bearbeitung der RSK-Empfehlung wurde der Hinweis eingefügt, einen gewissen Luftdurchsatz in Räumen des Reaktorgebäudes herzustellen.

Ergänzend wurde vom VGB ausgeführt, dass alle Strategien im HMN einen Maßnahmenblock zur Aktivitätsrückhaltung im Reaktorgebäude enthalten [48, Anlage Rückmeldung Besprechung]. Dieser sieht den Lüftungsabschluss des Reaktorgebäudes (RGB) und die Sicherstellung der Geschlossenstellung der Türen in

andere Gebäude oder in die Umgebung vor. Ferner ist der Betrieb der Störfallunterdruckhalteanlage TL26 zu kontrollieren bzw. bei Ausfall der Ventilatoren der Störfallunterdruckhalteanlage diese auf den Naturzug des Kamins durchzuschalten. Bei einem Filterversagen der Störfallunterdruckhalteanlage TL26 ist diese abzusperren und die Fortluft des RGB über die Aktivkohlefilter-Fortluftanlage TL81/84 zu leiten.

Der Vermeidung des Eintrags von Wasserstoff aus dem Sicherheitsbehälter in das Reaktorgebäude dient der Maßnahmenblock zum Venting des Sicherheitsbehälters in dem der Druck im RSB abgesenkt und die Wasserstoffmenge reduziert wird. Der Reduzierung von Wasserstoff im Reaktorgebäude dient der Maßnahmenblock zur Verfügbarmachung der autokatalytischen Rekombinatoren auf der +40 m-Ebene (Reaktorbedienflur).

Die Störfallunterdruckhalteanlage TL 26 saugt an drei Stellen im Ringraum des RGB auf einer Höhe von +36,50 m ab. Sollte es zu einem Lüftungsabschluss gekommen sein, so öffnen automatisch vier Überströmklappen aus dem Hilfsanlagegebäude, um den Unterdruck im Reaktorgebäude zu begrenzen. Diese vier Überströmklappen vom Hilfsanlagegebäude ins Reaktorgebäude sind auf unterschiedlichen Ebenen verteilt (+16,8 m, +18,5 m, +21,5 m und +28,5 m). Somit liegt in den für RSB-Leckagen relevanten Raumbereichen (oberhalb von +18,5 m) bei Betrieb der Störfallunterdruckhalteanlage eine gerichtete Strömung von unten nach oben vor.

Die Störfallunterdruckhalteanlage würde im Anforderungsfall eine Gasmenge von 4.000 m³/h absaugen. Der Raumbereich im RSB oberhalb der +18,5 m Ebene hat ein Volumen von 7.500 m³. Damit wäre eine ausreichende Absaugung wasserstoffhaltiger Gemische im Bereich oberhalb +18,5 m gegeben.

Bewertung der RSK

Mit der Installation der 12 passiven autokatalytischen Rekombinatoren oberhalb des BE-Lagerbeckens der beiden SWR-Blöcke ist die Forderung N7 des deutschen Aktionsplans erfüllt. Ausgehend von den Ergebnissen der Robustheitsanalysen und der daraus abgeleiteten Robustheit der SWR-Anlagen wird die Relevanz dieser Maßnahme vom VGB aber als gering eingeschätzt.

Die vom VGB beschriebenen Maßnahmen sind unter den gegebenen Randbedingungen geeignet, unzulässige Wasserstoffkonzentrationen im Reaktorgebäude zu vermeiden.

Teil D Anhang Erdbeben (DWR und SWR)

Die Ausführungen in diesem Anhang zu Erdbeben ergänzen die Aussagen in den Kapiteln B.1.3/C.2.3 „Konkretisierung der Empfehlungen zu Erdbeben“ und B.1.6/C.2.6 „Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz“.

Die Ausführungen sind dem Bericht des AST vom 15.10.2015 an die RSK entnommen [40]. Soweit ergänzend Fragen durch die RSK-AG Robustheit nachgegangen wurde, sind die aufgrund von Informationen seitens VGB ergänzten Textstellen kursiv geschrieben.

Im Folgenden wird zuerst die Sachlage bei den DWR-Anlagen behandelt, danach wird erläutert, inwieweit die Ergebnisse auf die SWR-Anlagen übertragbar sind.

Berichte der Betreiber [20], [23]

Die Betreiber machten in ihren Berichten schwerpunktmäßig Ausführungen zu folgenden Aspekten:

- a) Grundsätze der Erdbebenauslegung, die im Zeitraum der Errichtung der KKW mit Leistungsbetrieb bei diesen angewendet wurden,
- b) Maßstab zur Bewertung der Robustheit gegen Erdbeben,
- c) Einschätzung der Auslegungsreserven gegen Erdbebenlasten bei den laufenden Anlagen,
- d) Seismische probabilistische Sicherheitsanalyse (SPSA),
- e) Übertragbarkeit der Ergebnisse von detaillierter untersuchten Anlagen auf andere Anlagen und Fähigkeit von Anlagen mit einem Bemessungserdbeben $< 0,1$ g maximale Horizontalbeschleunigung (PGA), Horizontalbeschleunigungen bis $0,1$ g abtragen zu können.
- f) Robustheit im Nichtleistungsbetrieb und bei kurzzeitigen Anlagenzuständen

Die im Folgenden angegebenen Foliennummern beziehen sich auf die VGB-Präsentation „Untersuchung der Robustheit von deutschen Kernkraftwerken bei Erdbeben“ vom 25.06.2015 [20] bzw. 17.07.2015 [23].

a) Grundsätze der Erdbebenauslegung ([20], Folien 8 – 20; [27])

Die laufenden Kernkraftwerke wurden ingenieurtechnisch gegen Einwirkungen von außen, wie Erdbeben, FLAB und Explosionsdruckwelle ausgelegt, bei denen insbesondere eine horizontale dynamische Last auf die Bauwerke einwirkt. Allerdings wurden in der Errichtungszeit häufig keine vollständigen dynamischen Nachweise für die gesamte Bemessungskette geführt, sondern – tendenziell konservativ – dynamische Nachweise durch quasistatische Nachweise des Lastabtrags ergänzt.

Das Ziel der Auslegung bestand darin, dass – auch unter Berücksichtigung von Datenstreuungen und Modellunsicherheiten bei den Berechnungen - die Beanspruchung aus der Einwirkung mit ausreichender Sicherheit kleiner ist als die Widerstandsfähigkeit der betroffenen Einrichtung.

b) Maßstab Robustheit ([20], Folien 22 – 29)

Als Bezugsgröße für die Bewertung der Robustheit können verschiedene seismische Parameter herangezogen werden. Die Eintrittshäufigkeit zeichnet sich als adäquate Bezugsgröße aus, dies zeigt auch der internationale Vergleich. Für die Robustheitsbewertung kann demnach ein Erdbeben mit einer Eintrittsrate von $10^{-6}/a$ angesetzt werden, dies entspricht einer um eine Größenordnung verringerten Eintrittshäufigkeit gegenüber dem Auslegungswert (KTA 2201.1). Die von der RSK vorgeschlagene Bezugsgröße „+ eine Intensitätsstufe“ ist dagegen weniger geeignet, da dies - mit Blick auf die international zur Bewertung übliche Eintrittshäufigkeit – je nach Standort eine Veränderung der Eintrittshäufigkeit um etwa 1 Größenordnung oder auch mehr bedeuten kann, also für verschiedene Standorte Unterschiedliches darstellt.

c) Auslegungsreserven ([20], Folien 31 – 45; [25]; [27])

Zur Begrenzung des Rechenaufwandes wurde bei der Auslegung der Anlagen die Gesamtberechnung in Berechnungsschritte aufgeteilt, die zur Vereinfachung voneinander entkoppelt wurden, d. h. es wurden an den Schnittstellen der Berechnungsschritte Annahmen so getroffen, dass einerseits die mögliche Variation der Ergebnisse im vorhergehenden Berechnungsschritt abgedeckt war und andererseits (dämpfende) Rückwirkungen auf den vorhergehenden Berechnungsschritt vernachlässigt wurden.

Weiterhin wurden zur Vereinfachung der Berechnung grundsätzlich linear-elastische Verfahren angewendet, d. h. die mit plastischen Verformungen verbundenen Dämpfungen und Reserven wurden nur beschränkt berücksichtigt. Bezüglich der Materialeigenschaften wurden auf der ungünstigen Seite liegende Kennwerte verwendet.

Mit der Vorgehensweise nach a) und c) wurde eine Auslegung erreicht, die deutliche Reserven enthalten musste. Die Existenz – und teilweise auch die Quantifizierung - dieser Reserven wurden wiederholt bestätigt durch die Erfahrungsauswertung zu schweren Erdbeben, durch experimentelle Untersuchungen (z. B. Biege- und Rüttelversuche) sowie durch exemplarische detaillierte Vergleichsrechnungen.

Die in Summe hohen Konservativitäten, die auf den ingenieurmäßigen Ansätzen in der Auslegung beruhen und durch experimentelle Untersuchungen und Erfahrungen aus Schadenbeben belegt sind (dabei keine Unterscheidung zwischen SWR und DWR-Anlagen), gelten damit gemäß [27] für beide Anlagentypen.

Deutliche Reserven sind auch bei den erdverlegten Nebenkühlwasserleitungen gegeben, die nicht entsprechend der Rahmenspezifikation Basissicherheit, sondern nach einer besonderen Spezifikation ausgelegt und nachgewiesen wurden [30].

Im Hinblick auf Verankerungen unter Nutzung von in den Anlagen verbliebenen Spreizdübeln bestehen aufgrund von Reserven in der Einwirkungsseite, der Halterung mit Dübelgruppen und der bei Erdbeben in Deutschland geringen Zahl von Rissöffnungszyklen ausreichende Tragfähigkeitsreserven im auslegungsüberschreitenden Bereich. [30], [31].

d) SPSA ([20], Folien 47 – 98)

Vorgestellt wurde das Vorgehen zu einer vollständigen SPSA am Beispiel von 2 DWR-Anlagen mit einem Standort sehr niedriger Seismizität und Sedimentuntergrund bzw. einem Standort mit für deutsche Verhältnisse erhöhter Seismizität und festerem Untergrund, d. h. die gewählten Standorte sind repräsentativ für das in Deutschland gegebene Spektrum an Standorten. Eine SPSA umfasst im Wesentlichen folgende Elemente:

- Ermittlung der standortspezifischen Häufigkeiten von Erdbebeneinwirkungen. Ergebnis bei den Beispielen: Das der Auslegung zugrundeliegende Bemessungserdbeben/PGA-Wert entsprach an dem einen Standort einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$, am anderen Standort von ca. $10^{-7}/a$.
- Ermittlung erdbebenbedingter Versagenswahrscheinlichkeiten von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK):
 - Aufstellung einer umfassenden Liste zu berücksichtigender SSK:
Es wurden diejenigen Komponenten zusammengestellt, die im Rahmen der PSA-Analysen eine Relevanz hinsichtlich der Ermittlung der Häufigkeit von Gefährdungs- und Kernschadenszuständen (GZ / KSZ) haben können.
 - Anlagenbegehung zur Auswahl der detaillierter zu betrachtenden SSK:
z. B. Auswahl der Komponenten, die aufgrund der Auslegung und Einbausituation näher betrachtet werden sollten.
 - Quantifizierung von erdbebenbedingten Versagenswahrscheinlichkeiten dieser SSK:
Die Quantifizierung erfolgte über sog. Fragilitäts-Kurven und das sog. Sicherheitsreservefaktorverfahren, mit dem die Medianwerte (A_M) und die Unsicherheitsparameter β_R und β_U für die Fragilitäts-Kurven ermittelt wurden. Beim Sicherheitsreservefaktorverfahren wird für diejenigen Parameter, die in die Berechnung der Einwirkung bzw. des Widerstands eingehen, ermittelt, welcher Faktor zwischen dem typischerweise konservativ in der Auslegung verwendeten Wert und dem in der Realität zu erwartenden Wert liegt und damit die jeweils in der Auslegung enthaltene Reserve beschreibt. Diese Faktoren hängen somit davon ab, wie konservativ die Auslegung bei der Errichtung erfolgte, sie sind deshalb nur dann von einer Anlage auf eine andere übertragbar, wenn ein gleiches Auslegungskonzept (Normung, Nachweisphilosophie, Berechnungsmethoden, ...) verwendet wurde. Das Produkt dieser Einzelfaktoren ergibt dann den für die jeweils untersuchte Komponente oder Struktur gültigen Sicherheitsreservefaktor.

