
RSK-Stellungnahme

(539. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 13.12.2023)

Anforderungen an die Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken im Restbetrieb

STELLUNGNAHME

Revidierte Fassung vom 13.12.2023

Vorwort aus der 539. Sitzung am 13.12.2023

zur revidierten Fassung mit Erläuterungen und redaktionellen Änderungen

Gegenüber der ursprünglichen Fassung vom 21.10.2020 (Anlage zum Ergebnisprotokoll der 518. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 21.10.2020) wurden Erläuterungen und redaktionelle Änderungen der Stellungnahme vorgenommen, weil sich in der Anwendung der Originalfassung in Aufsichtsverfahren Missverständnisse aus der Verwendung des Begriffs „betrieblicher Beckenkühlstrang“ ergeben haben. Der Begriff "betrieblicher Beckenkühlstrang" wurde in der Stellungnahme vom 21.10.2020 entsprechend den Gepflogenheiten im Leistungsbetrieb der Anlagen gewählt, nicht im Hinblick auf die Einstufung im Nach- und Restbetrieb. Im Leistungsbetrieb zählten die Beckenkühlsysteme zu den sicherheitstechnisch wichtigen Systemen. Aus der Verwendung des Begriffs „betrieblicher Beckenkühlstrang“ lässt sich also eine Einstufung als „ohne sicherheitstechnische Bedeutung“ nicht ableiten.

Auch für andere Einrichtungen, die in der Stellungnahme entsprechend den Gepflogenheiten in den Anlagen als „betrieblich“ bezeichnet werden, ist die sicherheitstechnische Einstufung im Nach- und Restbetrieb entsprechend der Bedeutung für die Schutzziele festzulegen. Eine Einstufung als "ohne sicherheitstechnische Bedeutung" lässt sich aus der RSK-Stellungnahme auch in diesen Fällen nicht ableiten.

Davon unabhängig wurde in der aktualisierten Fassung eine redaktionelle Änderung im Kapitel 4.4 (Verschiebung eines Absatzes) und eine Ergänzung zur besseren Verständlichkeit vorgenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Beratungsauftrag des BMU und Beratungsgang	3
2	Hintergrund.....	3
3	Anforderungen kerntechnischer Regelwerke / Bewertungsmaßstäbe	4
3.1	Übergeordnete Anforderungen kerntechnischer Regelwerke	4
3.2	Nachweisziele und Nachweiskriterien	5
4	Beratungsergebnisse	6
4.1	Gefährdungspotenzial, sicherheitstechnische Randbedingungen und Nachweise	6
4.2	Staffelung der Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in Abhängigkeit von den verfügbaren Karenzzeiten.....	8
4.2.1	Grundsätzliche Überlegungen.....	8
4.2.2	Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in Phase 1 (Karenzzeit bis zum Erreichen $T_3 > 24$ h)	12
4.2.3	Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in Phase 2 (Karenzzeit bis zum Erreichen $T_3 > 3$ d)	13
4.2.4	Weitere Betrachtungen.....	14
4.3	Wassereinspeisung ins Lagerbecken.....	16
4.4	Robustheitsbetrachtungen, auslegungsüberschreitender Bereich.....	16
4.5	Anforderungen an andere Systeme	18
5	Beratungsunterlagen.....	20

1 Beratungsauftrag des BMU und Beratungsgang

Mit Schreiben vom 09.02.2018 [1] bat das BMU die RSK um Beantwortung der Frage:

Welche Systeme sind nach Auffassung der RSK für die Sicherstellung der Kühlung der noch vorhandenen Brennelemente im Lagerbecken nach dem Wechsel in die Stilllegung erforderlich?

Neben den Kühl- und Nachspeisesystemen sollten dabei auch Systeme wie Lüftungsanlagen, Abschlussarmaturen und die Notstromversorgung betrachtet werden. Zu berücksichtigen sind dabei auch Gesichtspunkte der Robustheitsbetrachtungen, von Notstandsfällen und des Auslegungsüberschreitenden Bereichs.

In der 130. Sitzung des Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK (AST) am 28.03.2018 wurde der Beratungsauftrag des BMU beraten. Zur Vorbereitung der weiteren Beratungen hat sich am 26.04.2018 eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe in Hannover zu dem vorliegenden Beratungsauftrag ausgetauscht und zunächst einen Stellungnahmeentwurf erarbeitet, der sich auf Anlagenzustände beschränkte, in denen die Nachzerfallsleistung ohne aktive Systeme so abgeführt werden kann, dass Temperaturen von 60° C im Lagerbecken nicht überschritten werden (Passivkühlung). Der Ausschuss AST hat diesen Entwurf in seiner 131., 132. und 133. Sitzung am 17.05.2018, am 05.07.2018 und am 13.09.2018 diskutiert. Am 26.09.2018 kam erneut die Ad-hoc-Arbeitsgruppe in Köln zusammen, um den Stellungnahmeentwurf zu überarbeiten, der Entwurf wurde in der 134. AST-Sitzung am 25.10.2018 verabschiedet. Die RSK beriet die Stellungnahme in der 506. bis 508. Sitzung und verabschiedete sie in ihrer 509. Sitzung am 27.03.2019 [2].

In der 135. und 136. Sitzung des Ausschusses AST wurde weitergehend über Anlagenzustände im Restbetrieb diskutiert, die aufgrund der abzuführenden Nachzerfallsleistung (NZL) eine aktive Wärmeabfuhr erfordern. Eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe wurde gebeten, einen Stellungnahmeentwurf vorzubereiten, mit dem der BMU-Beratungsauftrag abgeschlossen werden soll. Der Ausschuss AST hat diesen Entwurf in seiner 137. Sitzung am 02.05.2019 diskutiert und die Beratung in seiner 139., 140., 141. 142., 143. und 144. Sitzung im Zeitraum vom 09.07.2019 bis zum 14.05.2020 sowie zwischen diesen Sitzungen in Beratungen von Redaktionsgruppen fortgesetzt. Er hat diese Unterlage in seiner 145. Sitzung am 02.07.2020 als Entwurf für die RSK verabschiedet. Die RSK beriet und verabschiedete die Stellungnahme in ihrer 518. Sitzung am 21.10.2020.

2 Hintergrund

Mit dem 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes (AtG) erlöschen für die Kernkraftwerke die Berechtigungen zum Leistungsbetrieb zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität spätestens zu den im Gesetz genannten Zeitpunkten. Mit der letztmaligen Abschaltung zur dauerhaften Beendigung des Leistungsbetriebs gehen die Anlagen in den Nachbetrieb über. Bis zur Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) gemäß § 7 Abs. (3) AtG wird der Nachbetrieb der Anlagen gemäß geltender Betriebsgenehmigung und dabei insbesondere nach den Festlegungen zum Nichtleistungsbetrieb (Anlagenstillstand) durchgeführt. Mit Inanspruchnahme einer SAG beginnt der Restbetrieb. Der Restbetrieb kann in mehrere Phasen strukturiert sein, z. B. „Restbetrieb mit aktiver bzw. passiver Kühlbarkeit von Brennelementen“ bzw. „mit oder ohne Brennelemente/Brennstoff“. Anforderungen an die Phase mit passiver Kühlung der Brennelemente (BE) wurden seitens der RSK in [2] formuliert. Die folgenden Ausführungen

beziehen sich auf den Zeitraum des Restbetriebs, in dem eine aktive Kühlung der Brennelemente nicht nur auf der Sicherheitsebene (SE) 1, sondern auch auf SE 2 und SE 3 zum Einhalten von Temperaturkriterien im Lagerbecken erforderlich ist.

