

**Untersuchung und
Ermittlung generischer
Mindestanforderungen
an Sicherheitseinrich-
tungen und Prozeduren
während der verschie-
denen Betriebsphasen
des Nichtleistungsbe-
triebs**

Untersuchung und Ermittlung generischer Mindestanforde- rungen an Sicherheitseinrich- tungen und Prozeduren wäh- rend der verschiedenen Be- triebsphasen des Nichtleis- tungsbetriebs

S. Babst
W. Faßmann
G. Mayer
W. Preischl

November 2010

Auftrags-Nr.: 802503

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde lie-
gende FE-Vorhaben 3607R02606
wurde im Auftrag des Bundesminis-
teriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit durchgeführt.
Die Verantwortung für den Inhalt
dieser Veröffentlichung liegt beim
Auftragnehmer.

Der Bericht gibt die Auffassung und
Meinung des Auftragnehmers wie-
der und muss nicht mit der Meinung
des Auftraggebers übereinstimmen.

Kurzfassung

Das BMU-Vorhaben 3507R2606 hatte die Untersuchung und Ermittlung generischer Mindestanforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren während der verschiedenen Betriebsphasen des Nichtleistungsbetriebs zum Inhalt.

Die GRS hatte in verschiedenen vorangegangenen Vorhaben Ereignisabläufe im Nichtleistungsbetrieb untersucht und damit den Stand von Wissenschaft und Technik auf diesem Gebiet weiterentwickelt. Als ein Ergebnis dieser Untersuchungen wurde die detaillierte probabilistische Analyse von Ereignisabläufen beim Nichtleistungsbetrieb in den Umfang der periodischen Sicherheitsüberprüfung aufgenommen. Des Weiteren sind die Erkenntnisse aus den oben genannten Untersuchungen in die Erstellung der „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ eingeflossen.

Die Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet des Nichtleistungsbetriebes sollte auch in die Betriebshandbücher der deutschen Kernkraftwerke einfließen. Ziel sollte es sein, Ereignisse des Nichtleistungsbetriebes im gleichen Umfang wie Ereignisse des Leistungsbetriebes in den Betriebshandbüchern zu berücksichtigen. Dazu wären entsprechende Prozeduren zu erstellen und in die Betriebshandbücher aufzunehmen. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen dieses Vorhabens die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen für die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebes sowie die Anforderungen an Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb untersucht und ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden Anforderungskataloge erstellt, welche Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für einige sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb beinhalten.

Abstract

The subject of this report is the analysis and determination of generic minimum requirements (success criteria) for safety systems and procedures during low-power and shutdown operation (LP&SD) in German nuclear power plants (NPPs). The project was financed by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

In previous projects GRS had investigated event sequences during low-power and shutdown operation and continued to develop the state of the analyses of LP&SD events. As one conclusion of these investigations the detailed probabilistic analysis of event sequences during LP&SD became part of the periodic safety review for the German NPPs. Furthermore the outcomes of the mentioned investigations were included in the development of the nuclear regulation "Safety Criteria for Nuclear Power Plants".

The further developed state of the technical knowledge should be integrated in the operating manuals of the German NPPs with respect to the systematic consideration of LP&SD operation. The objective should be that event sequences during LP&SD are considered in the operating manuals in the same extent like event sequences during full power operation. For this purpose, generic minimum requirements (success criteria) for safety systems and procedures during low-power and shutdown operation were analysed and determined. On this basis, catalogues were developed, which contain the requirements for safety systems and procedures for several safety significant event sequences during LP&SD operation.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Zusammenstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik	9
3	Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb	11
3.1	Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen	11
3.2	Auswahl von repräsentativen Ereignissen	13
3.3	Ereignisse in DWR-Anlagen	17
3.3.1	Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale	17
3.3.2	Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen.....	20
3.3.3	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	23
3.3.4	Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt, mit Ausfall der Begrenzungen bzw. vorgelagerter Maßnahmen.....	26
3.3.4.1	Fälschliche Deionateinspeisung in den RKL aus dem Volumenregelsystem beim Wiederauffüllen des RKL nach $\frac{3}{4}$ -Loop- Betrieb	27
3.3.4.2	Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat	28
3.3.5	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf ..	30
3.3.6	Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs...	35
3.3.7	Notstromfall länger als 2 Stunden	39
3.4	Ereignisse in SWR-Anlagen.....	40
3.4.1	Fehlerhafter Anstieg des Füllstands im Reaktordruckbehälter und Unverfügbarkeit von Begrenzungseinrichtungen.....	40