Ergebnis für die untersuchten Anlagen: Bezogen auf den PGA-Wert mit einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$ wurden Auslegungsreserven zwischen 2 und 6 – unabhängig davon, ob es sich um eine vitale

Komponente oder nicht handelt - ermittelt, d. h. es wurde mindestens eine Reserve für einen um den Faktor 2 höheren PGA-Wert bestätigt (s. Folie 71).

Hinweis: Die vorgestellten SPSAen wurden nicht spezifisch zur Ermittlung der mindestens gegebenen Robustheit erstellt, d. h. für mehrere der vorstehend angesprochenen Faktoren wurde nur ein Teil der vorhandenen Reserven kreditiert. Eine Quantifizierung der verbliebenen Reserven würde allerdings einen erhöhten Untersuchungsaufwand erfordern.

- Ermittlung der Häufigkeiten erdbebenbedingter Gefährdungs- und Kernschadenzustände (GZ / KSZ)
 - Identifikation erdbebenbedingter auslösender Ereignisse:
Hier geht es um Transienten durch erdbebenbedingte Ausfälle von Bauwerken und verfahrenstechnischen sowie elektro-und leittechnischen Einrichtungen, z. B. Ausfall der externen Stromversorgung durch Versagen der Keramik-Isolatoren.
 - Erstellung / Anpassung des Anlagenmodells in der PSA.

Quantifizierung

Entsprechend international üblichen Vorgehensweisen können die Ergebnisse in eine sogenannte „Plant Level Fragility“ überführt werden, indem die bedingte Systemnichtverfügbarkeit (Häufigkeit GZ / KSZ dividiert durch Eintrittshäufigkeit Erdbeben) für jedes betrachtete Erdbeben über der zugehörigen PGA aufgetragen werden.

Ergebnis für die untersuchten Anlagen: Für den PGA-Wert mit einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$ wurde in der Anlage mit den relativ geringeren Reserven für die Systemnichtverfügbarkeit, die zu einem Kernschadenzustand führen könnte, eine bedingte Wahrscheinlichkeit von deutlich $< 10^{-3}$ pro Ereignis ermittelt, für ein Erdbeben mit verdoppeltem PGA-Wert steigt die bedingte Systemnichtverfügbarkeit zwar um knapp zwei Größenordnungen an, bleibt jedoch noch immer unter dem Wert von 5 %, so dass das HCLPF-Kriterium erfüllt ist (s. Folie 98). Für die andere Anlage erhöht sich die bedingte Systemnichtverfügbarkeit ebenfalls um ca. zwei Größenordnungen, allerdings ausgehend von einem geringeren Niveau von ca. 10^{-6} für die bedingte Systemnichtverfügbarkeit.

Hinweis: Neben den beiden Anlagen, anhand derer die SPSA-Methodik vorgestellt wurde (KWG und GKN II), ist noch für eine dritte Anlage eine vollständige SPSA durchgeführt worden (KKP 2).

Es wurde eine Bewertung der erdbebenbedingten Ausfallwahrscheinlichkeit von Sicherheitsfunktionen vorgenommen, die Quantifizierung erfolgte für Erdbeben I = VII (Bemessung) und I = VIII. Hierbei wurden für ausgewählte SSK, die im Hinblick auf die Robustheit gegen Erdbeben bestimmend sein können, erdbebenbedingte Versagenswahrscheinlichkeiten ermittelt. Am höchsten ist die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit der Hochdruckeinspeisung (keine vitale Sicherheitsfunktion) mit ca. 2 % für beide Fälle (I = VII und I = VIII). Die Versagenswahrscheinlichkeit der anderen Sicherheitsfunktionen liegt nochmals mindestens eine Größenordnung darunter, ebenfalls für beide Fälle. Aus dem Vergleich der Versagenswahrscheinlichkeiten mit Bemessungseinwirkungen lassen sich somit ähnliche Auslegungsreserven ableiten wie für die DWR-Anlagen.

e) **Übertragbarkeit sowie Einschätzung 0,1 g ([20], 99 –106)**

Die Betreiber sehen die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Anlagen mit SPSA auf die anderen laufenden DWR-Anlagen aus folgenden Gründen als gegeben an:

- Die Anlagen mit SPSA sind hinsichtlich der Anlagenteile und baulichen Anlagen sowie des Vorgehens zu den Nachweisen der Standsicherheit, Funktionsfähigkeit und Integrität für die anderen im Leistungsbetrieb befindlichen Anlagen repräsentativ. Dies gilt auch für die ursprüngliche Auslegungspraxis, die zu den Auslegungsreserven geführt hat.
- Hinsichtlich der seismischen Parameter liegen die anderen deutschen Anlagen im Bereich zwischen den Anlagen mit SPSA. Auf Nachfrage führte VGB aus, dass das bei der Errichtung angesetzte Bemessungserdbeben für alle Standorte vergleichbar mit oder höher als das nach heutigem Stand probabilistisch ermittelte Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$ ist.
- Neben der Erdbebenauslegung sind alle Anlagen gegen Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle entsprechend den Anforderungen der RSK-Leitlinien ausgelegt und weisen damit einen hohen (vergleichbaren) Robustheitsgrad, insbesondere für die Erdbebeneinwirkungen, auf.
- Bei allen anderen Anlagen sind Anlagenbegehungen durchgeführt worden, bei Standorten mit Erdbebenintensität zwischen $I = VI$ und $I = VII$ auch vereinfachte SPSAen.
- Die Anlagenbegehungen haben insgesamt keine Erkenntnisse geliefert, die eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in Frage stellen würden.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass alle DWR mit Leistungsbetrieb Auslegungsreserven haben, mit denen die Beanspruchungen auch aus solchen Erdbeben abgetragen werden, die in der Eintrittshäufigkeit mindestens eine Größenordnung niedriger liegen als bei einem Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von ca. $10^{-5}/a$.

Für zwei DWR-Anlagen in Norddeutschland war bei der ursprünglichen Auslegung für das Bemessungserdbeben ein PGA-Wert von etwa $0,5 \text{ m/s}^2$, d. h. rund $0,05 \text{ g}$, angesetzt worden. Für eine dieser Anlagen wurde mit einer SPSA gezeigt, dass die HCLPF-Werte aller untersuchten Funktionen mindestens bei $0,1 \text{ g}$ liegen. Für die andere Anlage ist bekannt, dass sie zusätzliche Reserven durch die konservative Modellierung ihrer Pfahlgründung aufweist (verwendet wurde eine statische Ersatzlast von $0,5 \text{ g}$ horizontal für die Auslegung). Eine weitere Anlage war bereits mit einem PGA-Wert von $0,7 \text{ m/s}^2$ ausgelegt worden. Da mit den vorliegenden Untersuchungen eine Reserve von mindestens dem Faktor 2 bezogen auf den PGA-Wert der Auslegung ausgewiesen wurde, kann gefolgert werden, dass die Anlagen auch für einen PGA-Wert von $0,1 \text{ g}$ robust sind.

f) Nichtleistungsbetrieb, kurzzeitig anstehende Betriebszustände ([23], Folien 19-60)

Eine systematische Bewertung der Robustheit bezüglich des Ereignisses „Erdbeben im Nichtleistungsbetrieb“ wurde für einige DWR-Anlagen repräsentativ auf Basis einer Prüfung der vorliegenden Unterlagen und von Anlagenbegehungen während des Nichtleistungsbetriebs durchgeführt.

Die Randbedingungen in den DWR-Anlagen sind bzgl. Anlagentechnik, der zu betrachtenden Anlagenbetriebszustände sowie der Regelungen für den NLB und für Revisionsabläufe und -tätigkeiten einschließlich der BE-Handhabung ähnlich oder vergleichbar.

Schwerpunkte der durchgeführten Anlagenbegehung und Unterlageneinsicht waren vor allem die Aufstellung von Komponenten/Einbauten/Hilfswerkzeugen und des daraus evtl. resultierenden Gefährdungspotentials sowie der Lastabtrag mit veränderten Massenanordnungen bei unterstelltem Erdbeben.

Wesentliche Ergebnisse der Anlagenbegehungen/Unterlageneinsicht waren:

- Komponenten und Strukturen, die spezifisch für Zustände im NLB erforderlich sind (z. B. Auskleidung des Reaktorbeckens), um vitale Funktionen abzusichern, sind entweder gegenüber den Belastungen eines Erdbebens mit einer Eintrittshäufigkeit von $10^{-6}/a$ robust oder die Funktionen können innerhalb der jeweiligen Karenzzeit durch Hand- und Ersatzmaßnahmen abgesichert werden [29].
- *Die BE-Lademaschine ist gegenüber Bemessungserdbeben nachgewiesen, nicht nur für die Parkposition. Sollte während der Fahrt der Maschine ein Erdbeben auftreten, so werden die Erschütterungen durch Sensoren erfasst und die Maschine bremst sofort zum Stillstand. Durch zusätzliche Vorkehrungen (Krallen) wird die Standsicherheit gewährleistet, ein (auf den Schienen geführtes) Verrutschen ist noch möglich [30]. Die Eintrittshäufigkeit für ein Bemessungserdbeben während des Betriebs der Lademaschine liegt unter $10^{-6}/a$.*
- Revisionsequipment oder sonstige in der Revision gelagerte Massen sind - teilweise aufgrund von Optimierungen nach den Begehungen - so gelagert, aufgestellt oder befestigt, dass eine Beeinträchtigung vitaler Funktionen durch Verrutschen oder Umstürzen bei Erdbeben nicht zu unterstellen ist.
- Besondere Lastkombinationen, wie z. B. Transportbehälter am Haken des Gebäudekrans gleichzeitig mit Bemessungserdbeben, sind wegen der Kürze der entsprechenden Betriebszustände (wenige Stunden im Jahr) extrem unwahrscheinlich. Unabhängig davon führen sie unter den in den Anlagen bestehenden Bedingungen nicht zum Verlust vitaler Funktionen. *Aufgrund der sehr niedrigen Eigenfrequenz des „Pendels“ (Transportbehälter am Kranseil) in horizontaler Richtung und der unter den seismischen Verhältnissen in Deutschland nur kurzen Starkbebenphase werden Schwingungen des Pendels nur sehr wenig angeregt, so dass es weder zu relevanten zusätzlichen horizontalen Belastungen auf den Gebäudekran noch zum Anschlag des Behälters an Wände kommt. In vertikaler Richtung werden wegen der Elastizität des Kranseils und der vertikal ohnehin geringeren Beschleunigungen ebenfalls keine relevanten zusätzlichen Lasten aufgeprägt. [30].* (Hinweis: Die genannte Lastkombination ist für den NLB praktisch auszuschließen, da Transportbehälter grundsätzlich nicht während Revisionen im Reaktorgebäude bewegt werden.)

