

Zulässigkeit von Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten sowie Festlegung von Maßnahmen zur Ereignisbeherrschung bei Mitte-Loop-Betrieb EMPFEHLUNG

1 Einleitung (Anlass, Ziele)

Beratungen des meldepflichtigen Ereignisses (ME) 15/034 „Anregung eines Reaktorschutzsignals bei der Dampferzeuger-Druckprüfung“ vom 20.06.2015 in der Anlage KKP-2 [1] im RSK-Ausschuss REAKTORBETRIEB (RB) und in der RSK hatten die Frage aufgeworfen, welche Arbeiten bei Mitte-Loop-Betrieb vermieden werden sollten. Davon ausgehend hatte die RSK auf ihrer 486. Sitzung vom 21.09.2016 den Ausschuss RB um die Erarbeitung einer Stellungnahme zu diesem Thema gebeten.

Zudem ergaben sich im Zusammenhang mit der sogenannten erweiterten Sicherheitsüberprüfung (eSÜ) in Baden-Württemberg [2] Fragestellungen zu dem im Anhang 2 der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) [3] behandelten Ereignis D3-13 „Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems (NWA)“ in verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs (NLB). Diesbezüglich hatte der RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK (AST) auf seiner 118. Sitzung vom 23.06.2016 speziell zum sog. Diablo-Canyon-Szenario beraten [4a/4b/4c]. Der Ausschuss AST hatte den Ausschuss RB daraufhin um Beratung zu der Frage gebeten, ob diesbezüglich ausreichende Regelungen im Betriebsreglement bestünden bzw. ergänzend erforderlich seien.

Im Rahmen ihrer Beratungen zur Thematik „Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten bei Mitte-Loop-Betrieb“ hat die RSK die Fragestellung auf die BHB - Festlegungen zu(r)

- Minimierung der Eintrittshäufigkeit von Ereignissen „Ausfall der Nachkühlung“ in den Betriebsphasen C und D (gemäß den Phasendefinitionen der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“),
- Prozeduren zur Beherrschung von Ereignissen mit „Ausfall der Nachkühlung“ in den Betriebsphasen C und D und
- Mindestverfügbarkeit von Systemen/Komponenten zur Beherrschung der o.g. Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb (NLB)

konkretisiert und die Betreiber um einen entsprechenden Bericht gebeten [5a/5b]. Hierbei sollten sowohl Aktivitäten zum Umgang mit den Ergebnissen von GRS Untersuchungen zum NLB sowie von Experimenten an der PKL-Versuchsanlage speziell bei zu unterstellenden Ereignissen im Mitte-Loop-Betrieb als auch allgemein Prozesse zur anlagenübergreifenden Auswertung von Forschungsergebnissen zur Verbesserung des Anlagenbetriebes dargestellt werden. In diesem Rahmen sollte zudem das betreiberseitige Konzept

-
- zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen, die zum Ausfall der Nachkühlung bei reduziertem Kühlmittelinventar (Mitte-Loop-Zustände) führen sowie
 - zur Beherrschung solcher Ereignisse

präsentiert werden.

2 Beratungsgang

Auf der 247. RB-Sitzung vom 15.12.2016 hatte die GRS zunächst über die nationale und internationale Betriebserfahrung zu Ereignissen mit Ausfall bzw. Störung der Nachkühlung im NLB sowie über die derzeit bestehenden Vorgaben in den Betriebshandbüchern (BHB) der im Leistungsbetrieb (LB) befindlichen deutschen DWR-Anlagen zur Mindestverfügbarkeit der Sicherheitssysteme in den verschiedenen Anlagenbetriebszuständen berichtet [6a/6b/6c]. Bei dem letztgenannten Aspekt zeigten sich auf Basis der von der GRS ausgewerteten Unterlagen teilweise deutliche Unterschiede im Hinblick auf die in den einzelnen Anlagen bestehenden Verfügbarkeitsanforderungen an die jeweiligen Stränge der Nachkühl- und Notnachkühlpumpen, die Druckspeicher bzw. die Dampferzeuger.

Auf der 258. RB-Sitzung vom 15.03.2018 berichtete die Firma Framatome über Ergebnisse von PKL-Versuchen mit Schwerpunktsetzung auf dem Mitte-Loop-Betrieb [7]. Hierbei wurden verschiedene relevante Szenarien und Primärkreiskonfigurationen (Reaktorkühlkreislauf (RKL) druckdicht oder nicht, heiß- oder kaltseitige Öffnungen am RKL) behandelt.

Auf der 264. RB-Sitzung am 13.02.2019 berichtete der VGB Powertech e. V. (VGB) über den Umgang mit betriebsrelevanten Forschungsergebnissen sowie die Entwicklung und Umsetzung eines Konzepts zur Vermeidung eines Ausfalls der Nachkühlung im Mitte-Loop-Betrieb und zur Beherrschung derartiger Ausfälle [8a/8b]. Der Ausschuss RB verabschiedete die Stellungnahme in seiner 265. Sitzung am 09.05.2019, die RSK verabschiedete die Stellungnahme in ihrer 510. Sitzung am 05.06.2019.