3.4.2	Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen.....	43
3.4.3	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	47
3.4.4	Fehlerhaftes Ausfahren eines Steuerstabs beim Abschaltsicherheitstest	50
3.4.5	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem	51
3.4.6	Leck am Flutkompensator.....	55
3.4.7	Leck am Boden des Reaktordruckbehälters.....	59
3.4.7.1	Leck beim Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle.....	60
3.4.7.2	Leck durch Arbeiten an Steuerstabantrieben oder In-Core-Messlanzen ..	62
3.4.8	Notstromfall länger als 2 Stunden	63
3.5	Schlussfolgerungen hinsichtlich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen.....	68
3.5.1	Zusätzliche administrative Vorkehrungen	70
3.5.2	Hilfsmaßnahmen/Ersatzmaßnahmen.....	71
3.5.3	Einsatz von Betriebssystemen	73
3.5.4	Instandsetzung ausgefallener Systemfunktionen oder Wiederinbetriebnahme freigeschalteter Systeme	73
3.5.5	30-Minuten-Kriterium	74
3.5.6	Prüfzeitpunkte für sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen.....	75
3.6	Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nachweiskriterien	76
4	Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren und der phasenspezifischen Regelungen des Betriebshandbuchs für den Nichtleistungsbetrieb	78
4.1	Administrative Festlegungen zur Bereitstellung erforderlicher Prozeduren	78
4.2	Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren	84
5	Anforderungskataloge.....	87
6	Zusammenfassung	127

6.1	Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb	128
6.2	Anforderungen an Prozeduren und administrative Regelungen	129
6.3	Anforderungskataloge.....	130
6.4	Schlussfolgerungen	130
7	Literatur.....	132

Abbildungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Anhang A Regeln und Richtlinien bezüglich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb

Anhang B Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb

Verteiler

1 Einleitung

Angeregt durch internationale Analysen zum Nichtleistungsbetrieb /EPS 900, 1300, NUR 94, 95/ hat die GRS die sicherheitstechnische Bedeutung von Ereignisabläufen ausgehend vom Nichtleistungsbetrieb von Kernkraftwerken in verschiedenen Vorhaben untersucht. Diese Untersuchungen betrafen die Anlage Biblis-B /SIM 96/, Anlagen des Typs SWR72 /GRS 99/, Konvoi /GRS 03/ und SWR69 /GRS 06/. Dabei zeigte sich, dass Ereignisabläufe im Nichtleistungsbetrieb einen ungefähr gleich hohen Beitrag zur Gesamthäufigkeit von Schadenszuständen liefern wie Ereignisabläufe im Leistungsbetrieb und daher nicht vernachlässigt werden können. Die detaillierte probabilistische Analyse von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb wurde daher in den Umfang der periodischen Sicherheitsüberprüfung /BAN 05, FAK 05/ aufgenommen.

Im atomrechtlichen Verfahren waren entsprechend dem bisherigen Regelwerk /SLL 83, MPA 76/ Ereignisse des Nichtleistungsbetriebs nur vereinzelt zu betrachten. So waren z.B. entsprechend den Störfalleitlinien /SLL 83/ für „Lecks am Nachkühlsystem im Ringraum“, für „Wasserverluste aus dem BE-Lagerbecken“ und für „Lastabstürze auf das BE-Lagerbecken“ Vorsorgemaßnahmen nachzuweisen. Auf Grund des inzwischen weiterentwickelten Standes von Wissenschaft und Technik wurden im Rahmen der Arbeiten zur Aktualisierung des kerntechnischen Regelwerks systematisch alle Betriebsphasen die eine Anlage durchläuft berücksichtigt. Dabei wurden phasenspezifisch Nachweiskriterien, Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen sowie zu untersuchende Ereignisse festgelegt /GRS 06a/. Die Erkenntnisse aus den oben genannten Untersuchungen der GRS zum Nichtleistungsbetrieb sind in diese Weiterentwicklung des untergesetzlichen kerntechnischen Regelwerkes eingeflossen /SIK 09/.

Die Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet des Nichtleistungsbetriebes sollte auch in die Betriebshandbücher der deutschen Kernkraftwerke einfließen. Ziel sollte es sein, für die entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik im Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse Prozeduren zu erstellen und in die Betriebshandbücher aufzunehmen. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen dieses Vorhabens die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen für die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebes sowie die Anforderungen an Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb untersucht und ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden Anforderungskataloge erstellt,

welche Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für einige sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb beinhalten.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde zunächst der bezüglich des Nichtleistungsbetriebes relevante Stand von Wissenschaft und Technik aufbereitet. Die Ergebnisse zu diesem Arbeitspunkt sind im Kapitel 2 und im Anhang A zusammengestellt. Diese Zusammenstellung enthält die im Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse, die Nachweiskriterien, deren Einhaltung für die zu betrachtenden Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb aufzuzeigen ist sowie die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb. Dazu wurde von der GRS eine portalgestützte „Wissensseite“ erstellt, von welcher die Informationen zum Nichtleistungsbetrieb abgerufen werden können.