-
- In den Gebäuden, in denen die Komponenten für vitale Funktionen aufgestellt sind (Reaktorgebäude, - Ringraum inkl. Armaturenkommer, Notspeisegebäude, Pumpenbauwerk), wurden mit Blick auf die Auswirkungen eines Erdbebens im NLB keine Defizite festgestellt. Lagerorte und Aufstellpositionen von Komponenten/Geräten werden sicher gewählt und entsprechen einer „erdbebensicheren“ Situation. So sind z. B. auch vorhandene Gerüste gegen EVA gesichert aufgestellt, Arbeitsgeräte wie z. B. Kisten horizontal gehalten und Hebezeuge ohne Katze oder mit arretierter Katze vorhanden.

Generisch wurde Optimierungspotential zur Sicherung des vorhandenen Equipments gegen ein mögliches Verrutschen in folgenden Bereichen erkannt:

- Bereich vor der Lademaschine (mobile Inspektionseinrichtungen),
- Reaktorriegel auf den DE-Decken mit aufgestellten Traversen bzw. Komponenten und
- Bereich auf der Decke über dem Druckhalter.

Anlagenspezifische Bewertungen wurden durchgeführt und Optimierungsmaßnahmen anlagenspezifisch abgeleitet (z. B. Sicherung von Equipment am Beckenflur gegen ein mögliches Verrutschen, Rutschsicherungen, ...).

Die Einrichtungen und Betriebsmittel werden so eingebracht, dass sie unter Erdbeben keine Gefährdung darstellen. So wird zum Beispiel der Aufstellort so gewählt, dass eine Gefährdung relevanter SSK ausgeschlossen werden kann (EK- IIA-Thematik) [29].

Im Rahmen von Instandhaltungsmaßnahmen an den Strängen der Brennelement-Lagerbeckenkühlung werden entsprechend den anlagenspezifischen Gegebenheiten Stopfen in die Rohrleitung eingebracht. Dabei handelt es sich in der Regel um speziell auf den Rohrlungsdurchmesser ausgeführte Stopfen [30], [36]. Die Abdichtung erfolgt durch Flächenpressung. Als Dichtungsmaterial wird Gummi verwendet. Die Flächenpressung und damit Abdichtfunktion (über Gewinde, Federspannung verstärkt) bleibt bei Erschütterungen auch bei Erdbeben erhalten.

g) Übertragbarkeit auf die SWR Anlagen ([27], Folien 19-60, [36], [42], [46])

Gemäß [27] treffen die dargestellten Grundsätze zur Auslegung gegen Einwirkungen von außen (EVA) für alle deutschen Kernkraftwerke zu. Das Auslegungskonzept aller Anlagen entspricht dem Stand von Ende der 1970er bis Mitte der 1980er Jahre. Auch der SWR wurde durch gleichartige ingenieurmäßige Nachweise, entsprechend den Vorgaben des kerntechnischen Regelwerkes, und durch die zugrunde liegenden Annahmen, wie die modellhafte Abbildung der Einwirkungen und des Widerstandes, gegen dynamische Lasten infolge EVA ausgelegt.

Vor diesem Hintergrund ist gemäß [27] eine Übertragbarkeit der Ausführungen zur Robustheit deutscher DWR gegen Erdbeben auf die SWR Anlagen gegeben. Die vorgestellten Konservativitäten in den einzelnen aufeinander aufbauenden Schritten in der Auslegungskette fanden auch beim SWR Anwendung. Somit gelten die in Summe hohen Konservativitäten, die in den ingenieurmäßigen Ansätzen in der Auslegung begründet sind und durch experimentelle Untersuchungen und Erfahrungen aus Schadenbeben belegt sind (wobei keine Unterscheidung zwischen SWR und DWR-Anlagen vorgenommen wird), ebenso für den SWR.

Die am Beispiel von zwei DWR-Anlagen vorgestellte Methodik der seismischen probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) und die diesbezüglichen Ergebnisse sind nach Auffassung des VGB repräsentativ auch für die SWR Anlagen, die im vorgestellten seismischen Gefährdungsniveau liegen und damit hinsichtlich der Erdbebeneinwirkung mit den beispielhaft genannten DWR Anlagen vergleichbar sind.

Auch beim SWR wurde eine seismische PSA nach den Vorgaben des PSA-Methodenbandes durchgeführt. Eine umfassende Zusammenstellung der für die SWR-Erdbeben-PSA zu berücksichtigenden Systeme/ Strukturen und Komponenten (SSK) ist erfolgt. Auf dieser Basis wurde ebenfalls eine Anlagenbegehung mit Gutachterbeteiligung durchgeführt, deren Umfang ähnlich war, wie die für die DWR Anlagen. In deren Ergebnis sind für ausgewählte abdeckende SSK erdbebenbedingte Versagenswahrscheinlichkeiten ermittelt worden. Aus einem Vergleich dieser mit Bemessungseinwirkungen lassen sich ähnliche Auslegungsreserven ableiten wie für die DWR Anlagen. Unbeschadet der anlagentechnischen Unterschiede zwischen DWR und SWR treffen somit alle von den Betreibern vorgestellten Inhalte zur Robustheitsbetrachtung deutscher Kernkraftwerke auch auf den SWR zu. Dies gilt ebenso für die Einhaltung der IAEA-Anforderung bezüglich einer Starrkörperbeschleunigung von 0,1 g.

In [36] wird zur seismischen PSA ergänzend ausgeführt, dass ein vereinfachtes Verfahren nach PSA Methodenband durchgeführt wurde. Die theoretischen Grundlagen bilden die einschlägigen EPRI- und NUREG-Berichte und die diesbezüglichen Konzepte (HCLPF, GERS - Generic Equipment Ruggedness Spectrum). Es wurde eine Bewertung der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeiten von Sicherheitsfunktionen für Erdbeben mit Intensitäten I=VII (Auslegung) und I=VIII vorgenommen. Am höchsten ist die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit der Hochdruckeinspeisung (keine vitale Sicherheitsfunktion) mit ca. 2% für beide Fälle. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der anderen Sicherheitsfunktionen liegt nochmals mindestens eine Größenordnung darunter, ebenfalls für beide Fälle.

Für die beiden Maschinenhäuser der SWR-Anlage KRB II wurden Analysen zu ihrer Standsicherheit während eines Bemessungserdbebens (Intensität I = VII) durchgeführt. Gegenüber dem ursprünglichen Sicherheitserdbeben für die Errichtung (1974) ergaben sich im Vergleich mit Bewertungsspektren aus einer aktuellen Untersuchung (2016) zur Überprüfung des KRB II-Bemessungserdbebens niedrigere Beschleunigungswerte im unteren Frequenzbereich [49], [50], sodass zu erwarten war, dass die Maschinenhäuser auch einem Erdbeben der Intensität I = VIII sicher standhalten [36]. Zur Bestätigung dieser Einschätzung wurden rechnerische Untersuchungen in Auftrag gegeben [46, Pkt. 7], die inzwischen mit positivem Ergebnis abgeschlossen wurden [48, Anhang 3].

Die Stopfen zur Abdichtung von FD-Rohrleitungen erreichen gemäß [30] ihre Abdichtfunktion durch die Flächenpressung von gequetschten Gummidichtungen. Laut VGB bleibt diese Pressung auch bei Erschütterungen durch Erdbeben gewährleistet.

Gemäß [46] wurde eine erdbebenbezogene Anlagenbegehung durchgeführt, in deren Rahmen die Aufstellung von Komponenten, Einbauten und Hilfswerkzeugen und das daraus eventuell resultierende Gefährdungspotenzial bei einem unterstellten Erdbeben während laufender Revisionstätigkeiten bewertet worden ist. Demnach sind Cliff-edge-Effekte durch Verlagerung großer Komponenten bei schweren Erdbeben nicht möglich. Einige Möglichkeiten für Optimierungen sind erkannt und umgesetzt worden.

Teil E Anhang Ringraumüberflutung (DWR und SWR)

Die Ausführungen in diesem Anhang zu Ringraumüberflutung ergänzen die Aussagen in den Kapiteln B.1.5/C.2.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“.

1. Ringraumüberflutung DWR

Die Ausführungen in diesem Anhang zu Ringraumüberflutung ergänzen die Aussagen im Kapitel B.1.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“.

Vom VGB wurde zu diesem Thema mehrfach vorgetragen:

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 20;
- Vortrag am 04.06.2014 [10],
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014, Generische DWR-spezifische Zusatzinformationen [13], Folien 5-11,
- VGB-Vortrag vom 19.05.2015 [18], Folien 5-10
- mündliche Erläuterungen, 5. Sitzung der AG Robustheit am 19.05.2015 [26]
- VGB, Mail HD-Förderpumpen, 24.11.2014 [32]
- VGB, mündliche Erläuterungen, 10. Sitzung der RSK-AG Robustheit am 24.02.2016 [35]

1.1 Allgemeines

Generell ist aus Sicht des VGB zwischen Anlagen mit Nebenkühlwasserversorgung aus einem Fluss bzw. aus einem geschlossenen Kreislauf (Zellenkühler) zu unterscheiden. Bei Anlagen mit Zellenkühler ist die Wahrscheinlichkeit einer Überflutung des Ringraumes mit der Folge, dass sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen ausfallen, so gering, dass dieses Szenario im Sinne der Fußnote im Punkt 2.5(1) der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ ausgeschlossen werden kann. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf Anlagen, die aus großen Wasserreservoirs mit Nebenkühlwasser versorgt werden.

Der Einstieg in das Szenario Ringraumüberflutung erfolgt über das Melde-BHB, in dem detailliertere Informationen zu möglichen Ursachen für einen Wasseranfall im Ringraum und diesbezüglich zu ergreifenden Maßnahmen enthalten sind. Sofern der Füllstandanstieg nicht einem Leck an einem Flutbehälter(-becken) zugeordnet werden kann, sollen im Leistungsbetrieb frühzeitig RESA ausgelöst und die dem betroffenen Quadranten zugeordnete Nebenkühlwasserpumpe abgestellt werden.

Anlagenspezifisch geprüft werden soll, ob zur Gewinnung von Karenzzeit eine Öffnung des Ringraums zum Hilfsanlagegebäude hin sinnvoll sein kann, um einen Teil des anfallenden Wassers dahin abzuführen. Zu bewerten ist hierbei u. a., ob damit Einrichtungen, die z. B. zum Aufborieren des Primärkreises benötigt werden, beeinträchtigt werden können.

1.2 Analyse von Ausfällen

Vom VGB wurde eine Analyse der Ausfälle von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen bei einer unterstellten Überflutungshöhe von 2 m (Postulat) auf der unteren Ringraumebene vorgenommen. Hierbei wurde auch der Ausfall von Messumformern (MU) betrachtet. Die Überflutung der Messumformer kann letztlich dazu führen, dass diese ausfallen.

Abhängig von der Verarbeitung der Messwerte in der Logik werden die zugehörigen Reaktorschutzaktionen bei Überflutung der MU entweder ausgelöst oder blockiert. Dies gilt unabhängig davon, ob die Kriterien für eine Auslösung erfüllt sind oder nicht, d. h. für den jeweiligen Anlagenzustand erforderliche Reaktorschutzaktionen können auch blockiert werden.