3 Sachverhalt

Im Hinblick auf die Verfolgung betriebsrelevanter Erkenntnisse und Forschungsergebnisse führen die Betreiber in [8a] aus, dass hierzu eigenverantwortliche und behördlich festgelegte Anforderungen in den deutschen Anlagen existieren. Erkenntnisse und Forschungsergebnisse werden auch übergeordnet unter Einbeziehung des Anlagenherstellers und koordiniert durch den VGB ausgewertet und bewertet. Hierbei werden speziell folgende Schwerpunkte berücksichtigt:

- Übertragbarkeitsbewertung zur Relevanz besonderer Vorkommnisse,
- frühzeitiges Erkennen von Schwachstellen (administrativ/anlagentechnisch),
- Verbesserung betrieblicher Randbedingungen (administrativ/anlagentechnisch) und
- Erkennen besonderer Fragestellungen.

Im Hinblick auf den möglichen Ausfall der NWA während des NLBs stellen die Betreiber dar, dass hierzu in den letzten zehn Jahren in Zusammenarbeit von Hersteller, Forschungseinrichtungen/Sachverständigenorganisationen und Betreibern zahlreiche PKL-Versuche zur Verifizierung von Maßnahmen innerhalb der Störungsbehandlung beim Ausfall der NWA im Nichtleistungsbetrieb durchgeführt worden sind. Hierbei ist ausgehend von Anlagenzuständen mit abgesenktem Füllstand im RKL u. a. die Wirksamkeit von unterschiedlichen Maßnahmen zur Kühlmittleinspeisung untersucht worden.

Im Ergebnis gelangen die Betreiber zu der Schlussfolgerung, dass in den deutschen Kernkraftwerken Prozesse zur

- anlageninternen als auch anlagenübergreifenden Auswertung von Forschungsergebnissen und
- Bewertung von neuen Erkenntnissen aus der Übertragbarkeitsprüfung von Ereignissen

mit dem Ziel der Verbesserung des Sicherheitsniveaus der Anlagen etabliert und wirksam sind.

Speziell im Hinblick auf Ereignisse im NLB beschreiben die Betreiber in [8a] die Fortentwicklung des Kenntnisstandes seit dem Jahr 2000 unter Berücksichtigung von

- GRS-Berichten zur Ereignisvermeidung und -beherrschung im NLB,
- aktualisierten oder neu erstellten Regelwerksanforderungen (KTA Regeln, SiAnf) und
- Ergebnissen von PKL-Versuchen zum NLB.

Ausgehend von dieser Fortentwicklung des Kenntnisstandes sei in den Jahren 2000 bis 2009 zunächst ein Basiskonzept zur Beherrschung von Ereignissen im NLB, basierend u. a. auf Erkenntnissen aus der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) [9] zum NLB, entwickelt worden. Im Zeitraum von 2010 – 2012 sei eine Bewertung neuer Anforderungen und Erkenntnisse an die Ereignisbeherrschung im NLB, die sich aus den SiAnf, KTA-Regeln, GRS-Berichten zum NLB sowie PKL-Versuchen ergeben haben, erfolgt. Hieraus seien ein Vorschlag zur Neuordnung/Ergänzung der schriftlichen betrieblichen Regelungen (SbR) mit Einführung von Prozeduren zur Beherrschung von Ereignissen während des NLB im BHB sowie Optimierungen der Beschreibungen der schutzzielorientierten Störfallbehandlung im BHB und Notfallhandbuch (NHB) abgeleitet worden. Auf Basis der Anforderungen an den NLB und der Auswertung von Betriebserfahrungen sei im Jahr 2012 von den Betreibern und dem Anlagenhersteller das „Konzept zur Ereignisbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb und die Darstellung im BHB“ verabschiedet worden. Im Zeitraum 2012 bis 2018 sei die anlagenspezifische Umsetzung der im Konzept festgeschriebenen Vorgehensweisen zur Störungsbehandlung im NLB erfolgt.

Teil des Konzepts zur Ereignisbeherrschung im NLB sind nach Darstellung der Betreiber generische Mindestverfügbarkeitsanforderungen für die einzelnen Anlagenbetriebszustände (ABZ; identisch mit Betriebsphasen gemäß SiAnf). Werden die geforderten Verfügbarkeiten unterschritten, sind unverzüglich Maßnahmen zu ihrer Wiederherstellung einzuleiten. Kann dies nicht sichergestellt werden, ist die Anlage spätestens nach dem vorgegebenen Zeitraum in einen ABZ zu überführen, in dem entweder keine oder nur eine verringerte Anforderung für das betreffende System besteht.

Tabelle 1: Generische Mindestverfügbarkeiten ausgewählter Einrichtungen mit Bezug zum Erhalt der NWA im NLB bei Mitte-Loop (Quelle: [8a], Auszug)