3 Anforderungen kerntechnischer Regelwerke / Bewertungsmaßstäbe

3.1 Übergeordnete Anforderungen kerntechnischer Regelwerke

Wesentliche Anforderungen der kerntechnischen Regelwerke zur BE-Kühlung im Restbetrieb wurden bereits in Kapitel 3 der RSK-Stellungnahme zur Passivkühlung [2] dargestellt:

Gemäß dem „Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes (im Folgenden: „Leitfaden“) *sind alle erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen weiter zu berücksichtigen solange sich noch Kernbrennstoff in relevanter Menge in den BE-Lagerbecken befindet.*

Entsprechend bleiben die „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke“ (SiAnf) und verschiedene KTA-Regeln *„unter Berücksichtigung des veränderten Gefährdungspotenzials und der im Vergleich zu Errichtung und Betrieb veränderten und in vieler Hinsicht verringerten Anforderungen schutzzielorientiert angepasst bzw. teilweise anwendbar.“*

Ferner definieren die „ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen“ Schutzziele (Unterkritikalität und Abfuhr der Zerfallswärme) sowie Ereignisse und verweisen wiederum auf die SiAnf: *„Soweit es sicherheitstechnisch erforderlich ist, sind hierzu auch die diesbezüglichen Anforderungen aus den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ zu berücksichtigen“.*

Gemäß dem Leitfaden sind auch im Restbetrieb mit Brennelementen in der Anlage folgende Ereigniskategorien zu betrachten

- *Verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken,*
- *Kühlmittelverlust aus dem Brennelementlagerbecken,*
- *Reaktivitätsänderungen im Brennelementlagerbecken und Kritikalitätsstörfall und*
- *Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen.*

Gemäß SiAnf sind der bestimmungsgemäße Betrieb und sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse (Störfälle) zu berücksichtigen.

3.2 Nachweisziele und Nachweiskriterien

Die wesentlichen Nachweisziele und Nachweiskriterien für die Phase der Passivkühlung wurden seitens der RSK in Kapitel 4 der RSK-Stellungnahme [2] formuliert, diese sind auch für die Phase mit aktiver Beckenkühlung anwendbar, erforderlichenfalls werden sie im Folgenden ergänzt (z. B. bzgl. Lagerbeckentemperaturen oberhalb 60° C):

Kontrolle der Reaktivität (Schutzziel R):

Der Nachweis der Unterkritikalität ist für die Ereigniskategorien

- Reaktivitätsänderungen im Brennelementlagerbecken und Kritikalitätsstörfall und
- Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen

auch im Restbetrieb entsprechend den SiAnf zu führen und muss alle noch möglichen Zustände im BE-Becken abdecken.

Kühlung der Brennelemente (Schutzziel K):

Das Schutzziel ist erfüllt, wenn spezifizierte Beckenwassertemperaturen eingehalten werden. Diese zulässigen Beckenwassertemperaturen sind in der KTA 3303 gestaffelt nach den Sicherheitsebenen (SE) aufgelistet (SE1: $T_1 = 45^\circ \text{C}$, SE2: $T_2 = 60^\circ \text{C}$, SE 3: $T_3 = 80^\circ \text{C}$).

Im Rahmen auslegungsüberschreitender Betrachtungen ist zu zeigen, dass auch bei Siedetemperatur im Becken (ca. 100° C) die NZL abgeführt werden kann, ohne dass es zu Schäden an den BE kommt [4].

Leckstörfälle am BE-Lagerbecken (insbesondere die Ereignisse B3-02 und B3-03) müssen gemäß SiAnf beherrscht werden. Es ist daher auch für die Bedingungen des Restbetriebs zu zeigen, dass für alle möglichen Leckpositionen, die zu einem Wasserverlust aus dem BE-Becken führen können (inkl. Entleerungsleitungen):

- ein Leck entweder ausgeschlossen werden kann (VM),
- das Leck innerhalb der Karenzzeit¹ absperrbar ist (z. B. durch Stopfen) und die Kühlung, erforderlichenfalls nach Wasserergänzung, wiederaufgenommen werden kann,
- oder die Kühlung mit vorhandener Systemtechnik und Prozeduren trotz Leck wieder aufgenommen werden kann (z. B. Überlaufbetrieb mit Rückspeisung aus dem Reaktorgebäudesumpf beim DWR).

Ist zusätzliches Kühlmittelinventar zur Ereignisbeherrschung notwendig, muss dieses innerhalb der Karenzzeit verfügbar sein. Ein relevanter Wasserverlust über unterhalb der BE-Oberkante liegende Leckpositionen muss auch im Restbetrieb ausgeschlossen sein (VM), z. B. muss das Leckage-Erkennungssystem für die Beckenauskleidung weiterhin absperrbar sein.

¹ Unter Karenzzeit wird nach KTA 3303, Abschnitt 5.1, die Zeit für das Aufheizens des Beckens von der betrieblich vorgesehenen Maximaltemperatur, z. B. gekennzeichnet durch eine Warmmeldung „Temperatur hoch“, bis zur jeweils zulässigen Beckenwassertemperatur T_2 oder T_3 verstanden.

Einschluss der radioaktiven Stoffe und Radiologische Sicherheitsziele (Schutzziele B und S):

Für die radiologischen Sicherheitsziele S bei Ereignissen bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen gelten die Sicherheitstechnischen Nachweisziele und -kriterien der SiAnf. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls dosisrelevanter Nuklide ergeben sich für die Handhabung im Restbetrieb ggf. niedrigere systemtechnische Anforderungen gegenüber der Kernvollausladung nach Leistungsbetrieb.

In jedem Fall ist eine ausreichende Wasserüberdeckung und Kühlung der Brennelemente eine Voraussetzung für die Einhaltung des Schutzziels B und der Sicherheitsziele S.

4 Beratungsergebnisse

4.1 Gefährdungspotenzial, sicherheitstechnische Randbedingungen und Nachweise

Wie im „Leitfaden“ beschrieben bleiben die SiAnf im Restbetrieb *„unter Berücksichtigung des veränderten Gefährdungspotenzials und der im Vergleich zu Errichtung und Betrieb veränderten und in vieler Hinsicht verringerten Anforderungen schutzzielorientiert angepasst bzw. teilweise anwendbar“*.

Für die Anwendung dieser Stellungnahme wird vorausgesetzt, dass die Nachzerfallsleistung soweit verringert ist, dass der Betrieb einer Beckenkühlpumpe (bei DWR eine der beiden Notnachkühlpumpen) ausreicht, die Beckentemperatur unter der betrieblich vorgesehenen Maximaltemperatur zu halten, und dass ohne Betrieb von aktiven Kühlsystemen die Zeit zum Aufheizen des Beckenkühlwassers von der Maximaltemperatur bis zum Erreichen von 80° C (T₃ nach KTA 3303) bei > 24 h liegt.

Hinweis: Nach Abschätzung liegt diese Randbedingung spätestens etwa 150 Tage nach Abschaltung vor, selbst wenn das Lagerbecken noch komplett mit bestrahlten BE gefüllt ist.