Der Füllstandanstieg im Ringraum erfolgt bei diesem Postulat nicht schlagartig, sondern kontinuierlich. Aufgrund der unterschiedlichen Höhenanordnung der MU in Verbindung mit ihrer Zuordnung zu den Redundanten ist davon auszugehen, dass nicht stets eine sofortige gleichzeitige Auslösung oder Blockierung von RS-Maßnahmen stattfindet. Dies führt in Abhängigkeit von der anlagenspezifischen Höhenanordnung der MU zu RESA mit anschließendem Teilabfahren auf der Sekundärseite und zu Handlungsspielräumen für das Betriebspersonal, entsprechende Gegenmaßnahmen durchführen zu können. Eine Aufnahme der Höhenanordnung der MU erfolgte in allen Anlagen. Ab einem Füllstand von ca. 1,50 m sind alle MU überflutet.

Für die unterschiedlichen denkbaren Szenarien ist eine abdeckende Betrachtung möglich:

- Da im Falle der postulierten Ringraumüberflutung davon auszugehen ist, dass der Primärkreis kein Leck hat, sind die RS-Signale, die auf primärseitige Sicherheitsfunktionen wirken (sei es Auslösung oder Blockieren), wenig bedeutsam. Durch den Ausfall der MU der DH-Füllstandsmessung nach Null würde PK-Abschluss ausgelöst, was mit Blick auf KM-Verluste über PK-Anschlussleitungen günstig wäre. (Im Nachkühlbetrieb mit unterstelltem Leck in einer Nachkühlleitung im Ringraum würde diese Leitung ebenfalls automatisch abgesperrt.) Weitere primärseitige Sicherheitsfunktionen (Aufborieren, Ergänzen Kontraktionsvolumen) sind erst nach mehreren Stunden erforderlich.
- Mit Blick auf die RS-Signale, die auf sekundärseitige Sicherheitsfunktionen wirken, sind diejenigen Signale relevant, die zum vollständigen Absperren der FD-Abgabe oder zum Start des Notspeisesystems führen können.
Falls eine Möglichkeit zur FD-Abgabe bleibt, ergeben sich wesentlich größere Karenzzeiten. Abdeckend ist also bei Ausgangszustand Leistungsbetrieb die Annahme eines vollständigen „Verblockens“ der FD-Abgabe. Nach dem vorgesehenen Auslösen der RESA und des schnellen sekundärseitigen Abfahrens bei Feststellen einer beginnenden Ringraumüberflutung sollte nach einer ev. Verblockung der FD-Abgabe innerhalb ca. ½ h eine FD-Abgabe wiederhergestellt sein.
Falls das Notspeisesystem ausgelöst wird (Ausfall MU nach Null = DE-Füllstand < min), besteht die Tendenz zu einer Überspeisung der DE, da hier die Signale der Überspeisungsabsicherung blockiert sind. Innerhalb ca. ½ h sollte deshalb die Einspeisung unterbunden werden.

Für eine abdeckende Betrachtung ist es deshalb ausreichend, Maßnahmen zur kurzfristigen Wiederherstellung der FD-Abgabe und zur Begrenzung der DE-Bespeisung vorzusehen.

1.3 Gegenmaßnahmen in Abhängigkeit von Betriebsphasen

1.3.1 Leistungsbetrieb

Nach Erkennen eines unzulässigen Wasseranfalls im Leistungsbetrieb in mehr als einem Quadranten des Ringraums sehen das Schutzziel-BHB sowie die in der Betriebsdokumentation enthaltenen Maßnahmen (entsprechend Melde-BHB) für diesen Fall RESA und das sofortige Abfahren der Anlage vor. Des Weiteren ist die Ursache des Wassereintrages zu ermitteln und dieser zu unterbinden. Da der Beginn eines quadrantenübergreifenden Wasseranfalls deutlich vor einem Ausfall von Pumpen oder Fehlsignalen durch überflutete Messumformer erfolgt, ist zunächst noch eine Verfügbarkeit aller benötigten Komponenten zum Abkühlen der Anlage sowie zur Kühlmittel- und Borergänzung gegeben.

Wesentlich für die Beherrschung des Szenarios Ringraumüberflutung im Leistungsbetrieb sind zunächst die Wärmeabfuhr über die Sekundärseite und die Vermeidung einer Überspeisung der Dampferzeuger. Längerfristig sind zum Abfahren ein Aufborieren des Primärkreises und eine Kompensation der Volumenkontraktion erforderlich.

Reaktorkern

Für die Wiederherstellung der Wärmeabfuhr durch FD-Abgabe können folgende Möglichkeiten genutzt werden:

- Durch den Ausfall der MU für den FD-Druck nach Null wird das DAF-Signal mit Schließen der FD-Abschlussarmaturen und der Absperrarmaturen vor den FD-ARV ausgelöst. Das Signal für das Absperrn der Abblasestationen wird in der Ansteuerung zeitlich begrenzt (ca. 1 s), so dass der gesetzte Speicher für die Absperrauslösung praktisch sofort zurückgesetzt und die Abblasestation wieder genutzt werden kann. Die Druckabsenkung wird von Hand aus der Warte gefahren, da die Führungsgröße (FD-Druck) für den Regler ausgefallen ist. Das Abfahren kann über betriebliche FD-Druck-Messungen kontrolliert werden, da deren MU innerhalb des RSB angeordnet sind.
- Im Übrigen gibt es für den Fall einer verblockten FD-Abgabe seit längerem (seit KKU-Ereignis) Prozeduren im SZ-BHB oder im Notfallhandbuch. So wurde z. B. die Wärmeabfuhr über die Stützdampfleitung in den Speisewasserbehälter und von dort über die Sicherheitsventile des Speisewasserbehälters ins Maschinenhaus ergänzt, ebenso die Notfallmaßnahme „Sekundärseitiges Druckentlasten“ über FD-SIV. Die hierfür erforderlichen Handmaßnahmen sind jedoch aufwendiger als für die Nutzung der Abblasestationen.
- Die Bespeisung der Dampferzeuger mit dem Notspeisesystem bei Ausfall der MU für den DE-Füllstand nach Null ist zu erwarten, da die im Ringraum angeordneten und zur Freischaltung des Einspeisewegs zu öffnenden Armaturen des Notspeisesystems (DE-Höhenstandsregelventil und Notspeiseabsperrschieber) sich deutlich oberhalb der unterstellten Wasserhöhe von 2 m befinden. Die Einspeisung würde zwar durch Anstieg des Drucks bis auf Nullförderhöhe der Notspeisepumpen begrenzt, da die FD-seitige Verblockung der Dampferzeuger vorliegt. Bis dahin könnten allerdings die

DE überspeist sein und Wasser in die FD-Leitungen fließen. Die FD-Ventile sind zwar für Abblasen von Wasser-Dampf-Gemischen nachgewiesen, dennoch sollte die Überspeisung vermieden werden. Dazu kann der Messwert für den DE-Füllstand simuliert werden (Absperren bei $> 13,5$ m) oder die Notspeisewasser-Absperrventile werden auf Adapter genommen und von Hand vor Ort verfahren. (Sollte es die Situation erfordern, können Notspeisepumpen gemäß EVA-BHB abgekuppelt werden.) Die Speisewassermenge wird den gefahrenen FD-Abblasemengen angepasst. Bei ausgefallenen DE-Füllstandsmessungen kann über andere Signale, z. B. Temperaturmessungen, näherungsweise auf den Füllstand geschlossen werden.

Im Hinblick auf einen Primärkühlmittelverlust wird seitens der Betreiber festgestellt, dass Begrenzungsfunktionen (MADTEB) ebenfalls geprüft worden sind und nicht zu einem Primärkühlmittelverlust nach Überflutung der MU führen. Eine kurzfristige Kühlmittelergänzung bei postulierter Ringraumüberflutung ist solange möglich, bis die entsprechenden Ausfälle eintreten.

Die Einhaltung eines langfristig sicheren Zustands soll über die Einstellung der Borsäurekonzentration CH-K mittels Einsatz von HD-Förderpumpen des Volumenregelsystems erfolgen. Die Pumpen des Volumenregelsystems können genutzt werden, da diese aufgrund ihrer räumlich hohen Anordnung nicht überflutet werden. Die Kühlung der Pumpen über das Zwischenkühlwassersystem fällt zwar wegen der Überflutung der Pumpen des Zwischenkühlwassersystems aus. Mit Hilfe von Notfallmaßnahmen kann jedoch eine Versorgung der Kühlstellen einer Einspeisepumpe des Volumenregelsystems über Schlauchverbindungen aus nahegelegenen Anschlüssen des Feuerlösch- oder des Deionatsystems hergestellt werden. Da nur eine Wassermenge von gut 3 kg/s für die Kühlung erforderlich ist, können die Verbindungen über vorgehaltene Feuerlöschschläuche hergestellt werden und der Ablauf kann vom Ringraumsumpf aufgenommen werden. Die Anschlüsse sind auch dann zugänglich, wenn der Ringraum wie unterstellt überflutet wird.

Ein Wiedereinschalten einer Pumpe des Volumenregelsystems mit Einspeisung in den Primärkreis setzt neben der Wiederherstellung der Kühlung voraus:

- Aufheben von RS-Signalen, z. B. Auslösen von PKA,
- Auffahren von Armaturen in Einspeise- sowie Ansaugleitung,
- Aufheben von Abschaltsignalen aus dem Aggregateschutz und
- Zuschalten der zuspaisenden Pumpen in der Kühlmittellagerung.

Für die Einspeisung saugt die betriebene Pumpe aus dem Volumenausgleichsbehälter an, der aus der Kühlmittellagerung im RHAG entsprechend nachgefüllt wird. Die benötigte elektrische Energie wird aus den D1-Schienen bezogen bzw. für einzelne Armaturen aus den D2-Schienen, wobei diese Schienen von den zugeordneten Dieseln oder wegen der großen Karenzzeit auch über Ersatzmaßnahmen (mobile Dieselaggregate oder 3. Netzanschluss) versorgt werden können.

Da zur Absicherung der Unterkritikalität (Einspeisung von Bor) und zur Leckageergänzung Einspeisungen nicht kurzfristig erforderlich sind, bestehen große Karenzzeiten.

Mit dieser Notfallmaßnahme kann erforderlichenfalls auch gegen hohen Druck im Reaktorkühlsystem eingespeist werden.

Prozeduren zur Durchführung dieser Notfallmaßnahme sind in Anlagen mit Potenzial für Ringraumüberflutung in Prüfung, vorhanden bzw. in Erstellung.

BE-Lagerbecken-Kühlung

Die langfristig erforderliche Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken ist aufgrund zu erwartender Systemausfälle bei einer Ringraumüberflutung nicht mehr mit auslegungsgemäß vorgesehenen Einrichtungen möglich. Es ist eine Bespeisung des BE-Lagerbeckens von Bereichen außerhalb des Ringraums möglich. Die Wärmeabfuhr erfolgt über Verdampfungskühlung in Kombination mit einer neuen Notfallprozedur zur RSB-Druckbegrenzung und damit zur Begrenzung der Siedetemperatur im BE-Lagerbecken bei ca. 120 °C (Teil des überarbeiteten Notfallschutzkonzepts, unter anderem zur Realisierung zusätzlicher Einspeisemöglichkeiten ins BE-Lagerbecken in Kombination mit einer Verdampfung von Kühlmittelinventar aus dem BE-Lagerbecken).

1.3.2 Nicht-Leistungsbetrieb

Reaktorkern

Für Anlagenzustände ohne Füllstandabsenkung im Primärsystem und geschlossenem Primärkreis kommen die Maßnahmen aus dem Leistungsbetrieb in Frage. In den phasenspezifischen Regelungen der BHB ist festgelegt, dass bis zum Öffnen des RKL mindestens ein Dampferzeuger zur Nachwärmeabfuhr zur Verfügung stehen muss.