Neubewertung der Verfügbarkeitsanforderungen für NLB¹

| System/Systemfunktion | Abfahren | | Anfahren | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|----------|-----|
| | C | D | D | C |
| Beckenkühlstränge | 1+1 | 1+1 | 1+1 | 1+1 |
| Primärkreisabschluss (ohne Nachkühlsystem) | 1+1 | 1+1 | 1+1 | 1+1 |
| Primärkreisabschluss für Nachkühlsystem | 1+1 | 1+1 | 1+1 | 1+1 |
| ND-Einspeise-Nachkühlstränge | 2+1 | 2+1 | 2+1 | 2+1 |
| HD-SEP-Stränge (Freischaltung bei KMT < 180 °C möglich) | - | - | - | - |
| Druckspeicher (Freischaltung bei KMT < 180 °C möglich) | 6 | - | - | 6 |
| Nachkühlketten KA/TF-VE/PE (zu versorgenden Teilsystemen in JN/TH+FA/TG zugeordnet) | 2+1 | 2+1 | 2+1 | 2+1 |
| Lüftungsanlagen Kontrollbereich GBA RSB-Lüftung | 1+1 | - | - | 1+1 |
| DE-Notspeisestränge | 2+0 | - | - | 2+0 |
| FD-Abblasestränge (einschl. 100 K/h-Abfahren) | 2+0 | - | - | 2+0 |
| Ringraumüberflutungsschutz (Füllstandsüberwachung) | 1+1 | 1+1 | 1+1 | 1+1 |
| Stromversorgung (den zu versorgenden Teilsystemen zugeordnet) | | | | |
| -Notstromdiesel | 2+1 | 2+1 | 2+1 | 2+1 |
| -Unterbrechungslos (Umformer, Batterien) | 2+1 | 2+1 | 2+1 | 2+1 |

2+1 Anzahl der Stränge/Komponenten (mit Abdeckung Einzelfehlerkriterium; störfallbedingte Ausfälle sind berücksichtigt, aber nicht extra aufgeführt).

Als Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ausfalls der NWA bei reduziertem RKL-Inventar führen die Betreiber in [8a] an:

- Einschränkungen bei Arbeiten/Prüfungen während Mitte-Loop Phasen,
- zusätzliche Überwachung des RKL-Inventars mit Hilfe von Kühlmittel-Massen-Bilanzen,
- anlagenspezifische Maßnahmen wie Checklisten, zusätzliches Schichtpersonal (z. B. Reaktorfahrer) während Ab-/Anfahren,
- Vorbereitung der Mitarbeiter auf die Revision (spezifische Einweisung der Betriebsmannschaft),
- Sicherstellung der NWA über die Sekundärseite bei noch druckdichtem RKL nach Ausfall der Nachkühlketten,
- Bereitstellung eines Nachkühlstranges auf Reserve,
- Unscharf-Schalten von Reaktorschutz (RS)-Signalen bzw. keine Freischaltung von relevanten Armaturen im Nachkühlsystem,

¹ n+1 bedeutet: Es müssen n Redundanten verfügbar sein sowie eine weitere Redundante zur Beherrschung des Einzelfehlers.

-
- Nachweis der Funktionsfähigkeit (Wiederkehrende Prüfung/WKP) betrieblicher Überwachungseinrichtungen und Absperrfunktionen und
 - Schulung des verantwortlichen Schichtpersonals.

Speziell im Hinblick auf Einschränkungen bei Arbeiten/Prüfungen während Mitte-Loop-Phasen gilt nach Aussage der Betreiber, dass an freigeschalteten Sicherheitseinrichtungen und sicherheitsrelevanten Einrichtungen nicht gearbeitet werden darf, sofern die Arbeiten und Prüfungen die Nachkühlung beeinflussen können. An verfügbar zu haltenden Sicherheitseinrichtungen und sicherheitsrelevanten Einrichtungen dürfe weder gearbeitet noch geprüft werden.

In Anbetracht der relativ kurzen Karenzzeiten bei Ausfall der NWA im Mitte-Loop-Betrieb sei im „Konzept zur Ereignisbeherrschung im NLB und die Darstellung im BHB“ die Einrichtung einer Klasse-1-Meldung an exponierter Stelle mit akustischer Meldung in der Warte vorgesehen. Auf diese Weise könne die Störung bzw. der Ausfall der Nachkühlung eindeutig unter Berücksichtigung des ABZ-spezifischen Meldebildes auf der Warte erkannt werden. Somit bestehe ein klares Einstiegskriterium für die Prozedur zur Beherrschung des Ereignisses.

Im Hinblick auf die erforderlichen Maßnahmen zur Beherrschung von Ereignissen bei Mitte-Loop-Betrieb erläutern die Betreiber in [8a], dass aus den PKL-Versuchen folgende Randbedingungen für die Störungsbehandlung abgeleitet worden sind:

- Kurze Karenzzeiten bis zum Erreichen vom Siedezustand (nach ca. 12-15Min) → Notwendigkeit einer schnellen Erkennung der Störung.
- Eingeschränkte Verfügbarkeit der Instrumentierung im Mitte-Loop-Betrieb.²
- Siedeabstand vor Zuschalten des Nachkühlsystems wiederherstellen.
- Die Zuschaltbedingungen für Nachkühlssysteme, sofern Sättigung im RKL schon erreicht ist, sind nur durch die Einspeisung definierter Kühlmittelmengen (ca. 100 m³) zuverlässig herstellbar und für einen relativ kurzen Zeitraum aufrecht zu erhalten.
- Begrenzung der eingespeisten Kühlmittelmenge auf etwa 100 m³, da bei druckdichtem RKL der Druck mit zunehmendem Kühlmittelvolumen ansteigt, ggf. bis zur Förderhöhe der Nachkühlpumpen. Somit verbliebe bei Einspeisung einer zu großen Kühlmittelmenge kein Spielraum mehr für eine ggf. erforderliche weitere Einspeisung.
- Mit der Einspeisung einzelner Druckspeicher kann keine ausreichende Unterkühlung im Kern und Heißstrang hergestellt werden.