Aus Sicht der RSK sind bezüglich Gefährdungspotenzial und veränderten Randbedingungen gegenüber dem Leistungs- bzw. Nichtleistungsbetrieb insbesondere die folgenden Aspekte relevant:

Kontrolle der Reaktivität (Schutzziel R):

Bzgl. der Kritikalitätssicherheit gelten weiterhin die Anforderungen der KTA-Regel 3602, Abschnitt 4.2.6 Kritikalitätssicherheit. Soweit beim DWR ggf. eine Borierung des Beckenwassers im Nachweis nicht mehr berücksichtigt werden soll, können, wie bereits in [2] dargestellt, Nachweise zur Unterkritikalität unter Berücksichtigung des tatsächlich vorhandenen Abbrandes der BE im Lagerbecken sowie evtl. reduzierter Brennstoffmengen erbracht werden.

Einschluss der radioaktiven Stoffe und Radiologische Sicherheitsziele (Schutzziele B und S):

Bei den laufenden Anlagen wird die Folgedosis für Störfälle im BE-Lagerbecken mit BE-Schäden durch Radioisotope bestimmt, die leicht aus dem Wasser freisetzbar sind, insbesondere Isotope von Iod, Krypton und Xenon. Nach einer Abklingzeit von etwa 150 Tagen sind das radioaktive I-131 (Halbwertszeit ca. acht Tage)

und Xenon in der Anlage weitgehend zerfallen. Wird der noch zu unterstellende Handhabungsfehler bei der Brennelementhandhabung (Auslegungsstörfall) zugrunde gelegt, ist die in die Raumluft freisetzbare Aktivität durch I-131 zum betrachteten Zeitpunkt bereits deutlich unter den Tagesgrenzwert für Ableitungen gesunken. Für die Strahlenexposition in der Umgebung wird die Folgedosis von den noch verbliebenen Mengen an I-131 sowie von den langlebigen Radionukliden I-129 und Kr-85 bestimmt. Die Folgedosis durch diese Radionuklide im Auslegungsstörfall liegt dabei jedoch nicht nur um mehrere Größenordnungen unterhalb der Störfallplanungswerte, sondern auch um mehr als den Faktor 1.000 unter dem Grenzwert für den bestimmungsgemäßen Betrieb (Luftpfad).

Bezüglich der ausreichenden Wasserüberdeckung der Brennelemente ist sicherzustellen, dass beim noch maximal anzusetzenden radioaktiven Inventar im Becken der Anlage nach Störfällen der radiologisch gebotene Mindestfüllstand eingehalten wird, der die Dosisbelastung des Anlagenpersonals bei Arbeiten (Aufenthalt im Stundenbereich) hinreichend begrenzt. In [2] wurde dafür konservativ ein Mindestfüllstand von 3 m oberhalb der BE-Oberkante angesetzt. Der einzuhaltende Mindestfüllstand kann aus Sicht der RSK aber auch für konkret gegebene Randbedingungen ermittelt werden.

Kühlung der Brennelemente (Schutzziel K):

- Im Restbetrieb sind keine Anforderungen an die Nachkühlketten zum Abführen der Nachzerfallsleistung (NZL) aus dem Reaktorkern bzw. zur Notkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen zu berücksichtigen. Die sowohl beim DWR als auch beim SWR 72 vorhandenen „verknüpften“ Kühlstränge, welche im Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb vorrangig zur Not- und Nachkühlung kreditiert werden, stehen somit uneingeschränkt zum Beckenkühlbetrieb zur Verfügung.
- Im Restbetrieb ist die aus dem BE-Becken abzuführende NZL deutlich kleiner als bei einer Kernvollausschaltung nach Leistungsbetrieb. 150 Tage nach der Abschaltung einer Anlage liegt die maximale Nachzerfallsleistung (NZL) typischerweise bei ca. 3 MW. Dagegen fällt zum Zeitpunkt einer Kernvollausschaltung in der Revision einer DWR-Anlage ggf. eine Wärmeleistung größer 20 MW an (13 MW beim SWR 72). Die reduzierte NZL ist in mehrfacher Hinsicht förderlich zur Kühlung der Brennelemente:
 - Beim SWR 72 kann die Temperatur im BE-Becken mit jedem der im Restbetrieb vorhandenen Kühlstränge (zwei betriebliche Beckenkühlstränge, zwei Not- und Nachkühlstränge) unterhalb des Kriteriums für den Normalbetrieb ($T_1 = 45^\circ \text{C}$) gehalten werden.
 - Beim DWR kann durch jeden der zwei verknüpften Stränge zur Beckenkühlung mit Betrieb lediglich einer Notnachkühlpumpe die zulässige Temperatur im Normalbetrieb T_1 eingehalten werden, mit dem dritten Beckenkühlstrang² (eine Beckenkühlpumpe) mindestens der Wert für den anomalen Betrieb ($T_2 = 60^\circ \text{C}$).

² Im Folgenden wird auch der Begriff „betrieblicher Beckenkühlstrang“ entsprechend den Gepflogenheiten im Leistungsbetrieb verwendet, um einen einheitlichen Begriff für DWR und SWR benutzen zu können. Eine Einstufung als "ohne sicherheitstechnische Bedeutung" lässt sich daraus nicht ableiten.

-
- Im Vergleich mit Zuständen im Leistungsbetrieb liegen erheblich größere Karennzeiten vor, d. h. die zu unterstellenden Transienten laufen vergleichsweise langsam ab. Mit steigender Karennzeit wird es möglich sein, auch aufwändigere Maßnahmen zur Wiederverfügbarmachung ausgefallener oder in Instandhaltung befindlicher Einrichtungen zu kreditieren³.
 - Nach KTA 3303 und der RSK-Empfehlung „Anforderungen an die Brennelement-Lagerbeckenkühlung“ vom 09.12.2015 [3] können auf der SE 3 anstelle von Sicherheitssystemen auch Ersatzmaßnahmen kreditiert werden, sofern diese innerhalb der tatsächlich gegebenen Karennzeit zuverlässig bereitgestellt werden können, um die Beckentemperatur unter T_3 zu halten. Mit steigender Karennzeit wird es demnach möglich sein, auch betriebliche und mobile Einrichtungen zu kreditieren, sofern die Wirksamkeit dieser Maßnahmen unter den Randbedingungen des betrachteten Störfalls gezeigt ist.
 - Im Rahmen von Robustheitsbetrachtungen wurde unter realistischen Randbedingungen gezeigt, dass die Integrität der BE-Becken bis 120° C (DWR) bzw. 100° C (SWR 72) abgesichert ist. Somit kann die Nachzerfallswärme bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen auch durch Sieden aus dem Becken abgeführt werden („Verdampfungskühlung“). Geringere Nachzerfallsleistungen im Restbetrieb führen zu längeren Karennzeiten, bis eine Ergänzung des Beckeninventars erforderlich ist und begrenzen die erforderlichen Nachspeiseraten (ca. 0,5 kg/s pro MW Nachzerfallsleistung). Wegen des geringen Inventars relevanter Radioisotope im Dampf kann dieser ggf. auch ohne Filterstrecken an die Umgebung abgegeben werden. (vgl. obige Betrachtungen zu den Schutzzielen B und S).