Bei gefluteten Hauptkühlmittleitungen bzw. geflutetem Reaktorbecken bestehen große Karenzzeiten bis Maßnahmen zur Kühlung der Brennelemente im Reaktordruckbehälter notwendig sind ($>> 10$ h). Die kürzesten Karenzzeiten ergeben sich im Falle des Mitte-Loop-Betriebs. Hier soll zunächst eine Druckspeicherein- speisung erfolgen, die durch Normalisierung des Systems (Auffahren der Blockierspindeln in den Einspeisearmaturen) realisiert werden kann. Ist der Primärkreis geöffnet, so ist nach der Einspeisung von mindestens vier Druckspeichern eine Wärmeabfuhr für längere Zeit über Verdampfung möglich (verfügbare Karenzzeit > 10 h bei einer unterstellten Wärmeleistung im RDB von 16,4 MW), anschließend muss eine Kühlmittleinspeisung über das Volumenregelsystem erfolgen. Ist der Primärkreis noch druckdicht verschlossen, erfolgt die Wärmeabfuhr nach Einspeisung der Druckspeicherinventare über den Reflux-Condenser-Betrieb.

BE-Lagerbecken-Kühlung

Für den Zustand „Alle Brennelemente im BE-Lagerbecken und Dichtschütz gesetzt“ soll eine Nutzung der betrieblichen Deionateinspeisung zur Ergänzung von Kühlmittelinventar im BE-Lagerbecken erfolgen. Dafür sind keine aktiven Komponenten im Ringraum erforderlich. Die Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken erfolgt durch „Verdampfungskühlung“.

2. Ringraumüberflutung SWR

Die Ausführungen in diesem Anhang zu Ringraumüberflutung ergänzt die Aussagen im Kapitel C.2.5 „Konkretisierung der Empfehlung zu Ringraumüberflutung“.

Vom VGB wurden zu diesem Thema mehrfach vorgetragen:

- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folie 15
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 3. März 2016 [44]
- VGB-Schreiben an die RSK-Geschäftsstelle vom 14. März 2017 [46], Pkt. 9
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]
- TÜV-Süd, E-Mail vom 21.06.2017 [49]

Der VGB führt in [44] und [46] aus, dass die Nebenkühlwasserstränge VE2 und VE3 zu den nuklearen Zwischenkühlern in die entsprechenden Kompartments des Ringraumes des Reaktorgebäudes führen. Der Strang VE1 führt ins nukleare Betriebsgebäude, wo sich der nukleare Zwischenkühler der Redundanz 1 befindet, damit bleiben die Folgen eines großen Lecks auf das nukleare Hilfsanlagegebäude beschränkt und somit ohne Auswirkung auf die Verfügbarkeit der Redundanzen 2 und 3.

Die einzelnen Redundanzbereiche im Reaktorgebäude sind gegeneinander bautechnisch bis zur Höhenkote 0 m abgeschottet (Kompartments), so dass bis zu dieser Höhe bei Überflutungen kein Wasser von einer Redundanz zur Nachbarredundanz überlaufen kann. Das Raumvolumen des Kompartments 2 beträgt ca. 1.529 m³, das des Kompartments 3 ca. 1.664 m³. Weiterhin sind die Gebäudefugen von ±0 m bis +1,5 m ausreichend wasserdicht abgedichtet, so dass das Flutvolumen noch entsprechend größer ist. [48]

Zur Überwachung der einzelnen Kompartments gibt es redundant aufgebaute Sumpffüllstandsmeldungen. Bei einem Füllstand von > -8,30 m (Sumpfoberkante) erfolgt eine Sicherheitsgefahrenmeldung der Klasse S. Die Meldung ist zweikanalig aufgebaut und entspricht der KTA-Regel 3501. Gemäß BHB, Teil 4, Kapitel 2.7 sind unverzüglich Gegenmaßnahmen zur Störungsbeseitigung durch das Schichtpersonal durchzuführen.

Bei einem weiteren Anstieg werden bei einem Füllstand > -7,8 m (außer bei Reaktorschutzanforderung) automatisch die VE- und TF-Pumpen sowie die ND- und HD-Pumpe des betroffenen TH-Systems abgeschaltet und die im Wasserbereich liegenden Armaturen geschlossen (Kompartmentschutz, sicherheitstechnisch wichtige Begrenzung). Bei gleichzeitiger Reaktorschutzanregung und Klasse-S-Meldung wird die Leckage entsprechend BHB unverzüglich durch Handmaßnahmen abgesperrt.

Durch die durchgeführten Maßnahmen bleiben die Auswirkungen der Überflutung auf den betroffenen Redundanzbereich begrenzt.

Dies gilt auch für den Fall, dass aufgrund einer Saughebewirkung weiterhin Wasser in den Redundanzbereich strömt. Es stellt sich ein Ausgleichsfüllstand unterhalb der Höhenkote 0 m ein (0 m entspricht einem Donauwasserstand von 433 m üNN).

Der gesamte Reaktorschutz befindet sich auf der Ebene +8,9 m im Reaktorgebäude. Eine Überflutung bis zu dieser Höhe ist als ausgeschlossen anzusehen. Daher ist davon auszugehen, dass die RA- und RL-ISO-Ventile ansteuerbar bleiben.

Selbst bei einer Überflutung aller Compartments könnten die vitalen Sicherheitsfunktionen erfüllt werden. Die Bespeisung des RDB wäre über das Hauptspeisewassersystem RL weiter möglich. Die Wärmeabfuhr könnte über das Frischdampfsystem RA an die Hauptwärmesenke oder über das Öffnen der diversitären Druckbegrenzungsventile und die Abgabe von Dampf aus der Kondensationskammer über das Ventingsystem erfolgen.

Wenn das Kompartiment der Redundanz 2 überflutet ist, ist die Notfallmaßnahme zur RDB-Bespeisung über mobile Pumpen nicht durchführbar. Möglich blieben die Einspeisung von Speisewasser und die Wärmeabfuhr über die Frischdampfleitungen und als Maßnahmen, mit denen Zeit gewonnen werden kann, die Einspeisung von Kühlmittel über Steuerstabantriebspumpen oder die Kühlwassereinspeisung über die Dichtungssperrwasserpumpen der Kühlmittelumwälzpumpen.

Zu der Frage, wie sich das Wasser von einem Kompartiment zum nächsten ausbreitet, wurde vom Betreiber eine Sonderbegehung mit Gutachterbeteiligung durchgeführt. Der Betreiber führt dazu aus, dass zwischen den Kompartments der Redundanzen 2 und 3 jeweils auf einer Seite das Kompartiment der Redundanz 1 und auf der anderen Seite die YT-Räume und der Montageschacht liegen [48]. Von 0,00 m bis +1,50 m führt ein Lüftungskanal durch alle drei Kompartments und in die YT-Räume, mit jeweils einer Brandschutzklappe zwischen den einzelnen Kompartments. Das in den Lüftungskanal eindringende Wasser tritt zuerst im Kompartiment der Redundanz 1 über Lüftungsschlitze und abzweigende Lüftungskanäle aus. Nach Abschätzung des Betreibers reichen die freien Querschnitte in den Lüftungskanälen der Redundanz 1 nicht aus, um einen Wasserübertritt zwischen Kompartiment 2 und Kompartiment 3 nach Fluten eines der Kompartments zu verhindern, wobei jedoch nur eine Teilmenge ins andere Kompartiment gelangt.

Weiterhin hat der Betreiber eine probabilistische Abschätzung vorgenommen zur Eintrittshäufigkeit einer unbeherrschten Ringraumüberflutung mit Versagen aller Gegenmaßnahmen. Ausgehend von Anlagenzuständen, für die bei unterstellter Überflutung der Kompartments 2 und 3 keine Maßnahmen zur Bespeisung des RDB verfügbar sind, leitet er eine Häufigkeit für einen Gefährdungszustand von $3,4 \text{ E}^{-11} \text{ 1/a}$ ab, das 95%-Perzentil beträgt $1,1 \text{ E}^{-10} \text{ 1/a}$. Damit ist nach Auffassung des Betreibers gezeigt, dass das Szenario mit „einem hohen Maß an Aussagesicherheit extrem unwahrscheinlich“ ist. Das Eintreten eines Ereignisses oder Ereignisablaufs oder Zustands kann somit entsprechend RSK-Sicherheitsphilosophie 2013 als ausgeschlossen angesehen werden; Maßnahmen zur Verbesserung solcher Szenarien können, allenfalls geringfügige Beiträge zur Risikovorsorge leisten.

Teil F Anhang Lastabsturz (DWR und SWR)

Die Ausführungen in diesem Anhang zu Lastabsturz ergänzen die Aussagen in B.1.6/C.2.6 „Konkretisierung der Empfehlung zu Lastabsturz“.

Vom VGB wurde zu diesem Thema mehrfach vorgetragen:

- VGB-Vortrag vom 11.12.2013 [9], Folie 20;
- VGB-Vortrag vom 04.11.2014, [13] Folien 12-25
- VGB-Vortrag vom 05.11.2014 [15] Folien 4-6
- VGB-Vortrag vom 02.02.2016 [36], Folien 16-18
- VGB-Schreiben vom 14. März 2017 [46]
- BStMUV, E-Mail vom 11. August 2017 [48]

Das Ziel der Betrachtungen des VGB-AK „NWV“ bestand darin, zu zeigen, dass ein Absturz schwerer Lasten auszuschließen ist oder die Folgen eines unterstellten Absturzes nicht zum Ausfall vitaler Sicherheitsfunktionen führt.

Hinsichtlich der vitalen Sicherheitsfunktionen geht es im Wesentlichen darum, das Schutzziel Kühlung der Brennelemente sicherzustellen. Das Schutzziel Reaktivitätskontrolle wird durch mechanische Einwirkungen infolge Lastabsturz nicht infrage gestellt, da sie zu einer „Kompaktierung“ von BE-Anordnungen und mithin zu einer Verringerung der Moderation führen würden, nicht jedoch zu einer Erhöhung der Moderation und der Reaktivität. Das Schutzziel Aktivitätseinschluss kann zwar durch mechanische Einwirkungen beeinträchtigt werden (Versagen von Barrieren wie Brennstab-Hüllrohren), nicht jedoch in einem solchen Umfang, dass es zu „cliff-edge“ Bedingungen käme. Dies kann nur durch einen größeren Ausfall der Kühlung verursacht werden, durch den es zu einem Schmelzen von Kernbrennstoff in größerem Umfang käme. (Wobei allerdings große frühe Freisetzen infolge des in allen Anlagen vorhandenen Lüftungstechnischen SHB-Abschlusses ausgeschlossen werden können).

Derartige Einwirkungen sind praktisch nur vorstellbar infolge des unterstellten Absturzes von Lasten, die aufgrund ihres Gewichts nur mit dem Reaktorgebäudekran-Haupthub bewegt werden (ca. 30 bis 40 Betriebsstunden im Jahr).

Bei einer Diskussion bezüglich Überlagerung der Krannutzung mit anderen Ereignissen, z. B. Erdbeben, ist zu berücksichtigen, dass nur für ca. 20 % der genannten Betriebsstunden der Kran mit schwerer Last sich in Bereichen befindet, die für die Robustheitsbetrachtungen relevant sind. Darüber hinaus sind die Hebezeuge nach KTA 3902, Abschnitt 4.3 mit erheblichen Sicherheitsfaktoren bei der mechanischen Dimensionierung auf der Einwirkungs- und Widerstandseite ausgeführt, so dass auch bei Belastungen infolge Bemessungserdbeben ein Versagen der Strukturen nicht zu erwarten ist. Das Szenario kann deshalb ausgeschlossen werden.