² So steht zwar die Messung “KMT_{AUS}” zur Verfügung, liefert aber aufgrund ihrer Positionierung (Nähe DE-Eintritt) und fehlender Eintauchtiefe bei Mitte-Loop-Betrieb keine repräsentative Aussage über die KM-Temperatur im heißen Loop bzw. an der Ansaugstelle der Nachkühlleitung.

-
- Heiß- und kaltseitiges Fluten mit der Nachkühlpumpe (ca. 100 m³) ist ausreichend, um die Wiedereinschaltung der Nachkühlung sicherzustellen (Unterkühlung an der Ansaugstelle aufrechterhalten).

Die Betreiber legen in [8a] dar, dass eine Prozedur „Störung der NWA“ in den Betriebsunterlagen verankert worden ist. Für diese Prozedur zur Wiederherstellung der NWA bei reduziertem RKL-Inventar gelten folgende Zielsetzungen und Anforderungen:

- Es soll ein schneller Einstieg in die Prozedur erfolgen (Erkennung auf der Basis der neuen Klasse 1 Meldung).
- Die Prozedur soll aus schnell und einfach durchführbaren Handmaßnahmenblöcken bestehen. Trotz unterschiedlicher auslösender Ereignisse für den Ausfall der Nachkühlung soll die Wiedereinschaltung wirksam und zielführend durchgeführt werden können.
- Die Prozedur soll alle verfahrenstechnischen Zustände mit Füllstandsabsenkung auf ¾-Loop abdecken (RKL druckdicht, RKL nicht druckdicht).
- Die Prozedur soll auch dann wirksam und anwendbar sein, wenn ggf. nur ein Nachkühlstrang funktionsfähig ist (flutbereiter Strang).

Die Wiederherstellung der NWA für die verschiedenen ABZ mit Mitte-Loop-Füllstand ist hierbei prinzipiell über zwei mögliche Fahrweisen realisierbar:

- kalt- und heißseitiges Einspeisen mit einem flutbereiten Nachkühlstrang (ca. 80-120 m³) und überlappende Zuschaltung eines noch verfügbaren (Reserve-) Nachkühlstranges in der Funktion Nachkühlung oder
- kalt- und heißseitiges Einspeisen mit einem flutbereiten Nachkühlstrang (ca. 80-120 m³) und anschließende Umschaltung dieses Strangs auf Nachkühlung.

Diese grundsätzlichen Fahrweisen seien im Rahmen der diversen PKL-Versuche mit unterschiedlichen Primärkreisfigurationen (RKL druckdicht/nicht druckdicht, Reaktordruckbehälter(RDB)-Deckel aufliegend oder abgehoben) als wirksam und anwendbar verifiziert worden. Die Wirksamkeit der Maßnahme sei unabhängig von der Ursache für den Ausfall der NWA und es bestehe keine Notwendigkeit diese fest implementierte Fahrweise in Abhängigkeit von der Primärkreisfiguration zu ändern. Daher sei entschieden worden, diese Fahrweise für alle Anlagen vorzugeben, was von allen Anlagen zwischenzeitlich umgesetzt sei.

Anlagenspezifisch sei die Umsetzung der Verankerung der generischen Prozedur auf unterschiedliche Weisen gelöst worden. Dies sei beispielsweise durch die Erstellung eines BHB-Kapitels „Störung der Nachwärmeabfuhr“ oder durch Ergänzung bzw. Neuerstellung von schutzziel-/zustandsorientierten Fahrweisen für den NLB möglich. Grundsätzlich seien die Maßnahmen in den entsprechenden betrieblichen Regelungen verankert (BHB, ergänzend NHB sowie im Betrieblichen Organisationshandbuch (BOHB)). Dabei sei nach Aussage der Betreiber zu beachten, dass die einzelnen Anlagen hinsichtlich Struktur und Umfang ihrer Betriebsunterlagen historisch gewachsene Unterschiede aufweisen.

Im Hinblick auf das sog. Diablo-Canyon-Szenario³ führen die Betreiber in [8b] aus, dass dieses Szenario einerseits durch eine entsprechende Begrenzung der Nachzerfallsleistung vermieden werden könne, derart, dass innerhalb einer unterstellten max. 30 minütigen Karenzzeit bis zur Einleitung wirksamer Gegenmaßnahmen keine Siedebedingungen erreicht werden (eine Nachzerfallsleistung von ca. 6 MW entspreche 30 Minuten Karenzzeit). Alternativ könne vor dem Öffnen der kalten Leitung eine ausreichende Entlastungsöffnung auf der heißen Seite geschaffen werden. Damit könne der beim Sieden entstehende Dampf ohne Druckaufbau im Reaktorkühlsystem abgegeben werden. Dementsprechend würden bei Erreichen des ersten Mitte-Loop Betriebes, d. h. beim Abfahren der Anlage, keine großen kaltseitigen Öffnungen (Dampferzeuger-Mannloch primärseitig geöffnet, Hauptkühlmittelpumpen(HKMP)-Welle gezogen, Erstabsperrarmatur ausgebaut) ohne ausreichende heißseitige Entlastungsöffnung herbeigeführt. Eine diesbezügliche Selbstverpflichtungserklärung der Betreiber bestehe seit dem Jahr 2009.