Kapitel 3 befasst sich mit den Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen in den verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs. Diese Anforderungen werden am Beispiel ausgewählter Ereignisse untersucht. Aus der Vielzahl der im Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse wurden dazu 15 repräsentative Ereignisse ausgewählt. Diese Ereignisse werden dahingehend untersucht, ob die zur Verfügung stehenden Sicherheitseinrichtungen geeignet sind, die im Regelwerk festgeschriebenen Anforderungen zu erfüllen. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Redundanzanforderungen zur Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums und auf die Einhaltung des 30-Minuten-Kriteriums. Dazu wurden Ereignisablaufanalysen aus den GRS-Untersuchungen zum SWR72 /GRS 99/, zum SWR69 /GRS 06/ und zum Konvoi /GRS 03/ oder eigene Abschätzungen herangezogen. Im Ergebnis dieser Ereignisablaufanalysen werden Schlussfolgerungen hinsichtlich der Anwendbarkeit dieser Kriterien für den Nichtleistungsbetrieb gezogen.

Kapitel 4 hat die Anforderungen an Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb zum Inhalt. Solche Prozeduren müssen den Randbedingungen des Nichtleistungsbetriebs Rechnung tragen. Randbedingungen sind zum Beispiel die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs, die gekennzeichnet sind durch Verfügbarkeit von Barrieren, Sicherheitseinrichtungen und systemtechnischen sowie thermohydraulischen Zuständen, wodurch eine Vielzahl von Ereignisabläufen ermöglicht wird. Aus diesen Randbedingungen wurden Anforderungen an Umfang, Inhalte und Gestaltung von Prozeduren für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb abgeleitet. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass geplante Maßnahmen durchführbar und wirksam sind. Solche Aspekte werden im

Rahmen des Genehmigungsverfahrens geprüft und waren nicht Gegenstand der hier durchgeführten Arbeiten.

Wie oben erwähnt, sollte die Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet des Nichtleistungsbetriebes auch in die Betriebshandbücher der deutschen Kernkraftwerke einfließen. Ziel sollte es sein, dass Ereignisabläufe im Nichtleistungsbetrieb in einer vergleichbaren Tiefe und Vollständigkeit wie Ereignisse im Leistungsbetrieb berücksichtigt werden. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen dieses Vorhabens Anforderungskataloge erstellt, welche Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für wichtige Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb beinhalten. Grundlage dafür sind die Untersuchungen der GRS, die Ereignisablaufanalysen im Kapitel 3 sowie die Untersuchungen im Kapitel 4. Die erstellten Anforderungskataloge sind im Kapitel 5 zu finden. Die erarbeiteten Kataloge können u. a. von Behörden oder Sachverständigen genutzt werden, um bestehende bzw. neu zu erstellende Vorgaben für die einzelnen Betriebsphasen sowie Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb zu bewerten. Betreiber können die Kataloge als Anhaltspunkte für die Erstellung von Prozeduren nutzen.

2 Zusammenstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

Der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Analysen zum Nichtleistungsbetrieb in Deutschland wird durch die folgenden Untersuchungen und Dokumente repräsentiert:

1. Die Untersuchungen der GRS zur sicherheitstechnischen Bedeutung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb. Diese Untersuchungen betrafen die Anlage Biblis-B /SIM 96/, Anlagen des Typs SWR72 /GRS 99/, Konvoi /GRS 03/ und SWR69 /GRS 06/.
2. Die „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“, Revision D /SIK 09/. Diese Weiterentwicklung berücksichtigt systematisch alle Betriebsphasen einer Anlage. Ferner wurden phasenspezifisch Nachweiskriterien, Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen sowie zu untersuchende Ereignisse definiert.
3. Das derzeit gültige kerntechnische Regelwerk. Dazu zählen u. a. die KTA-Regeln, z. B. /KTA 33/, die Störfalleitlinien /SLL 83/, die RSK-Leitlinien /RSK LL/, die BMI-

Sicherheitskriterien /BMI 77/ sowie die Leitfäden für die Durchführung der periodischen Sicherheitsüberprüfung /SSA LF/, /FAK 05/. Zum Ende der Projektlaufzeit wurde eine neue Fassung der KTA 1201 /KTA 12N/ in Kraft gesetzt. Soweit möglich berücksichtigen die durchgeführten Arbeiten neben der bis November 2009 gültigen alten Fassung auch die neue Version.

Diese Aufbereitung des Standes von Wissenschaft und Technik bezieht sich auf die folgenden Themenschwerpunkte:

- das Spektrum der für den Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse,
- die Nachweiskriterien, deren Einhaltung für die zu betrachtenden Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb aufzuzeigen ist,
- die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb und
- Anforderungen an die Prozeduren und administrative Festlegungen im BHB für den Anlagenstillstand bzw. die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs.