Das Konzept des VGB-AK „NWV“ beruht darauf,

- einerseits die Eintrittshäufigkeit für Lastabstürze zu minimieren, die einen größeren Kühlungsausfall verursachen könnten, und

-
- andererseits Maßnahmen zu nutzen, mit denen eine beeinträchtigte Kühlung im erforderlichen Umfang wieder hergestellt werden kann.

1. Vorsorge gegen Absturz

Für die Auslegung und den Betrieb der Hebezeuge in den Anlagen mit Leistungsbetrieb galten bei Errichtung der Anlagen die Anforderungen nach KTA 3902, Abschn. 4.3 (1983) bzw. KTA 3903 (1982). In den Betriebsgenehmigungen für diese Anlagen wurde deshalb davon ausgegangen, dass ein Absturz schwerer Lasten mit sicherheitstechnischen Folgen so unwahrscheinlich ist, dass hierfür keine weiteren Betrachtungen erforderlich waren. Der VGB-AK-N verweist hierzu auf die Dokumentationsunterlage zur Regeländerung der KTA 3902 für den Stand 1983 [Dokumentationsunterlage zur Regeländerung, Abschnitt 5.1], wonach die Versagenshäufigkeit für Hebezeuge nach Abschn. 4.3 auf etwa 10^{-6} /a eingeschätzt wurde.

In den 90er Jahren wurden diese Regeln überarbeitet, was teilweise zu zusätzlichen Anforderungen führte, die z. B. aus Betriebserfahrungen und Vorkommnisauswertungen abgeleitet wurden. Weiterhin wurden diese Regeln ergänzt durch die KTA 3905, die zusätzlich Anforderungen an die Lastanschlagpunkte formulierte. Diese zusätzlichen Anforderungen führten zu umfangreicheren Ertüchtigungen in den Anlagen. Der VGB-AK-N argumentiert hierzu, dass aufgrund dieser Ertüchtigungen die Versagenshäufigkeit tendenziell weiter abgenommen hat. Außerdem wird darauf verwiesen, dass unter Berücksichtigung weiterer Maßnahmen wie

- technisch: Umsetzung der erhöhten Anforderungen nach KTA 3902 (Stand 2011) mit neuen Betriebs- und Sicherheitssteuerungen mit diversitärer/redundanter Fahrweg- und Hubhöhenbegrenzung (Diversität durch betriebliche und sicherheitstechnische Begrenzungen)
- administrativ: Ergänzungen im BHB zum Bewegen von schweren Lasten sowie betriebliche Regelungen zum Umgang/Verfahren von schweren Lasten im Bereich des Beckenflurs und im Bereich des BE-Lagerbeckens und des Reaktorbeckens

nicht jeder unterstellte Absturz zu einer Gefährdung von vitalen Funktionen führt. Es sei demnach davon auszugehen, dass ein Lastabsturz mit Potenzial für die Beeinträchtigung von vitalen Funktionen eine Eintrittshäufigkeit hat, die mindestens eine Größenordnung niedriger liege als der oben genannte Wert (siehe hierzu auch die folgenden Abschnitte).

2. Handhabung von BE-Transportbehältern

2.1 Ablauf

BE-Transportbehälter (TB) werden planmäßig im Reaktorgebäude nur während des Leistungsbetriebs bewegt (Betondecke über der Reaktorgrube geschlossen). Die TB werden beim DWR auf einem schienengeführten Wagen in horizontaler Lage durch die Materialschleuse eingeschleust und bis in die Nähe der Abstellposition gefahren. Das Gewicht der beladenen TB liegt maximal bei 127 Mg.

Anschließend wird der TB neben dem Abstellplatz in die vertikale Position gebracht, indem mit dem Gebäudekran ein Ende angehoben wird und der Wagen, auf dem das andere Ende aufliegt, nachgeführt wird. Dann wird der TB vertikal etwas angehoben und dann seitwärts in einer Höhe von ca. 20 cm über Beckenflur bis zum Abstellplatz bewegt und dort abgesetzt.

Nach Vorbereitungsarbeiten am TB wird dieser etwas angehoben, seitwärts auf direktem Wege und mit geringer Geschwindigkeit zum Transportbehälterbecken bewegt und dort in das geflutete Transportbehälterbecken abgesenkt. Das Schütz zum BE-Lagerbecken ist dabei nicht gesetzt.

Ein Überfahren des BE-Lagerbeckens oder des Reaktorbeckens mit einem TB wird durch technische Maßnahmen und administrative Vorgaben (Fahrbereichsverriegelungen des Gebäudekrans bei angeschlagenem TB und Überwachung des Vorgangs) verhindert.

Nach dem Beladen mit bestrahlten BE wird der TB in umgekehrter Reihenfolge wieder aus dem Reaktorgebäude ausgeschleust.

Beim SWR wird der BE-Transportbehälter innerhalb des Reaktorgebäudes bis auf Höhe des Beckenflurs angehoben. Unter dem Boden des Transportschachts (0 m) befindet sich jedoch nur der Hauptschleusenvorraum (-5 m bzw. -3,5 m), darunter ein leerer Anlagenraum (-8,3 m). Die Beschädigung von Sicherheitseinrichtungen durch einen Absturz im Transportschacht ist damit nicht möglich.

Transport- und Handhabungsvorgänge sind im 40-Meter-Handbuch geregelt und erfolgen innerhalb des Reaktorgebäudes nur mit dem Reaktorgebäudekran nach begutachtetem Schrittfolgeplan über speziell dafür ausgewiesenen/nachgewiesenen Bereichen. Die größte Transporthöhe wird beim Heben über das Geländer am BE-Lagerbecken (1,10 m) mit ca. 1,30 m erreicht.

Verriegelungen am Reaktorgebäudekran verhindern einen Lasttransport im Beckenbereich unter Last. Die Kranhaken können ohne Schlüsselschalter grundsätzlich nur unbelastet und in Höchststellung über dem Becken verfahren werden. Ein Verfahren der Kranhaken über dem Becken unter Last ist nur mit Schlüsselschalter möglich.

2.2 Einschätzung VGB-AK-N

Beim DWR ist ein Abstürzen des TB während des Einschleusens auf dem Wagen aufgrund der eingesetzten Transporthalterungen ausgeschlossen.

Bei den Bewegungen des TB am Kranhaken in geringer Höhe über dem Beckenflur ist bei einem unterstellten Absturz davon auszugehen, dass die massiven Stahlbetonstrukturen des Beckenflurs die Stoßlasten aufnehmen können. Aufgrund der geringen Transporthöhen ist auch ein Umkippen des Behälters nach einem Lastabsturz nicht zu erwarten.

Die Standsicherheit des TB auf dem Abstellplatz ist ausreichend, um selbst bei einem Bemessungserdbeben ein Umfallen zu verhindern.

Würde beim Absenken des TB in das Transportbehälterbecken ein Absturz unterstellt, läge die Fallhöhe beim DWR bei maximal ca. 15 m. Es ist nicht zu erwarten, dass die resultierende Stoßlast vom Boden des Transportbehälterbeckens ohne erhebliche Rissbildung abgetragen wird. Für das eigentliche BE-Lagerbecken ist

aufgrund der massiven Stahlbetonstrukturen zwischen BE-Lagerbecken und dem Transportbehälterbecken, die sich auf eine darunter angeordnete Querwand abstützen (s. Folien 21 bis 25 im VGB-Vortrag vom 04.11.2014), nicht damit zu rechnen, dass im BE-Lagerbecken (Lagerbeckensohle und Wände) Risse mit Leckagen auftreten könnten, die für die Kühlung nicht überspeisbar wären (s. unten 5).

Ein Auslaufen des Wassers aus dem BE-Lagerbecken über das beschädigte Transportbehälterbecken wird dadurch ausreichend begrenzt, dass die bauliche Schwelle zwischen Transportbehälterbecken und BE-Lagerbecken einen Füllstandabfall im BE-Lagerbecken bis unter Oberkante BE ausschließt.

Ein Versagen des Hebezeugs genau in dem kurzen Zeitraum, in dem der TB so über der Öffnung des Transportbehälterbeckens hängt, dass er beim Fallen auf dem Rand des Transportbehälterbeckens aufsetzen und dann in Richtung BE-Lagerbecken kippen würde, wird vom VGB probabilistisch ausgeschlossen.

Beim SWR ist der Beckenflur auf den für den Transportbehälter vorgesehenen Fahrwegen für einen unterstellten Absturz ausgelegt. Ebenso wurde bei der Errichtung gezeigt, dass der Boden des separaten Transportbehälterbeckens einem unterstellten Absturz standhält.

Der Sturz eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken (auch durch fehlerhaftes Aufsetzen auf der Kante des Transportbehälterbeckens und anschließendes Kippen ins BE-Lagerbecken) wird vom VGB ausgeschlossen, da Ereignisse mit Überlagerung des Fehlfahrens des KTA-Krans und gleichzeitigem Versagen des KTA-Gehänges im Sinne der Fußnote in den SiAnf, Punkt 2.5 (1) nicht zu unterstellen sind.

Weiterhin wurde für den SWR dargelegt, dass ein Aushängen des Hebezeugs bei einem fehlerhaften Aufsetzen auf der Kante des Transportbehälterbeckens mit beginnendem Kippen des Transportbehälters aufgrund konstruktiver Maßnahmen in den Anschlagsmitteln nicht zu unterstellen ist [48, Anhang 1]. Damit ist der Absturz eines Transportbehälters in das BE-Lagerbecken insgesamt nicht zu unterstellen.

3. Handhabung des RDB-Deckels und des oberen Kerngerüsts

Das Gewicht des RDB-Deckels mit Hebetraverse liegt bei ca. 150 Mg, das des oberen Kerngerüsts mit Hebetraverse bei ca. 75 Mg. Die Betrachtung des RDB-Deckels ist deshalb hinsichtlich mechanischer Einwirkungen auf den Flanschbereich des RDB abdeckend. (Das obere Kerngerüst hat zwar einen geringfügig geringeren äußeren Durchmesser als der RDB innen, aber bereits eine geringe Schiefstellung, wie sie bei einem Absturz praktisch zwangsläufig auftritt, würde dazu führen, dass es auf den Flanschbereich des RDB aufschlüge und nicht in den RDB hineinfielen).

3.1 Ablauf

Im DWR werden beim Öffnen des RDB zuerst die Deckelschrauben mit der Schraubenspannvorrichtung gelöst, mit dieser angehoben und an dem entsprechenden Stellplatz auf dem Beckenflur abgesetzt. Anschließend werden an drei um 120 ° versetzte Stellen im RDB-Flansch massive, ca. 5 m lange Führungsbolzen eingeschraubt, die den RDB-Deckel beim Abheben und Aufsetzen führen. Anschließend wird der Deckel bis über die Führungsbolzen angehoben, dann auf Höhe Beckenflur (ca. 10 m über RDB-Flansch) seitwärts be-

wegt und auf seinem Abstellplatz abgesetzt. Während des Anhebens des Deckels wird zur Verringerung der Dosisleistung auch der Wasserspiegel nachgeführt (ca. 2 m Abstand).

Beim Aufsetzen des Deckels werden die Schritte in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen.

Im SWR erfolgt das Abheben des Deckels in ähnlicher Weise.