Ergänzend führen die Betreiber in [13] aus, dass Kühlmittelverluste aufgrund von geöffneten DE-Mannlöchern (und/oder bei bestimmten großen kaltseitigen Öffnungen) nicht mit der Prozedur aus dem Kapitel „Störung der Nachwärmeabfuhr im Nichtleistungsbetrieb“ behandelt würden. Ein Ausfall der Nachkühlung in derartigen Anlagenzuständen könne nur über den Sumpfbetrieb, unter Anwendung des Schutzziel-BHB, beherrscht werden.

Die größtmöglichen Öffnungen am PKL ließen sich durch das Ziehen einer HKMP-Welle (DN 750), das vollständige Entfernen eines DE-Primär-Mannlochdeckels (DN 500) oder den Ausbau einer Erstabsperrarmatur des JNA/TH-Systems (DN 225) erzeugen. In der Revision eingeplante WKPen oder Instandhaltungsmaßnahmen, die eine solche komplette Entfernung der genannten Komponenten erfordern und bei denen dann Fehler zu betrachten wären, werden generell nicht in den Phasen C-E, also solange sich noch Brennelemente im RDB befinden, freigegeben bzw. beauftragt.

4 Bewertungsmaßstab

Anforderungen im Hinblick auf Maßnahmen zur Vermeidung eines Ausfalls der Nachkühlung bei Mitte-Loop-Betrieb leiten sich aus dem diesbezüglichen Stand von Wissenschaft und Technik ab, so wie er sich z. B. aus GRS-Untersuchungen zu den entsprechenden ABZ ergibt, siehe die GRS-A-Berichte 3114, 3523 und 3765 [10a/10b/10c].

Anforderungen im Hinblick auf Maßnahmen zur Beherrschung eines Ausfalls der Nachkühlung bei Mitte-Loop-Betrieb ergeben sich im Hinblick auf

- die zu unterstellenden Ereignisse, die dabei anzusetzenden Ausfallannahmen (Einzelfehlerkonzept) sowie die Randbedingungen zur Nachweisführung aus den SiAnf, hierbei insbesondere den Anhängen 2, 4 und 5 [11a/11b/11c],

³ Bei einer ausschließlich kaltseitig vorliegenden Öffnung kommt es durch die nach Ausfall der Nachkühlung einsetzende Dampfbildung zu einem Ausschleichen einphasigen Kühlmittels aus der Öffnung. Dies geht mit einer Kühlmittelverlagerung im RKL und einer Absenkung des Füllstands im RDB einher. Hierdurch kann in Abhängigkeit von der kaltseitigen Öffnungsfläche eine Kernfreilegung deutlich früher eintreten als bei heißseitig geöffnetem RKL.

-
- die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Wiederherstellung der Nachkühlung aus den PKL-Versuchen für den Anlagenzustand Mitte-Loop [7], [8a].

Anforderungen im Hinblick auf die Verankerung von Maßnahmen im BHB und die Gestaltung von Prozeduren enthält die KTA-Regel 1201 [12].

Insgesamt leitet die RSK aus den in diesen Unterlagen enthaltenen Anforderungen ab, dass in den DWR-Anlagen ein Konzept zur Vermeidung von Ereignissen, die zum Ausfall der Nachkühlung bei reduziertem Kühlmittelinventar („Mitte-Loop-Zustände“) beitragen, und zur Beherrschung solcher Ereignisse, falls diese dennoch auftreten, umgesetzt sein sollte. Dieses Konzept sollte insbesondere die folgenden Punkte abdecken:

- Maßnahmen zur Vermeidung des „Ausfalls NWA“ bei reduziertem RKL-Inventar.
- Maßnahmen zur Beherrschung der Ereignisse in den jeweiligen Betriebsphasen unter Berücksichtigung von weiteren relevanten Randbedingungen wie z. B. der Konfiguration des Primärkreises (geschlossen, diverse Öffnungen und deren Lage am RKL).
- Geeignete Verankerung der Maßnahmen in den Betriebsunterlagen der Anlagen. Die Festlegungen in Bezug auf die Verfügbarkeit von Sicherheitseinrichtungen, die in den verschiedenen Anlagenzuständen vorzuhalten sind, um ein Mitte-Loop-Ereignis zu beherrschen, sollten in der Sicherheitspezifikation (SSP) geregelt sein.

5 Bewertung

Auf Basis der Darstellung der Betreiber [8a] und in Kenntnis von BHB Regelungen in verschiedenen DWR-Anlagen kommt die RSK zu folgenden Schlussfolgerungen:

Von den Betreibern ist unter Beteiligung des Anlagenherstellers in den Jahren 2000 bis 2012 ein generisches Konzept zur Behandlung von Ereignissen mit Ausfall der Nachkühlung im NLB entwickelt worden. Dieses Konzept berücksichtigt

- den Stand von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf die Ereignisvermeidung und -beherrschung bei Mitte-Loop-Betrieb (u. a. auf Basis einschlägiger GRS-Berichte und von Ergebnissen von PKL-Versuchen) sowie
- aktuell gültige Regelwerksanforderungen (KTA-Regeln, SiAnf).