Anforderungen an Konzepte zur Gewährleistung der Kühlung mit Berücksichtigung der vorstehenden Punkte werden in Kap. 4.2. behandelt.

4.2 Staffelung der Anforderungen an die aktiven Beckenkühlssysteme in Abhängigkeit von den verfügbaren Karennzeiten

4.2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Wie oben dargestellt ergeben sich im Restbetrieb eine Reduzierung des Gefährdungspotenzials und zunehmend längere Karennzeiten zur Ereignisbeherrschung.

Aus Sicht der RSK ist es daher sicherheitstechnisch nicht erforderlich, bis zum möglichen Übergang zu einer passiven Kühlung der Brennelemente alle für den Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb vorgesehenen Einrichtungen zur Beckenkühlung (betriebliche Systeme und Sicherheitssysteme) vollumfänglich vorzuhalten. Vielmehr können die Anforderungen des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen sowie die zuverlässige

³ Vgl. SiAnf, Anhang 4, 2.3 (2): „Ein Redundanzgrad $n+0$ ist in den Betriebsphasen E und F dann zulässig, wenn bei Ausfall der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtung die Zeit bis zur Nichteinhaltung von Nachweiskriterien mehr als zehn Stunden beträgt und die ausgefallenen oder in Instandhaltung befindlichen aktiven sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zuverlässig innerhalb dieses Zeitraums verfügbar gemacht werden können“.

Vgl. auch KTA 3303, 4.2.4 (2) 1: „Kann für die Auslegungsstörfälle ... unter Anwendung des Einzelfehlerkonzeptes eine Karennzeit von mindestens zehn Stunden ... nachgewiesen werden, so darf nach Ablauf von zehn Stunden einer der unverfügbaren Stränge als wieder verfügbar angenommen werden“.

Erfüllung der Nachweisziele auf den einzelnen Ebenen mit zunehmenden Karenzeiten auch durch Kreditierung von Instandsetzungen bzw. Wiederverfügbarmachungen sowie Ersatzmaßnahmen gezeigt werden.

Wesentliche Aspekte bezüglich

- des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen,
- der Karenzeiten und
- der Instandsetzungen und Ersatzmaßnahmen,

werden im Folgenden näher erläutert.

In den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 wird dann eine aus Sicht der RSK empfohlene Staffelung der Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in den Karenzeitphasen näher dargestellt.

Analog ist auch für die Systeme der Kühlkette, an die die Beckenkühlsysteme die Wärme abgeben, aufzuzeigen, welche Ersatzmaßnahmen für zu unterstellende Ausfälle vorgesehen werden. Auf die Maßnahmen für die Wassereinspeisung zur Ergänzung von Verdunstungs- und Leckverlusten sowie von Verdampfungsverlusten bei Robustheitsbetrachtungen wird in den Abschnitten 4.3 und 4.4 eingegangen.

4.2.1.1 Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen

Das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen ist derart aufrechtzuerhalten, dass die auf einer Sicherheitsebene evtl. nicht beherrschten Ereignisabläufe auf der nächsten Sicherheitsebene hinreichend zuverlässig aufgefangen werden können (vgl. RSK-Stellungnahme [6] zu Orientierungswerten für die Eintrittshäufigkeiten von Ereignissen):

- Sicherheitsebene 1:

Die Temperatur im Lagerbecken ist unterhalb T_1 (45°C) zu halten. Vorbeugende Instandhaltung an Systemen zur Beckenkühlung ist so zu planen, dass die Temperatur während der Arbeiten nicht über T_1 (45°C) ansteigt. Sofern eine solche Planung nicht möglich ist, sind Maßnahmen vorzusehen, die innerhalb der Karenzeiten bis zum Erreichen von T_1 (45°C) zu einer Wiederaufnahme der Kühlung führen. Die entsprechenden Maßnahmen sind vor Erreichen der Temperatur durchzuführen, die als maximale betriebliche Beckenwassertemperatur festgelegt wurde (s. Abschnitt 4.2.1.2).

Im Übrigen ist der betrieblich geforderte Mindestfüllstand im Lagerbecken einzuhalten.

- Sicherheitsebene 2:

Wenn die Beckenkühlung durch eine für den bestimmungsgemäßen Betrieb zu unterstellende Ursache (z. B. Ausfall eines Strangs) ausfallen sollte oder die für die Sicherheitsebene 1 vorgesehenen Maßnahmen für eine Wiederaufnahme der Kühlung bei geplanten Instandhaltungen nicht wirksam werden sollten, müssen

Maßnahmen vorgesehen sein, die vor Erreichen von T_2 (60° C) hinreichend zuverlässig zu einer Wiederaufnahme der Kühlung führen.

- Sicherheitsebene 3 sowie EVI, EVA und Notstandsfälle:

Für den Fall, dass die Wiederaufnahme der Kühlung nicht gelingen sollte und T_2 überschritten wird oder die Kühlung durch andere Ereignisse ausfällt, sind weitere Maßnahmen vorzusehen, mit denen ein Überschreiten von T_3 (80° C) verhindert wird. Gemäß [3] ist für die Ereignisse der Sicherheitsebene 3 ein Notstromfall zu unterstellen und somit auch für Ereignisse am BE-Lagerbecken. Auf das Wiederherstellen der Kühlung unter diesen Bedingungen wird in den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 detaillierter eingegangen.

- Sicherheitsebene 4 sowie Robustheitsbetrachtungen

Im Rahmen von Robustheitsbetrachtungen sind schließlich auch unter den Bedingungen eines Beckens mit Siedezustand Maßnahmen zur Nachspeisung von Wasser ins Becken und damit zur ausreichenden Kühlung der Brennelemente vorzusehen, vgl. Abschnitte 4.3 und 4.4.

Unabhängigkeit von Maßnahmen

Die auf den verschiedenen Sicherheitsebenen kreditierten Maßnahmen und Einrichtungen sollen derart unabhängig voneinander sein, dass Ausfälle auf einer Sicherheitsebene nicht die sichere Beherrschung des Ereignisses auf der nächsten Ebene gefährden (vgl. [6]). Das heißt jedoch nicht, dass die verschiedenen Maßnahmen und Einrichtungen zur Beckenkühlung im Restbetrieb eindeutig einer Sicherheitsebene zuordenbar sein müssen. Beispielsweise ist es aus Sicht der RSK zulässig, Einrichtungen, die nicht als Sicherheitssystem klassifiziert sind, nicht nur auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 zu kreditieren, sondern auch als Ersatzmaßnahme auf der Sicherheitsebene 3, sofern deren zuverlässige Funktion unter den jeweiligen Ereignisrandbedingungen gezeigt ist (vgl. Abschnitt 5.3.1 in [3]). Dabei ist es erforderlich, dass in Summe die vorhandenen Maßnahmen und Einrichtungen unter allen Ereignisrandbedingungen ausreichend sind, die oben dargestellten Anforderungen bzgl. des gestaffelten Sicherheitskonzeptes zu erfüllen.

4.2.1.2 Karennzeiten

Bei der Abstufung von Anforderungen mit wachsenden Karennzeiten sollte im Sinne übersichtlicher Verhältnisse im Restbetrieb nur eine geringe Anzahl von Karennzeitstufen vorgesehen werden, die entsprechenden „Phasen“ im Restbetrieb zugeordnet werden können. Empfohlen werden folgende zwei Karennzeitstufen, jeweils charakterisiert durch die Karennzeit bis zum Erreichen von 80° C : > 24 Stunden bzw. > 3 Tage.