3.2 Einschätzung VGB-AK-N

Wird unterstellt, dass das Hebezeug versagt, während der Deckel noch von den Führungsbolzen geführt wird, ist ein Verkanten des Deckels zu erwarten, was in Verbindung mit dem angehobenen Wasserniveau im Reaktorbecken (DWR) eine bremsende Wirkung hat. Dennoch ist beim Auftreffen des Deckels auf den Flanschbereich des RDB mit einer Stoßbelastung zu rechnen, die zu plastischen Verformungen in der Aufhängung und damit zu einer gewissen Absenkung des RDB führt (Ringträger und Tragpratzen). Wie jedoch eine bereits im Rahmen der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B, (Hauptband, S. 486ff) durchgeführte Abschätzung gezeigt hat, ist ein Abreißen oder Versagen der anschließenden Hauptkühlmittelleitungen nicht zu erwarten, da der nächste Festpunkt mehrere Meter vom RDB entfernt ist und damit die HKML die Bewegung des RDB entsprechend dem Spiel in der Durchführung durch den biologischen Schild mitmachen können. Darüber hinaus könnte aufgrund der Kapazität der Notkühlsysteme eine Kühlung der Brennelemente durch Einspeisung von Kühlmittel aufrechterhalten werden, selbst wenn nur eine anschließende HKML funktionsfähig bliebe.

Bei unterstellten Schäden in den anschließenden HKML würde der Füllstand im RDB bis zur Unterkante der HKML abfallen. Aufgrund der deutlich tieferen Lage des Reaktorkerns und des entsprechend Wasserinventars im RDB verbleibt jedoch ausreichend Zeit (ca. 1 h, bis das Kühlmittel im RDB ergänzt werden muss, um ein Abfallen des Füllstands bis in den zu kühlenden Bereich des Reaktorkerns zu vermeiden. Zur Kühlmittelergänzung bei einem derartigen Szenario wurden in der Betriebsdokumentation Maßnahmen ergänzt für die Einspeisung mit bereitgehaltenen Druckspeichern und Nachkühlpumpen.

Wird das Versagen des Hebezeugs unterstellt, wenn der Deckel oberhalb der Führungsbolzen bereits seitwärts bewegt wurde, würde der Deckel auf mindestens einem Führungsbolzen aufschlagen und sich dadurch schrägstellen. Wesentlich andere Verhältnisse als im vorstehend diskutierten Szenario ergäben sich daraus nicht.

Für den SWR wurde im Rahmen einer Sicherheitsanalyse gezeigt, dass auch bei einem Lastabsturz des RDB-Deckels die Kühlbarkeit der Brennelemente erhalten bleibt und Wasser in den RDB eingespeist werden kann [15].

4. Handhabung sonstiger Lasten

Sonstige im Reaktorgebäude mit Hebezeugen bewegte Lasten sind hinsichtlich ihres Gewichts durch die vorstehend diskutierten Fälle abgedeckt. In den Gebäudebereichen, in denen diese Lasten bewegt werden, ist

durch die räumliche Trennung von sicherheitstechnischen Einrichtungen sichergestellt, dass selbst bei unterstellten Folgeschäden maximal eine Redundanz von sicherheitstechnischen Einrichtungen betroffen wäre.

Wird unterstellt, dass derartige Lasten - trotz Minimierung der Überfahrten - ins BE-Lagerbecken stürzen, kann zwar die Beckenauskleidung beschädigt werden, nicht jedoch die Stahlbetonstruktur des BE-Lagerbeckens selbst. Die Leckagen durch die beschädigte Auskleidung können überspeist werden.

Wird unterstellt, dass derartige Lasten in den Reaktorraum/Abstellraum zwischen RDB und BE-Lagerbecken stürzen, gilt dies analog. Im Übrigen könnte auch bei geöffneter Schleuse im BE-Lagerbecken der Füllstand dort nur bis zur Unterkante der Schleuse absinken, so dass die BE für eine Kühlung ausreichend bedeckt bleiben (Karenzzeit für eine erforderliche Nachspeisung mehrere Stunden).

5. Möglichkeiten zur Kühlung

Beim DWR stehen zur Einspeisung von boriiertem Kühlmittel zur Verfügung:

- BE-Lagerbecken
 - Chemikalieneinspeisesystem (6 kg/s)
 - Beckenreinigungssystem aus den Flutbecken/-behältern des Nachkühlsystems (ca. 20 kg/s)
 - Nachkühl-/Beckenkühlpumpen aus den Flutbecken/-behältern des Nachkühlsystems (ca. 180 kg/s)
- RDB
 - Volumenregelsystem (ca. 25 kg/s) aus dem Chemikalieneinspeisesystem
 - Zusatzboriersystem (ca. 8 kg/s)
 - Druckspeicher (acht mit je 34 Mg Inventar)
 - Nachkühl-/Beckenkühlpumpen aus den Flutbecken/-behältern des Nachkühlsystems (ca. 360 kg/s bzw. 210 kg/s je Pumpe bei 1 bar Gegendruck)

Nach Einspeisen der Inventare des Nachkühlsystems können die Nachkühl-/Beckenkühlpumpen auf Sumpfbetrieb umgeschaltet werden und damit die Wärmeabfuhr auf Dauer sicherstellen.

Die verschiedenen Einspeisungen können in Zeitspannen aktiviert werden, die deutlich kürzer sind als die oben genannten Karenzzeiten.

Entsprechend Prozeduren sind in den Betriebsunterlagen vorhanden (BHB, Schutzziel-BHB). Auf Notfallmaßnahmen wird im Anforderungsfall, d. h. bei Verletzung von Schutzzielen, verwiesen (im NHB).

Beim SWR bestehen verschiedenen Möglichkeiten, Wasser in das BE-Lagerbecken und den RDB einzuspeisen, s. Kap. C.2.9 „Überprüfung des Notfallschutzkonzepts im Hinblick auf Einspeisemöglichkeiten zur Kühlung der Brennelemente und zur Sicherstellung der Unterkritikalität“.

Teil G Anhang Robustheit der HKMP-Dichtungen (DWR)

Die Ausführungen in diesem Anhang ergänzen die Aussagen im Kapitel B.2.3 „Maßnahmen zur Beherrschung des Ausfalls der primären Wärmesenke“.

Die Ausführung der Dichtungspartien der HKMP ist in den Anlagen je nach Pumpenhersteller und evtl. Baujahr unterschiedlich. [10], [33]

1. KSB

1.1 Funktion der Gleitringdichtungen

- Drei hintereinander geschaltete hydrodynamische Gleitringdichtungen
- Druckstaffelung über Dichtungsstufen wird über Rohrdrosseln vorgegeben
- Schmierung und Kühlung über Sperrwasser aus dem Volumenregelsystem
- Kühlung des Sperrwasserkreislaufes über Betriebskomponentenkühlkreis (HD-Kühler)
- Bei Stillstand der Pumpenwelle wird die Stillstandsichtung zugefahren (über Beaufschlagung mit Stickstoff oder über Rückschlagdichtung).

1.2 Auslegung der Gleitringdichtungen

- Jede der drei hintereinander geschalteten hydrodynamischen Gleitringdichtungen kann gegen vollen Primärkreisdruck abdichten.
- Die Stillstands- bzw. Rückschlagdichtungen sind auch für vollen Primärkreisdruck ausgelegt und bilden somit eine zusätzliche Barriere.
- Für die Dichtheit der HKMP nach außen ist die Integrität der Elastomer-Dichtringe im Bereich der letzten Gleitringdichtung sicherzustellen.
- Die Auslegungstemperatur des Elastomerwerkstoffs EPDM zur Sicherstellung der betrieblichen Funktion beträgt 150 °C (aktuelle Bauteilversuche ergaben eine extrapolierte Temperaturbeständigkeit der Gleitringe unter Betriebsdruckbedingungen bis 260 °C).
- Die Integrität der Dichtungspartie für 10 h-Autarkie hat der Hersteller 1981 experimentell nachgewiesen unter folgenden Randbedingungen:
 - Anlage unterkritisch heiß,
 - Ausfall von Betriebskühlkreislauf und Volumenregelsystem,
 - Schließen der HD-Leckageleitungen durch notstandssichere Verriegelung über das Kriterium „Temperatur HD-Leckage > 100 °C“,
 - Einleiten des 50-K/h-Abfahrens nach zehn Stunden über Handmaßnahmen.

1.3 Ablauf bei Ausfall der primären Wärmesenke im Leistungsbetrieb

- Ausfall von Betriebskühlkreislauf und Volumenregelsystem,
- manuelle HKMP-Abschaltung oder Ausfall nach ca. 3 min (Aggregateschutzkriterien),
- Absperren der HD- und ND-Leckageleitungen (Armaturenversorgung über D2-Netz),
- langsames Aufwärmen des HKMP-Dichtungsgehäuses durch Wärmeleitung,
- 50-K/h-Abfahren spätestens zwei Stunden nach RESA über FD-Abblasestation,
- Aufheizung des Dichtungspaketes bis zur Auslegungstemperatur der Elastomere (150 °C) nach 1,5 Stunden zu erwarten. Die für KMV-Ausschluss relevante dritte Dichtungspaarung würde ohne Abfahren nach zehn Stunden mehr als 150 °C erreichen. Durch das Abfahren erreicht Kühlmitteltemperatur nach etwa sechs Stunden Werte von weniger als 150 °C. Die thermische Belastung ist geringer als im Szenario der 10 h-Autarkie.

1.4 Ablauf bei Totalausfall der Drehstromversorgung (TAD)

- Ausfall von Betriebskühlkreislauf und Volumenregelsystem
- kein automatisches Schließen der HD-Leckageleitungen aufgrund des unterstellten Ausfalls der D1-/D2-Netze
- beschleunigtes Aufheizen der Dichtungspartie durch geöffnete Leckageleitungen (mehr als 150 °C nach etwa 20 Minuten)
- erfolgreiche Anwendung der Notfallmaßnahmen SDE und DE-Bespeisung
- Primärkreistemperaturen bis 300 °C in ersten 1,5 Stunden des Störfallverlaufs
- Integrität der Dichtungspartie bis 260 °C in dritter Dichtungsstufe sichergestellt, wenn
 - Kühlmitteltemperatur und -druck durch SDE und DE-Bespeisung innerhalb etwa einer Stunde reduziert werden oder
 - HD-Leckageleitungen nach Wiederherstellung der Drehstromversorgung mit dem mobilen Diesel und geeigneten Notfallmaßnahmen geschlossen werden (innerhalb von 1,5 Stunden realisierbar).

1.5 Vorgesehene Ergänzungen in Betriebsunterlagen (anlagen- und aggregatespezifisch)

- Präzisierungen zum Ausfall der Sperrwasserversorgung und HKMP-Betrieb mit Notsperrwasser
- Präzisierungen zu HKMP-Abschaltkriterien beim Ausfall der Kühlwasserversorgung
- Präzisierungen zum Ausfall von Kühl- und Sperrwasser bei abgeschalteter Pumpe und heißem Primärkreis: Aufnahme der Notwendigkeit zum Anlagenabfahren, sofern Komponentenköhlkreis nicht kurzfristig in Betrieb zu nehmen ist.
- Aufnahme des kurzfristigen 50-K/h-Abfahrens für den Fall, dass Betriebskühlwasser erdbebenbedingt als ausgefallen anzunehmen ist.
- Aufnahme von Maßnahmen, um das Betriebskühlwassersystem im Ringraum nach einem Erdbeben bei Erfordernis wieder zu füllen und in Betrieb zu nehmen.
- Schließen der HD-Leckageleitungen bei einem postulierten SBO im Zuge von Notfallmaßnahmen (z. B. SDE, PDE)

2. Andritz

Die bei noch betriebenen Anlagen eingesetzten Andritzpumpen [33] haben zwei- oder dreistufige Gleitringdichtungen. Zur Schmierung und Kühlung der Dichtungen wird kaltes Sperrwasser vom Volumenregelsystem in den Dichtungsbereich eingespeist. Als Werkstoffpaarung für Gleit- und Gegenring werden Kohle und Wolfram-Karbid eingesetzt.