Das Konzept beinhaltet

- Vorgaben in den schriftlichen betrieblichen Regelungen betreffend Maßnahmen zur Vermeidung eines Ausfalls der Nachkühlung im Mitte-Loop-Betrieb,
- Vorgaben in den schriftlichen betrieblichen Regelungen betreffend die in den einzelnen ABZ zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Mindest-Verfügbarkeiten relevanter Systeme,

-
- die Einrichtung einer Klasse 1 Meldung zur schnellen und zuverlässigen Erkennung von Störungen des Nachkühlbetriebs und
 - BHB Prozeduren zur Beherrschung von Störungen des Nachkühlbetriebs.

Das von den Betreibern vorgestellte Konzept wird von der RSK als anforderungsgerecht eingestuft.

Die von den Betreibern in [8a] im Einzelnen genannten Maßnahmen zur Vermeidung eines Ausfalls der NWA bei Mitte-Loop-Betrieb werden von der RSK ebenfalls als anforderungsgerecht eingestuft. Hinsichtlich der von den Betreibern angeführten Arbeits- und Prüfverbote sollte nach Auffassung der RSK in den SSP geregelt sein, welche Systeme davon im Einzelnen in welchem Umfang betroffen sind. Weiterhin sollten Besonderheiten für den Mitte-Loop-Betrieb im Hinblick auf Überwachungsmaßnahmen oder spezielle Verfügbarkeiten in den SSP verankert sein. Inwieweit dies anlagenspezifisch der Fall ist, ist der RSK nicht bekannt. Hieraus ergibt sich folgende

Empfehlung 1:

Im Hinblick auf die Vermeidung eines Ausfalls der Nachkühlung bei Mitte-Loop-Betrieb sollten in den SSP die mit einem Arbeits- und Prüfverbot belegten Systeme im Einzelnen aufgeführt sowie Besonderheiten für den Mitte-Loop-Betrieb, z. B. bezüglich zusätzlicher Überwachungsmaßnahmen oder spezieller Verfügbarkeitsvorgaben, verankert sein.

Hinsichtlich der von den Betreibern in [8a] genannten Mindestverfügbarkeiten relevanter Einrichtungen bei Mitte-Loop-Betrieb (siehe Spalten C und D in Tabelle 1) hat die RSK keine eigene Prüfung durchgeführt, inwieweit diese zur Ereignisbeherrschung unter den Randbedingungen der SiAnf [3] ausreichend sind. Im Hinblick auf die anlagenspezifische Umsetzung der in Tabelle 1 aufgeführten Mindestverfügbarkeiten ergeben sich aus einer von der GRS durchgeführten Auswertung anlagenspezifischer Vorgaben in den BHBs [6a/6b/6c] Abweichungen zu dieser Tabelle. Die RSK leitet hieraus folgende

Empfehlung 2 ab:

Es sollte anlagenspezifisch verifiziert werden, dass die in Tabelle 1 dieser Stellungnahme aufgeführten Mindestverfügbarkeiten durch die in den SSP aufgeführten Verfügbarkeiten abgedeckt sind.

Aus den PKL-Versuchen zur Untersuchung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Wiederherstellung der NWA bei Mitte-Loop-Betrieb ergibt sich, dass bei heiß- und kaltseitiger Einspeisung von ca. 100 m³ Kühlmittel mit einem flutbereiten Nachkühlstrang nach Ablauf eines Zeitraums von ca. 30 Minuten (30-Minuten Kriterium) eine temporäre Unterkühlung im Ansaugbereich der Nachkühlstränge erreicht werden kann. Diese Aussage gilt zunächst unabhängig von der Primärkreisconfiguration (RKL druckdicht / nicht druckdicht, RDB-Deckel verspannt, entspannt aufliegend oder abgehoben). Die verfügbare Zeitdauer kann genutzt werden, um einen ggf. noch verfügbaren Strang in der Funktion Nachkühlung in Betrieb zu nehmen

oder den zum Fluten eingesetzten Strang nach Beendigung der Einspeisung auf die Betriebsweise Nachkühlung umzustellen.

In den einzelnen PKL-Versuchen hat sich gezeigt, dass die Zeitdauer, während derer die Unterkühlung aufrecht erhalten bleibt, bei den einzelnen Primärkreisconfigurationen davon abhängt, ob kalt- oder heißseitig oder heiß- und kaltseitig eingespeist wird. Vom Anlagenhersteller ist dazu erläutert worden, dass man bewusst darauf verzichtet habe, fallbezogene Vorgaben zu einer Vorzugsrichtung der Einspeisung in die Prozedur aufzunehmen. Stattdessen sollte die Prozedur einfach und einheitlich gestaltet sein, möglichst für alle Primärkreisconfigurationen ausreichend wirksam sein und somit ohne die Notwendigkeit von diesbezüglichen Fallunterscheidungen auskommen. Die RSK schließt sich dieser Argumentation an, zumal die vorgegebene kombinierte Einspeisung für die Konfiguration mit druckdichtem RKL die wirksamste Option darstellt. Der druckdichte RKL stellt im Hinblick auf die wiederholte Anwendung der Prozedur den ungünstigsten Fall dar.⁴

Aus den Ergebnissen der PKL-Versuche folgt weiterhin [7], dass im Falle eines Ausfalls der Nachkühlung bei

- druckdichtem RKL die Nachwärme dauerhaft über die abblasebereiten Dampferzeuger abgeführt werden kann (ausreichende sekundärseitige Kühlmittelvorräte vorausgesetzt) und bei
- heißseitig geöffnetem RKL, bedingt durch den kontinuierlichen Kühlmittelverlust, ohne jegliche Gegenmaßnahmen eine Kernfreilegung erst nach deutlich mehr als einer Stunde auftritt.