Bei der Ermittlung der Karennzeiten, und damit der Festlegung der jeweils maximal für die jeweilige Karennzeitstufe zulässigen NZL sind folgende Randbedingungen anzusetzen:

- Annahme eines vollständigen Ausfalls der Beckenkühlung,
- Maximale betrieblich vorgesehene Lagerbeckentemperatur als Ausgangstemperatur, z. B. gekennzeichnet durch eine Warnmeldung „Temperatur hoch“ (vgl. KTA 3303, 5.1),
- Wasserinventar im Becken: Für Ereignisse (einschließlich EVI, EVA und Notstandsfälle) mit dem Potential für einen Kühlmittelverlust ist der Füllstand nach Leerlaufen des Beckens bis zur niedrigsten Anschlussleitung anzunehmen. Ansonsten soll vom betrieblichen Mindestfüllstand ausgegangen werden, dessen Unterschreitung durch eine geeignete Warnmeldung auf der Warte signalisiert wird.
- Verwendung validierter Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Wärmeeinleitung in Gebäudestrukturen und Wärmeabfuhr durch Verdunstung.

Beispielhaft sind in nachfolgender Tabelle Karenzzeiten für DWR bei Leckstörfällen und einer Ausgangstemperatur des Beckenwassers von 30° C dargestellt. Höhere Ausgangstemperaturen würden einen späteren Zeitpunkt mit niedrigerer Nachzerfallsleistungen für den Eintritt in eine der genannten Karenzzeitstufen erfordern.

Phase	Karenzzeit bis Erreichen T ₃ (80° C)	korrespondierende Nachzerfallsleistung	Abgeleitete Karenzzeit bis 45° C (SE1)	Abgeleitete Karenzzeit bis 60° C (SE2)
1	> 24 h	< 2,7 MW	> 9 h	> 18 h
2	> 3 d	< 1,2 MW	> 19 h	> 2,1 d

Hinweise:

- Die Nachzerfallsleistungen sowie die Karenzzeiten bis 45° und 60° C dienen hier der Veranschaulichung. Entscheidend für die Zuordnung zu den Phasen ist allein die Karenzzeit bis zum Erreichen T₃ (80° C).
- Bezüglich der Karenzzeiten wird auf den SE 1 und 2 vom betrieblichen Mindestfüllstand ausgegangen.
- Für SWR ergeben sich aufgrund des geöffneten Schwenkschützes größere Karenzzeiten bei Ereignissen ohne Kühlmittelverlust.

4.2.1.3 Beendigung vorbeugender Instandhaltungen, Instandsetzungen und Durchführung von Ersatzmaßnahmen

Bereits im Leistungsbetrieb mit Karenzzeiten von > 10 h bis T₃ war die Kreditierung der Beendigung vorbeugender Instandhaltungen, von Instandsetzungen und Ersatzmaßnahmen in den Störfallanalysen zulässig (vgl. [3]). Die RSK ist der Auffassung, dass im Restbetrieb mit Karenzzeiten > 24 h nach einem Störfall grundsätzlich auch Instandsetzungen in erweitertem Umfang sowie Einrichtungen, die nicht als Sicherheitssystem klassifiziert sind, als Ersatzmaßnahme kreditiert werden können, unter folgenden Bedingungen:

- Die Maßnahmen müssen unter den jeweiligen Ereignisrandbedingungen zuverlässig wirksam und längstens in der jeweils gegebenen Karenzzeit durchführbar sein.

Durchführbarkeit und Zeitbedarf sollten anhand von Erfahrungen, Übungen oder Analysen belegt sein, der Zeitbedarf ist unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und evtl. ereignisspezifisch erschwerenden Randbedingungen konservativ zu ermitteln.

- Ein Einzelfehler in einer Ersatzmaßnahme darf nicht zur Unverfügbarkeit einer anderen Ersatzmaßnahme führen.
- Die Maßnahme, einschließlich der anzuwendenden Prozeduren mit Einleitungskriterien sowie der vorzuhaltenden Ressourcen, ist in geeigneten schriftlichen betrieblichen Regelungen in der für eine Bewertung und Umsetzung ausreichenden Tiefe beschrieben.
- Es sind regelmäßige Anlagenrundgänge oder Kontrollen mit Sichtprüfungen und erforderlichenfalls wiederkehrende Prüfungen oder Übungen vorgesehen, um die Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit der für die Maßnahme benötigten Hilfsmittel und die Durchführbarkeit der Maßnahme sicherzustellen.
- Maßnahmen, die ein Begehen des BE-Beckenflurs erfordern, dürfen nur kreditiert werden, wenn die Beckenwassertemperatur unter 60° C liegt und der Füllstand im Becken die Dosisleistung ausreichend begrenzt (siehe Abschnitt 4.1).

Zur Sicherstellung der Durchführung von Ersatzmaßnahmen ist der Notstromfall auf der SE 3 mit 3 d zu unterstellen (lt. KTA 3702 Dieselvorräte für 72 h). Für Robustheitsbetrachtungen wird von einer Unverfügbarkeit der externen Netzversorgung von bis zu 7 d ausgegangen.

4.2.2 Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in Phase 1 (Karenzeit bis zum Erreichen $T_3 > 24$ h)

Aus Sicht der RSK kann die sichere Ereignisbeherrschung in dieser Phase auf Basis folgender Mindest-Systemkonfigurationen gezeigt werden:

Anforderungen an Systemfunktion Beckenkühlung in Phase 1		
Vorkehrungen für Kühlung	Auslegung gegen Bemessungserdbeben (BEB)	Notstromversorgung
Zwei Notnackkühlstränge	Ja	Zwei D2-Diesel (DWR) bzw. zwei Notstromdiesel (SWR)
Ein betrieblicher ⁴ Beckenkühlstrang	Keine Anforderung	Notstromdiesel oder mobiler Diesel (auf Anlagengelände vorzuhalten)
Vorbereitete Maßnahmen zur Kühlstrang-Instandsetzung in < 24 h	Verfügbar nach BEB	Unter Notstrombedingungen durchführbar

Mit dieser Konfiguration kann

⁴ Der Begriff "betrieblicher Beckenkühlstrang" wird entsprechend den Gepflogenheiten im Leistungsbetrieb der Anlagen gewählt, nicht im Hinblick auf die Einstufung im Nach- und Restbetrieb. Im Leistungsbetrieb zählen die Beckenkühlsysteme zu den sicherheitstechnisch wichtigen Systemen. Eine Einstufung als „ohne sicherheitstechnische Bedeutung“ lässt sich aus der Verwendung des Begriffs „betrieblicher Beckenkühlstrang“ in dieser Stellungnahme nicht ableiten. Die Einstufung im Nach- und Restbetrieb ist abhängig von der Bedeutung für die Schutzzieleinhaltung festzulegen.