Den zwei bzw. drei Hauptdichtungen ist eine berührungsfreie Stillstandsichtung nachgeschaltet, die bei einem Ausfall der Betriebsdichtungen den Austritt von Primärkühlmittel verhindert. In diesem Fall steht an der Stillstandsichtung der volle Systemdruck an. Diese Dichtung wird bei stehender Pumpe zugefahren, dies erfolgt durch Stickstoffbeaufschlagung. Eine Stellungsmeldung signalisiert die geschlossene Stillstandsichtung. Im Bereich des Dichtungssystems sind sekundäre Abdichtungen vorhanden. Diese Abdichtungen sind Runddichtringe und Stützringe aus Elastomeren. Ansonsten sind die Merkmale für Funktion, Auslegung und Abläufe bei Störfallereignissen mit Abschaltung der Pumpen vergleichbar mit den KSB-Pumpen.

Auch für die Andritz-Pumpen sind Versuche durchgeführt worden, um einschätzen zu können, bis zu welchen Temperaturen und Zeiten bei den Dichtungspartien von einer hinreichenden Integrität ausgegangen werden kann. Die Integrität der Elastomere bei abgeschalteter Pumpe wurde versuchstechnisch für Temperaturen bis 300 °C in einem Zeitraum von bis zu 10 h durch Andritz nachgewiesen.

Weitere Versuche in jüngerer Zeit für vergleichbare Dichtungsstrukturen der Andritz-Pumpen haben ergeben, dass bei Temperaturen bis 300 °C und einer Einwirkungszeit bis 48 h noch kein Funktionsverlust der Dichtungen auftritt.

Infolge des standardisierten Vorgehens im Falle eines Totalausfalls der Drehstromversorgung mit Einleitung von Notfallmaßnahmen wird durch das Abkühlen der Anlage die Temperatureinwirkung auf die HKMP-Dichtungen verringert. Innerhalb der ersten Stunden ist von einer Absenkung der KMT auf deutlich unterhalb 300 °C auszugehen, womit die Belastung der Dichtungen im relevanten Temperaturbereich minimiert und die i. R. stehende Dichtfunktion beibehalten wird.

Teil H Literatur

- [1] RSK STELLUNGNAHME
Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan) , 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011
- [2] RSK EMPFEHLUNG
Empfehlungen der RSK zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke, 450. RSK-Sitzung am 26./27.09.2012
- [3] RSK STELLUNGNAHME
Ausfall der Primären Wärmesenke, 446. RSK-Sitzung am 05.04.2012
- [4] RSK STELLUNGNAHME
Konkretisierung von Anforderungen im Zusammenhang mit der 10 h-Autarkie bei zivilisatorischen Einwirkungen von außen (Notstandsfälle), 459. RSK-Sitzung am 20.06.2013
- [5] RSK STELLUNGNAHME
Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung, 462. RSK-Sitzung am 06.11.2013
- [6] RSK STELLUNGNAHME
Mindestwert von 0,1 g (ca. 1,0 m/s²) für die maximale horizontale Bodenbeschleunigung bei Erdbeben, 457. RSK-Sitzung am 11.04.2013
- [7] RSK EMPFEHLUNG
Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter, 475. RSK-Sitzung am 15.04.2015
- [8] Anderweitig behandelte Einzelempfehlungen der RSK-Stellungnahme von Mai 2011, Anlage 2 zum Protokoll der 496. RSK-Sitzung am 06.09.2017
- [9] VGB Power Tech e. V.
Erfahrungen bei der Umsetzung der RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke
Vortragsfolien zur 463. RSK-Sitzung am 11.12.2013
- [10] VGB Power Tech e. V.
Kopien der Folien zum Vortrag in der 4. Sitzung der AG Robustheit am 04.06.2014
- [11] VGB Power Tech e. V.
Handbuch mitigativer Notfallmaßnahmen für Druckwasserreaktoren
Kopien der Folien zum Fachgespräch mit GRS und VGB am 29.09.2014

-
- [12] RWE Power
Handbuch mitigativer Notfallmaßnahmen für SWR72 (KKW Gundremmingen B/C)
Kopien der Folien zum Fachgespräch mit GRS und VGB am 02.10.2014 in Essen
- [13] VGB Power Tech e. V.
Generische DWR-spezifische Zusatzinformationen,
Kopien der Folien zum Vortrag in der 4. Sitzung der AG Robustheit am 04.11.2014
- [14] VGB Power Tech e. V.
Details zur systematischen Robustheitsanalyse (DWR),
Kopien der Folien zum Vortrag in der 4. Sitzung der AG Robustheit am 04.11.2014
- [15] VGB Power Tech e. V.
Generische SWR-spezifische Zusatzinformationen
Kopien der Folien zum Vortrag in der 4. Sitzung der AG Robustheit am 05.11.2014
- [16] VGB Power Tech e. V.
Extreme Wetter
Kopien der Folien zum Vortrag in der 4. Sitzung der AG Robustheit am 05.11.2014
- [17] VGB Power Tech e. V.
Vertiefte Darstellung der Bewertung extremer Wetterbedingungen und abgeleiteter Maßnahmen für die
laufenden Kernkraftwerke,
Nachtrag vom 01.06.2015 zur 4. Sitzung der RSK-AG "Robustheitsanalyse" am 04./05.11.2014
- [18] E.ON Global Unit Generation
RSK Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke
Besuch im Kernkraftwerk Brokdorf – Erläuterung spezifischer Fragestellungen
Brokdorf, 19.05.2015
Kopien der Folien zum Vortrag in der 5. Sitzung der AG Robustheit am 19.05.2015
- [19] E.On Kernkraft GmbH an Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche
Räume des Landes Schleswig-Holstein am 12. August 2013
Kernkraftwerk Brokdorf
Empfehlungen der RSK zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke aus der 450. Sitzung der RSK
am 26./27.09.2012
hier: KBR-Stellungnahme
- [20] VGB Power Tech e. V.
Untersuchungen der Robustheit von deutschen Kernkraftwerken bei Erdbeben
überarbeitete Kopien der Folien zum Vortrag in der 108. Sitzung des RSK-AST am 25.06.2015, Bonn
- [21] VGB Power Tech e. V.
VGB Konzept – Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei aus-

legungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen (DWR)
VGB-Arbeitskreis Nachweisverfahren, 30. Januar 2015

- [22] RSK Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE (AG Robustheit)
Ergebnisvermerk der 6. Sitzung am 17.07.2015
- [23] VGB Power Tech e. V.
RSK-Empfehlung zur Robustheit der deutschen Kernkraftwerke
Überlagerung kurzfristiger, während des Nichtleistungsbetriebes anstehender Betriebszustände mit Erdbeben
Kopien der Folien zum Vortrag in der 6. Sitzung der RSK-AG „Robustheitsanalyse“ am 17.07.2015, Bremen
- [24] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
Fortgeschriebener Aktionsplan zur Umsetzung von Maßnahmen nach dem Reaktorunfall in Fukushima, Dezember 2014
- [25] Klapp, U. et al,
AREVA-Arbeitsbericht PEPS-G/2011/de/0099 A, Erdbebeneinwirkungen – RSK-Überprüfung, 2011-04-19
- [26] RSK Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE (AG Robustheit)
Ergebnisvermerk der 5. Sitzung am 19.05.2015
- [27] VGB-Schreiben *Anfrage der RSK-Ad-hoc-AG „Robustheitsanalyse“ vom 22. Juli 2015* vom 24.08.2015 (Extreme Wetterbedingungen, Übertragbarkeit Erdbebenanalysen)
- [28] VGB, Ergänzende Informationen zur Erdbeben-PSA KRB, 7. Sitzung RSK AG Robustheit am 22.09.2015 in Bonn
- [29] VGB, E-Mail Erdbeben-Robustheit, 02.10.2015
- [30] VGB Power Tech e. V. Schreiben vom 03.03.2016, betreffend Fragen der RSK-Ad-hoc-AG „Robustheitsanalyse“ vom 2. Februar 2016
- [31] VGB, E-Mail Spreizdübel, 20.10.2015
- [32] VGB, E-Mail HD-Förderpumpen, 24.11.2014
- [33] VGB E-Mail Andritz, 19.09.2015, „Betrieb und Verhalten von HKMP-Gleitringdichtungen bei Ereignisabläufen mit Ausfall von Sperrwasser oder/und Betriebskühlwasser der Pumpe“, VGB-Stand: 06/2014
- [34] Uwe Jorden, E-Mail Kurzschlüsse durch RR-Überflutung vom 04.11.2015

-
- [35] VGB, mündliche Erläuterungen, 10. Sitzung der RSK-AG Robustheit am 24.02.2016, Ergebnisvermerk zur 10. Sitzung der Ad hoc-AG Robustheit
- [36] VGB-Präsentation Beantwortung von Fragen der ad-hoc Arbeitsgruppe Robustheit zum SWR, 9. Sitzung der ad-hoc Arbeitsgruppe Robustheit am 02.02.2016
- [37] VGB-Schreiben vom 02.05.2016, Anlagenspezifische Informationen zum Hochwasser
- [38] VGB-Mail vom 10.06.2016, RSK-Anfrage Hochwasser - Details zur Information als Ergänzung der Nachfrage
- [39] RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK
Ergebnisprotokoll der 117. Sitzung am 19.05.2016, TOP 5 Extreme Wetterlagen
- [40] RSK-AST, Bericht für die RSK - Robustheit von DWR-Anlagen gegenüber Erdbeben und PGA-Mindestwert von 0,1 g, AST 111/Info-5.2, 15.10.2015
- [41] Ludwig Ahorner, Hein Meidow, Seismologisches Gutachten für den Standort des Kernkraftwerkes Grohnde in Niedersachsen, Mai 1998
- [42] VGB PowerTech e.V.
VGB-Konzept – Robustheitsanalyse zur Überprüfung der Wirksamkeit der vitalen Funktionen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen von außen und innen, SWR, 27.03.2015
- [43] VGB-Schreiben vom 06.11.2014, ergänzende Informationen Robustheitsanalyse SWR
- [44] VGB Power Tech e.V.
Fragen der RSK-Ad-hoc AG „Robustheitsanalyse“ vom 2. Februar 2016
Schreiben der VGB PowerTech an die RSK-Geschäftsstelle vom 3. März 2016
- [45] GRS mbH
SWR-Sicherheitsanalyse (RS 794) KRB 2
Mögliche Auswirkungen eines Absturzes des RDB-Deckels auf die RDB-Standzarge (Technische Notiz)
Köln, 23.05.1991
- [46] VGB Power Tech e.V.
Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima: SWR-Anlagen
Schreiben der VGB PowerTech an die RSK-Geschäftsstelle vom 14. März 2017
- [47] Volker Noack, E-Mail vom 29.03.2017

-
- [48] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Stellungnahme Robustheitsanalyse SWR - Rückmeldung Besprechung 19.06.17 mit einer Anlage und drei Anhängen, E-Mail vom 11.08.2017
- [49] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Unterlagen zur Videokonferenz vom 19.06.2017, E-Mail vom 21.06.2017
- [50] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Robustheit SWR; hier: Erdbebenspektren, E-Mail vom 05.09.2017
- [51] RSK, Stellungnahme „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“, 488. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 03.11.2016
- [52] KRB II Gundremmingen, EU Sicherheitsüberprüfung – Abschlussbericht zum Stresstest europäischer Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima I (Japan), Stand 24.10.2011