Wesentlich ungünstigere Bedingungen ergeben sich bei großen kaltseitigen Öffnungsquerschnitten ohne heißseitige Öffnungen am RKL. In diesem Fall führt die Dampfbildung im RKL zu einem Ausschleiben einphasigen Kühlmittels aus der Öffnung, wobei dies mit einer Kühlmittelverlagerung und einer Absenkung des Füllstands im RDB einhergeht. Hierdurch kann eine Kernfreilegung deutlich frühzeitiger auftreten als bei heißseitig geöffnetem RKL. Weiterhin erfordert die Rückkehr in den Nachkühlbetrieb einen umfangreicheren Einsatz der Nachkühlssysteme als bei den beiden anderen Fällen (RKL druckdicht oder heißseitig geöffnet) [7]. Solche Anlagenzustände sind daher zu vermeiden.⁵

Zur Beherrschung eines Ausfalls der Nachkühlung bei großen kaltseitigen Öffnungen wäre die Schaffung ausreichender heißseitiger Entlastungsöffnungen erforderlich. Zu berücksichtigen ist, dass je nach Lage der kaltseitigen Öffnung und/oder der heißseitigen Entlastungsöffnungen die Aufspeisung des RKL mit ca. 100 m³ Kühlmittel nicht realisiert werden kann, da das Kühlmittel über die Öffnung(en) abströmt (z.B. bei geöffneten DE-Mannlöchern). Die BHB-Prozedur „Störung der Nachwärmeabfuhr im Nichtleistungsbetrieb“ ist daher nicht anwendbar. Derartige Anlagenzustände würden daher Fahrweisen unter Nutzung des Sumpfbetriebs erfordern.

⁴ Es steht nur ein begrenztes Volumen zur Aufnahme eingespeister Volumina zur Verfügung. Daher kommt es zu einem einspeisebedingten Druckanstieg im RKL.

⁵ Nach Darstellung des VGB existiert seit dem Jahr 2009 eine diesbezügliche Selbstverpflichtungserklärung der Betreiber.

Die RSK leitet daraus folgende

Empfehlung 3 ab:

Größere kaltseitige Öffnungen (ausgenommen sind kleine Öffnungsquerschnitte wie beim HKMP-Dichtungstausch) und größere tief liegende heißseitige Öffnungen (z. B. DE-Mannlöcher) am RKL sollen nur bei entladem Kern vorgenommen werden.

Sofern in begründeten Einzelfällen derartige Öffnungen bei beladenem Kern während des Mitte-Loop-Betriebs erzeugt werden, ist eine sicherheitstechnische Einzelfallbetrachtung vorzunehmen. Dabei sind mindestens folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- *Verfügbarkeit der Nachkühl-Redundanten,*
- *Nacherfallsleistung und Karenzzeit bis zum Sieden bei Ausfall der Nachkühlung,*
- *ausreichende heißseitige Entlastungsflächen im Falle kaltseitiger Öffnungen,*
- *Position der Öffnungen,*
- *Kühlmittelmenge, die ohne Abfluss in den Sumpf in den RKL eingespeist werden kann,*
- *Notwendigkeit für Sumpfbetrieb bei Ausfall des Nachkühlbetriebs.*

Das Erfordernis derartiger Einzelfallbetrachtungen ist in den SSP zu verankern.

5 Zusammenstellung der Empfehlungen

Empfehlung 1:

Im Hinblick auf die Vermeidung eines Ausfalls der Nachkühlung bei Mitte-Loop-Betrieb sollten in den SSP die mit einem Arbeits- und Prüfverbot belegten Systeme im Einzelnen aufgeführt sowie Besonderheiten für den Mitte-Loop-Betrieb, z. B. bezüglich zusätzlicher Überwachungsmaßnahmen oder spezieller Verfügbarkeitsvorgaben, verankert sein.

Empfehlung 2:

Es sollte anlagenspezifisch verifiziert werden, dass die in Tabelle 1 dieser Stellungnahme aufgeführten Mindestverfügbarkeiten durch die in den SSP aufgeführten Verfügbarkeiten abgedeckt sind.

Empfehlung 3:

Größere kaltseitige Öffnungen (ausgenommen sind kleine Öffnungsquerschnitte wie beim HKMP-Dichtungstausch) und größere tief liegende heißseitige Öffnungen (z. B. DE-Mannlöcher) am RKL sollen nur bei entladem Kern vorgenommen werden.

Sofern in begründeten Einzelfällen derartige Öffnungen bei beladenem Kern während des Mitte-Loop-Betriebs erzeugt werden, ist eine sicherheitstechnische Einzelfallbetrachtung vorzunehmen. Dabei sind mindestens folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- *Verfügbarkeit der Nachkühl-Redundanten,*
- *Nachzerfallsleistung und Karenzzeit bis zum Sieden bei Ausfall der Nachkühlung,*
- *ausreichende heißseitige Entlastungsflächen im Falle kaltseitiger Öffnungen,*
- *Position der Öffnungen,*
- *Kühlmittelmenge, die ohne Abfluss in den Sumpf in den RKL eingespeist werden kann,*
- *Notwendigkeit für Sumpfbetrieb bei Ausfall des Nachkühlbetriebs.*

Das Erfordernis derartiger Einzelfallbetrachtungen ist in den SSP zu verankern.