- die Temperatur im BE-Becken auch bei geplanter Instandhaltung eines Notnachkühlstrangs auf der SE 1 und auf der SE 2 zuverlässig unter T_1 bzw. T_2 gehalten werden. Die Karenzeit bis Erreichen T_2 beträgt mehr als 18 h, so dass der Nachweis zur Einhaltung des Temperaturkriteriums für einen Notstromfall auf der SE 2 (< 10 h) auch ohne Berücksichtigung der Notstromdieselversorgung geführt werden kann,
- die Ereignisbeherrschung auf der SE 3 nachgewiesen werden durch
 - Kreditierung des betrieblichen Beckenkühlstrangs,
 - unter BEB-Bedingungen: Kreditierung der Wiederverfügbarmachung (Beenden Instandhaltung bzw. Reparatur Einzelfehler) mindestens eines der beiden gegen BEB ausgelegten Notnachkühlstränge, sofern diese aufgrund von Instandhaltung bzw. Einzelfehler als anfangs unverfügbar angenommen werden, vor Erreichen T_3 (vgl. Empfehlung 6 in [3]).

4.2.3 Anforderungen an die aktiven Beckenkühlsysteme in Phase 2 (Karenzeit bis zum Erreichen $T_3 > 3$ d)

Wesentliche Randbedingungen in dieser Phase sind:

- Auch der dritte Beckenkühlstrang beim DWR ist bei dieser NZL hinreichend bemessen, die maximale Beckentemperatur bei einem Wert unterhalb von 45°C zu halten.
- Die Karenzeit bis Erreichen T_2 (60°C) beträgt mehr als zwei Tage. Entsprechend ist die Instandsetzung eines ausgefallenen Stranges mit erhöhter Wahrscheinlichkeit vor Erreichen T_2 möglich.

Unter diesen Randbedingungen gilt aus Sicht der RSK, dass sich vor Erreichen T_3 (> 3 Tage) auch komplexere Maßnahmen zur Wiederverfügbarmachung ausgefallener Stränge und Ersatzmaßnahmen zuverlässig durchführen lassen.

Aus Sicht der RSK kann die sichere Ereignisbeherrschung auf Basis folgender Mindestsystemkonfiguration gezeigt werden:

Anforderungen an Systemfunktion Beckenkühlung in Phase 2		
Vorkehrung für Kühlung	Auslegung gegen BEB	Notstromversorgung
Ein Notnachkühlstrang	Ja	Ein D2-Diesel (DWR) bzw. Notstromdiesel (SWR)
Ein betrieblicher Beckenkühlstrang	Keine Anforderung	Notstromdiesel oder mobiler Diesel (auf Anlagengelände vorzuhalten)
Eine Ersatzmaßnahme zur BELB-Kühlung in < 3 d	Ja	mobiler Diesel oder dieselbetriebene Pumpe
Vorbereitete Maßnahmen zur Kühlstrang-Instandsetzung in < 3 d	Verfügbar nach BEB	Unter Notstrombedingungen durchführbar.

Hinweise:

- *Ereignisse auf der SE3 werden durch die beiden verfügbaren Beckenkühlstränge beherrscht, ggf. durch Kreditierung der Wiederverfügbarmachung eines der beiden Stränge.*

-
- *Insbesondere im Hinblick auf Erdbeben mit möglichen Folgeschäden im betrieblichen Beckenkühlstrang ist eine erdbebenfeste Ersatzmaßnahme zur Kühlung vorzusehen (z. B. mobile Beckenkülpumpe mit installierten Anschlüssen zur Wiederherstellung eines Kreislaufbetriebs), um ein Überschreiten von T_3 zu verhindern.*

4.2.4 Weitere Betrachtungen

Die vorstehenden Beratungsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Sie setzen voraus, dass

- die Anforderungen der KTA 3602, Abschnitt 4 – soweit für diese Phasen zutreffend – eingehalten sind;
- auch im Restbetrieb ausreichend fachkundiges Personal auf der Anlage verfügbar ist, um Handmaßnahmen, Ersatzmaßnahmen und ggf. die Wiederverfügbarmachung nicht verfügbarer Einrichtungen zuverlässig innerhalb der genannten Karenzzeiten durchzuführen;
- die ordnungsgemäße Funktion der in den Nachweisen zur Störfallbeherrschung kreditierten Einrichtungen auch regelmäßig geprüft wird;
- im Zuge der Stilllegung und des Abbaus keine Tätigkeiten durchgeführt werden, die eine Rückwirkung auf die sichere Lagerung und Handhabung von Brennelementen im BE-Lagerbecken haben können;
- sich insbesondere die Handhabung von schweren Lasten im Restbetrieb nicht ändert, erforderlichenfalls relevante Vorsorgemaßnahmen weiter aufrechterhalten werden und die Handhabung von Großkomponenten über dem BE-Lagerbecken in diesem Anlagenzustand nicht erfolgt sowie das Prüfkonzept für die hierfür relevanten Anlagenteile fortgeführt wird.

Die in der Tabelle genannten Anforderungen beziehen sich auf die Nachwärmeabfuhr aus dem Lagerbecken. Es können sich aufgrund anderer Aspekte weitere Anforderungen an die genannten Einrichtungen ergeben.

Tabelle 1: Beckenkühlung in den Phasen des Restbetriebs

Nicht aufgeführt in der Tabelle sind die vorzusehenden Maßnahmen zur Instandsetzung, um nicht verfügbare oder ausgefallene Einrichtungen im Rahmen der jeweils gegebenen Karenzzeit wieder verfügbar zu machen.

Karenzzeit bis 80° C	Anforderungen an Systemfunktion Beckenkühlung ¹⁾			Beispielkonfiguration	
	Anzahl	Auslegung gegen BEB	Notstromversorgung	DWR	SWR
≤ 24 h	DWR: Drei Stränge (fünf Pumpen) SWR: vier Stränge (vier Pumpen)	Zwei Stränge	Alle Stränge	Wie bisheriger Betrieb (SiAnf und RSK-Stellungnahme [3]) Keine Änderung in den Anforderungen Maßnahmen zum Wiederherstellen der Verfügbarkeit in gewissem Umfang kreditierbar	
> 24 h < 3d	Drei Stränge (drei Pumpen)	Zwei Stränge	Drei Stränge oder zwei Stränge und Bereitstellung mobiler Diesel (auf Anlagengelände vorzuhalten)	Zwei Notnackühlstränge (zwei D2-Diesel), dritter Beckenkühlstrang (D1-Diesel oder mobiler Diesel)	Zwei Not- und Nachkühlstränge (zwei NS-Diesel), ein Beckenkühlstrang (ein betrieblicher NS-Diesel oder mobiler Diesel)
> 3 d	Zwei Stränge (zwei Pumpen) + 1 EM < 3 d	Ein Strang + 1 EM < 3 d	Zwei Stränge oder ein Strang und Bereitstellung mobiler Diesel (auf Anlagengelände vorzuhalten)	Ein Notnackühlstrang (D2-Diesel), dritter Beckenkühlstrang (D1-Diesel oder mobiler Diesel) + 1 EM < 3 d	Ein Not- und Nachkühlstrang (ein NS-Diesel), ein Beckenkühlstrang (ein betrieblicher NS-Diesel oder mobiler Diesel) + 1 EM < 3 d
∞ bis 60° C	¹⁾	keine	keine	„Passivkühlung“ ²⁾	

- 1) Zusätzlich sind bis zur Phase der „Passivkühlung“ vorzusehen: Maßnahmen und Einrichtungen zu Leckisolation und Wiederauffüllen des Beckens oder Sumpfbetrieb auf der SE3; Maßnahmen und Einrichtungen auf der SE 4 („Verdampfungskühlung“ und langfristig Nachspeisen des BE-Beckens).
- 2) Vgl. RSK-Stellungnahme [2], bei Ausfall wird langfristig Instandsetzung kreditiert

4.3 Wassereinspeisung ins Lagerbecken

Im bestimmungsgemäßen Betrieb dient die Wassereinspeisung der Ergänzung von Verdunstungsverlusten und der Wasserrückführung aus der Wasserreinigung bzw. der Nachspeisung im Falle von Wasserverlusten infolge von Leckagen (siehe Ereignis B2-02 der SiAnf).

Bei Ereignissen auf der SE 3 mit Wasserverlust aus dem Lagerbecken ist das Wiederauffüllen des Beckens erforderlich, um vor Erreichen T_3 wieder eine aktive Kühlung der Brennelemente sicherzustellen (entweder mittels Leckisolierung und Wiederaufnahme Kreislaufbetrieb oder mittels Sumpfbetrieb).

Im auslegungsüberschreitenden Falle, dass vor Erreichen T_3 keine Wiederaufnahme der Beckenkühlung gelingt, würde ohne Gegenmaßnahmen die Temperatur im Becken auf max. ca. 100°C ansteigen und der Füllstand durch Verdunstung/Verdampfung langsam weiter fallen. Unter den gegebenen anlagentechnischen Randbedingungen ist eine Verdampfungskühlung möglich und ausreichend, um Schäden an den gelagerten BE zu vermeiden. Eine Nachspeisung des Beckens ist erst sehr langfristig erforderlich, um die Kühlung des gelagerten Brennstoffs sicherzustellen. Die entsprechende Karenzzeit liegt zum Beispiel bei 2,7 MW Nachzerfallsleistung, die über Verdunstung/Verdampfung abzuführen ist, mit Aufheizung auf 100°C insgesamt bei > 6 Tagen. Die erforderliche Wassereinspeisung zur Kompensation der Verdampfungsverluste läge in diesem Fall bei ca. 1,5 l/s.

In den genannten Fällen ergeben sich für die Einspeisung zur Ergänzung von Wasserverlusten angesichts der langen Karenzzeiten grundsätzlich keine höheren als betriebliche Anforderungen. Für den Fall, dass die betriebliche Einspeisung nicht verfügbar sein sollte, sind mindestens zwei diversitäre Ersatzmaßnahmen vorzusehen, z. B. Einspeisung über eine verbliebene Einspeiseleitung der Beckenkühlsysteme, eine festverlegte Rohrleitung mit mobiler Einspeisung oder auch eine Verbindung zum Feuerlöschsystem. Mindestens eine dieser Ersatzmaßnahmen soll nach Erdbeben verfügbar sein.

4.4 Robustheitsbetrachtungen, auslegungsüberschreitender Bereich

Die für die Beherrschung von Szenarien im Rahmen von robustheits- und auslegungsüberschreitenden Betrachtungen erforderliche Wassereinspeisung ist in 4.3 behandelt.

Für die sehr seltenen zivilisatorischen Einwirkungen von außen (insbesondere Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle) können Schäden in der Nebenkühlwasserversorgung nicht ausgeschlossen werden. Ferner ist für Robustheitsbetrachtungen evtl. auch der Ausfall der Wärmesenke zu betrachten [8]. Für diese Fälle können als Ersatzmaßnahme die Einrichtungen für eine verkürzte Nachkühlkette mit diversitärer Wärmesenke kreditiert werden, die im Rahmen der Robustheitsbetrachtungen eingeführt wurden. Dies setzt jedoch voraus, dass diese Einrichtungen entsprechend räumlich getrennt von den Einrichtungen der Kühlketten und geschützt gelagert werden. Darüber hinaus steht die Verdampfungskühlung zur Verfügung.

Im Hinblick auf die Robustheit sind bei den Betrachtungen zum Leistungsbetrieb der Anlagen mit Ausnahme des Absturzes eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken bzw. in das Transportbehälterlagerbecken

keine Einwirkungen von innen oder außen⁵ identifiziert worden, die zu gravierenderen Wasserverlusten führen würden, als dies in der Ereigniskategorie „Kühlmittelverlust aus dem Brennelementlagerbecken“ unterstellt wurde:

SWR 72:

Beim SWR 72 kann gemäß [4] der Absturz eines BE-Transportbehälters in das Lagerbecken ausgeschlossen werden. Weiterhin können aufgrund der Auslegung des Transportbehälterbeckens selbst bei unterstelltem Absturz relevante Schäden mit der Folge von Leckagen ausgeschlossen werden.

DWR:

Beim DWR ist gemäß der RSK-Stellungnahme [4] im Hinblick auf den Absturz eines BE-Transportbehälters in das BE-Lagerbecken der „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. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Leckagen im Beckenliner wie bisher abgesperrt werden können, sodass keine zusätzliche Anforderung an die Wassereinspeisung gegeben ist. Die Erfüllung dieser RSK-Empfehlung ist auch unter den Bedingungen der Stilllegung zu zeigen.

Bei einem postulierten Behälter-Absturz in das Transportbehälterbecken (TBB) im DWR wurde es in [4] als möglich angesehen, dass es zu Schäden am Transportbehälterbecken mit Wasserverlust kommt. Falls nach heutigem Stand nicht gezeigt werden kann, dass keine derartigen Schäden auftreten, sind die Folgen des Wasserverlusts zu betrachten.

Bei geöffnetem Trennschütz käme es zu einem Füllstandsabfall bis zur Oberkante Trennwand (Schwelle) zwischen TBB und BE-Lagerbecken (entspricht einem Füllstand von ca. 35 cm oberhalb der Brennelemente). Eine Freilegung von Brennelementen tritt dabei zwar nicht auf, aber es kommt zu erhöhten Dosisleistungen im Bereich des Beckenflurs.

Für diesen Fall sind Maßnahmen vorzubereiten, mit denen innerhalb der je nach vorhandener NZL zur Verfügung stehenden Zeit eine Wassernachspeisung realisiert werden kann, so dass es nicht zu einer Füllstandsabsenkung durch Verdunstung/Verdampfung bis zur Oberkante der Brennelemente kommt. Darüber hinaus sind Maßnahmen vorzusehen, um den Füllstand im Becken soweit wieder anheben zu können, dass der Beckenflur unter Strahlenschutzgesichtspunkten wieder begehbar ist.

Um langfristig das Kühlmittelinventar im RSB-Sumpf zu begrenzen und die Nachspeisung in das BE-Becken sicherzustellen, ist aus Sicht der RSK zusätzlich eine Maßnahme zur Rückförderung von Leckagen aus dem RSB-Sumpf in das BE-Lagerbecken vorzusehen. Für diesen Zweck kann einer der bereits vorhandenen, mit der Möglichkeit zur Sumpfrückführung ausgestatteten Beckenkühlstränge verwendet werden. Dabei sind ggfs.