6 Literatur

- [1] Meldepflichtiges Ereignis 15/034 “Anregen eines Reaktorschutzsignals bei der Dampferzeugerdruckprüfung“ in der Anlage KKP-2 vom 20.06.2015; Monatsbericht Juli 2015, Störfallmeldestelle

- [2] Erfahrungen mit der erweiterten Sicherheitsüberprüfung Baden Württemberg (eSÜ), EnBW, Präsentation auf der 118. RSK-AST-Sitzung, 23. Juni 2016

- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke; 22.11.2012

- [4a] RSK-Ausschuss ANLAGEN UND SYSTEMTECHNIK, Ergebnisprotokoll der 118. Sitzung am 23.06.2016

- [4b] Loss of residual heat removal system, Diablo Canyon, Unit 2, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Walnut Creek, 1987, NUREG-1269

- [4c] LOSS OF RESIDUAL HEAT REMOVAL (RHR) WHILE AT MID-LOOP CONDITIONS CORRECTIVE ACTIONS, Nuclear Agency Committee on Nuclear Regulatory Activities NEA/CNRA/R(2006)4, September 2006

- [5a] Schreiben der RSK/ESK-Geschäftsstelle an die VGB Power Tech e. V. Arbeitsgruppe „Nachweisverfahren“ des Fachausschusses „Betrieb und Sicherheit“ - Umgang mit betriebsrelevanten Forschungsergebnissen innerhalb der VGB Powertech e.V. (VGB) vom 06.04.2018

- [5b] Ergänzendes Schreiben der RSK/ESK-Geschäftsstelle an die VGB Power Tech e. V. Arbeitsgruppe „Nachweisverfahren“ des Fachausschusses „Betrieb und Sicherheit“ - Umgang mit betriebsrelevanten Forschungsergebnissen innerhalb der VGB Powertech e.V. (VGB) vom 10.12.2018

- [6a] GRS-Kurzbericht zum Sachverhalt Betriebserfahrung bei Mitte-Loop-Betrieb von deutschen und ausländischen Kernkraftwerken und Zusammenstellung von Betriebseinschränkungen und sonstigen BHB-Vorgaben für den Mitte-Loop-Betrieb von Druckwasserreaktoranlagen 06.12.2016

-
- [6b] GRS, Präsentation zum Mitte-Loop-Betrieb, Betriebserfahrung und BHB-Vorgaben, S. Babst, J. Knau, A. Voswinkel, 15.12.2016,
247. Sitzung des RSK-Ausschusses Reaktorbetrieb am 16.02.2017
- [6c] GRS, Zusammenstellung von Systemanforderungen und Instandhaltungsvorgaben für den Mitte-Loop-Betrieb von DWR-Anlagen, Ansgar Voswinkel, 24.04.2018
- [7] PKL Projekt „Betriebsrelevante Ergebnisse aus der PKL Versuchsanlage zum Mitte-Loop-Betrieb, Klaus Umminger, Simon Schollenberger, Framatome GmbH,
258. Sitzung des RSK-Ausschusses Reaktorbetrieb am 15.03.2018
- [8a] VGB-Präsentation „Umgang mit betriebsrelevanten Forschungsergebnissen sowie Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten bei Mitte-Loop-Betrieb innerhalb der VGB Powertech e.V.“ auf der 264. Sitzung des RSK-Ausschusses Reaktorbetrieb am 13.02.2019, Foliensatz
- [8b] VGB-Präsentation „Umgang mit betriebsrelevanten Forschungsergebnissen sowie Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten bei Mitte-Loop-Betrieb innerhalb der VGB Powertech e.V.“ auf der 264. Sitzung des RSK-Ausschusses Reaktorbetrieb am 13.02.2019, ergänzender Foliensatz
- [9] „Folgerungen aus einer anlagenspezifischen probabilistischen Sicherheitsanalyse für den Nicht-Leistungsbetrieb bei Leichtwasserreaktoren“,
RSK-Stellungnahme, 16.05.2002
- [10a] GRS A 3114 „Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR“
- [10b] GRS –A-3523 Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Untersuchung und Ermittlung generischer Mindestanforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren während der verschiedenen Betriebsphasen des Nichtleistungsbetriebs, S. Babst, W. Faßmann, G. Mayer, W. Preischl, November 2010, Auftrags-Nr.: 802503
- [10c] GRS-A-3765 Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Ermittlung und Bewertung von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit im Nichtleistungsbetrieb, S. Babst, G. Mayer, März 2014, Auftrags-Nr.: 800058

-
- [11a] Anhang 2 zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke: zu berücksichtigende Ereignisse, 03.03.2015

 - [11b] Anhang 4 zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke: Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums und für die Instandhaltung, 22.11.2012

 - [11c] Anhang 5 zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke: Anforderungen an die Nachweisführung und Dokumentation, 03.03.2015

 - [12] KTA 1201 „Anforderungen an das Betriebshandbuch“, Fassung 2015-11; Kerntechnischer Ausschuss (KTA)

 - [13] E-Mail T. Hanisch vom 4. Juni 2019