⁵ Im Hinblick auf einen auslegungsüberschreitenden Flugzeugabsturz verweist die RSK bezüglich der Konvoi-Anlagen auf die RSK-Stellungnahme [5] bzw. bzgl. Vorkonvoi und SWR 72 auf noch laufende Beratungen der RSK.

vom Leistungsbetrieb abweichende Randbedingungen beim Anlagenabbau zu berücksichtigen (z. B. erhöhter Eintrag von Schmutz und Fremdkörpern in den RSB-Sumpf). Die Durchführbarkeit der Nachspeise- und Rückspeisemöglichkeiten ist daher auch unter diesen Randbedingungen zu zeigen.

DWR und SWR 72:

Ein Szenario, dass gerade während eines BE-Transports mit angehobenem BE vom Lagerbecken zum Transportbehälter-Absetzbecken ein Leck in einer Anschlussleitung auftreten sollte, ist extrem unwahrscheinlich (keine Arbeiten an Beckenkühlsystemen sind in dieser Situation zugelassen, die Zeitdauer für ein angehobenes BE beträgt typischerweise ca. fünf Minuten). Würde es unterstellt, hätte – aufgrund der begrenzten Ausströmrates aus einem Leck und damit der entsprechend begrenzten Geschwindigkeit für das Absinken des Wasserspiegels – der Lademaschinenfahrer die Zeit, das BE entweder in seiner ursprünglichen Position oder in dem Transportbehälter abzusetzen, bevor die Dosisleistung auf der Lademaschine erheblich ansteigt. Unterstellt man einen Räumungs- oder Fluchalarm aufgrund der hohen Ortsdosisleistung durch verringerte Abschirmwirkung der Wasserüberdeckung besteht die Möglichkeit das Leck provisorisch abzudichten (Leckstelle im abgeschirmten Bereich) und den Beckenfüllstand wieder anzuheben. Mit erhöhter Abschirmwirkung, wäre auch wieder eine Besetzung der Lademaschine möglich.

4.5 Anforderungen an andere Systeme

Anforderungen an die Mindest-Systemkonfiguration der Beckenkühlsysteme wurden in Abschnitt 4.2 dargestellt. Grundsätzlich sind für die jeweils in den Nachweisen kreditierten Systeme bzw. Systemstränge auch alle funktional erforderlichen Hilfssysteme in gleicher Redundanz in Betrieb zu halten (etwa Einrichtungen zur leittechnischen Ansteuerung und Überwachung, Stromversorgung, Kühlwasserversorgung und Einhaltung definierter Umgebungsbedingungen). Alternativ ist nachzuweisen, dass die jeweiligen Hilfssysteme vor dem Hintergrund der im Restbetrieb vorhandenen Randbedingungen nicht mehr erforderlich sind.

Im Folgenden werden wesentliche Anforderungen näher dargestellt.

Lüftungsanlagen

Konventionelle Lüftungsanlagen:

Die Lüftungsanlagen bzw. Kaltwassersysteme im Notstromdieselgebäude bzw. im Notspeisedieselgebäude (DWR), im Schaltanlagegebäude und ggf. in den Gebäuden zur Nebenkühlwasserversorgung sind so verfügbar zu halten, dass die langfristige Verfügbarkeit der entsprechend Abschnitt 4.2 kreditierten Einrichtungen auch bei den maximalen bzw. minimalen anzusetzenden Außentemperaturen gewährleistet ist. Dies schließt die Lüftungsanlagen für die Warte bzw. die Notsteuerstelle mit ein.

Nukleare Lüftungsanlagen:

Im Reaktorgebäude bzw. im Reaktorgebäuderingraum (DWR) sind die zulässigen Umgebungsbedingungen weiterhin einzuhalten.

Elektrische Energieversorgung

Eigenbedarfsversorgung

Da im Restbetrieb viele große Verbraucher nicht mehr versorgt werden müssen, ist der Anschluss ans Hauptnetz nicht mehr erforderlich. Es sind jedoch zwei verschiedene festverlegte Versorgungsleitungen vorzuhalten (z. B. Reservenetzanschluss und dritter Netzanschluss).

Notstromversorgung und unterbrechungsfreie Stromversorgung

Anforderungen für die Notstromversorgung der Einrichtungen zur Beckenkühlung wurden in Abschnitt 4.2 erläutert. Dabei ist sicherzustellen, dass für zueinander redundante elektrische Verbraucher, z. B. für die Beckenkühlung eingesetzte Pumpen, auch redundante Dieselaggregate (festinstalliert oder mobil) zugeordnet sind. Darüber hinaus sind auch andere erforderliche Notstromverbraucher zu berücksichtigen (z. B. Ladegeräte für die Batterien von Objektschutz, Notbeleuchtung und noch erforderlichen Instrumentierungen sowie Lüftungstechnische Einrichtungen und Feuerlöscheinrichtungen).

Leittechnik

Eine automatische Ansteuerung der Komponenten, die für die Beckenkühlung bzw. Wassereinspeisung vorgesehen sind, war bereits im Leistungsbetrieb nicht erforderlich. Die Ansteuerung der Komponenten für Beckenkühlung bzw. Wassereinspeisung sowie der zugehörigen Notstromversorgung kann von der Warte oder auch direkt an der zugehörigen Schaltanlage erfolgen, wenn entsprechende Prozeduren vorhanden sind.

Die Überwachungseinrichtungen für Temperatur und Füllstand im BE-Becken sowie der Stromversorgung müssen redundant und qualifiziert mit entsprechender Anzeige notstromversorgt auf der Warte vorhanden sein.

Weiterhin sind die zuverlässige Erkennung von Leck- bzw. Überflutungsereignissen (insbesondere Überflutungsüberwachung im Reaktorgebäuderingraum beim DWR bzw. Kompartmentschutz beim SWR 72) sowie die ausreichend schnelle Absperrung der relevanten Überflutungsquellen sicherzustellen.

Im Hinblick auf Notstandsfälle muss eine Überwachung auch von der Notsteuerstelle/Teilsteuerstellen aus möglich sein.

5 **Beratungsunterlagen**

- [1] Beratungsauftrag des BMUB
(AZ RS I 3 (M) - 17018 / 1), 09.02.2018

- [2] RSK-Stellungnahme
Anforderungen bei einer passiven Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken,
Anlage zum Ergebnisprotokoll der 509. Sitzung der Reaktor-
Sicherheitskommission (RSK) am 27.03.2019

- [3] RSK-Empfehlung „Anforderungen an die Brennelement-Lagerbeckenkühlung“,
Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 479. Sitzung der Reaktor-
Sicherheitskommission (RSK) am 09.12.2015

- [4] RSK-Stellungnahme, Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im
Nachgang zu Fukushima, Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 496. Sitzung der
Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 06.09.2017

- [5] RSK, Zusammenfassende Stellungnahme der RSK zu zivilisatorisch bedingten
Einwirkungen, Flugzeugabsturz, Anlage zum Ergebnisprotokoll der 499. Sitzung der
Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 06.12.2017

- [6] RSK-Stellungnahme, Verständnis der Sicherheitsphilosophie, Anlage zum
Ergebnisprotokoll der 460. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)
am 29.08.2013

- [7] EPRI NP-6041, Revision 1, “A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant
Seismic Margin (Revision 1), Electric Power Research Institute, August 1991

- [8] RSK-Stellungnahme, Ausfall der Primären Wärmesenke, Anlage zum
Ergebnisprotokoll der 446. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)
am 05.02.2012