Die Aufbereitung des Standes von Wissenschaft und Technik zu jedem dieser Themenschwerpunkte ist im Anhang A zu finden. Zusätzlich wurde entsprechend dem Projektauftrag eine portalgestützte „Wissensseite“ erstellt. Diese Wissensseite befindet sich im GRS-Portal und dem BMU-Info-Server. Die Informationen können von BMU- und GRS-Mitarbeitern abgerufen werden.

3 Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb

Die Anforderungen des Regelwerks an die Sicherheitseinrichtungen wie z. B. Einzelfehlerkonzept und 30-Minuten-Kriterium sind im Wesentlichen für Störfälle im Leistungsbetrieb konzipiert. Im Nichtleistungsbetrieb sind jedoch Bereiche des Sicherheitssystems für Revisionsarbeiten freigeschaltet, so dass weniger Redundanzen für die Beherrschung von auslösenden Ereignissen zur Verfügung stehen. Ebenso ist eine automatische Anregung von Sicherheitseinrichtungen während der Revision weitgehend nicht verfügbar, so dass detaillierte schriftliche Prozeduren für das Vorgehen zur Beherrschung von Ereignisabläufen erforderlich sind. Auf der anderen Seite stehen für bestimmte Ereignisabläufe aufgrund der im Vergleich zum Leistungsbetrieb geringen Nachzerfallsleistung und des großen Kühlmittelinventars lange Karenzzeiten zur Störfallbeherrschung zur Verfügung, welche für Reparaturmaßnahmen oder die Wiederinbetriebnahme von freigeschalteten Sicherheitseinrichtungen genutzt werden können. Eine Zielsetzung dieses Vorhabens besteht daher darin zu überprüfen, ob die aus dem Leistungsbetrieb stammenden Anforderungen an das Sicherheitssystem auf den Nichtleistungsbetrieb übertragbar sind, oder ob gegebenenfalls geänderte Anforderungen für den Nichtleistungsbetrieb zu entwickeln sind.

3.1 Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen

Sicherheitseinrichtungen in einem Kernkraftwerk haben die Aufgabe, bei Störungen bzw. Störfällen in der Anlage, diese im Rahmen des gestaffelten Sicherheitskonzeptes zu beherrschen. Dabei sind die jeweiligen Nachweiskriterien einzuhalten. Die Nachweiskriterien und die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen sind im Laufe der deutschen Genehmigungs- und Aufsichtspraxis in verschiedenen Regeln und Richtlinien festgelegt worden.

Bezüglich der Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb sind in Deutschland im Wesentlichen die folgenden Dokumente heranzuziehen:

- BMI-Sicherheitskriterien /BMI 77/,
- Störfalleitlinien /SLL 83/,

- RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren /RSK LL/,
- KTA-Regel 3301 „Nachwärmeabfuhrsysteme in Leichtwasserreaktoren“ /KTA 33/,
- Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Module 1 bis 12, Revision D /SIK 09/.

In den ersten vier Unterlagen, die im Wesentlichen den Leistungsbetrieb bzw. Störfälle im Leistungsbetrieb reflektieren, stellen vor allem Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen im Leistungsbetrieb. Die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D) stellen demgegenüber eine Weiterentwicklung dar. Hier wurden Anforderungen spezifisch für die verschiedenen Betriebsphasen einer Anlage sowie für die Ebenen des gestaffelten Sicherheitskonzeptes vorgeschlagen.

Die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen in den oben aufgeführten Unterlagen, die auch für den Nichtleistungsbetrieb relevant sind, betreffen im Wesentlichen:

- das Einzelfehlerkonzept und die damit verbundene Anzahl an bereitzuhaltenden Redundanzen,
- die räumliche Trennung redundanter Teilsysteme,
- die Beherrschung von je nach Sicherheitsebene zu unterstellenden Zusatzausfällen bzw. Randbedingungen und
- das 30-Minuten-Kriterium.

In den Abschnitten 3.3 und 3.4 werden die ausgewählten Ereignisse für DWR- und SWR-Anlagen dahingehend untersucht, ob die zur Verfügung stehenden Sicherheitseinrichtungen geeignet sind, die in den oben genannten Dokumenten festgeschriebenen Anforderungen zu erfüllen. Dabei werden deterministische Grundsätze eingehalten. Das heißt, dass z. B. bei Unterstellung eines Einzelfehlers eine bestimmte Komponente definitiv ausfällt, alle anderen für die Ereignisbeherrschung verfügbaren dagegen funktionieren. Diese Annahme eines Komponentenausfalls wird für alle relevanten Variationen „durchgespielt“.

Zur Beurteilung, ob das 30-Minuten-Kriterium eingehalten wird, werden Ereignisablaufanalysen aus den GRS-Untersuchungen zum SWR72 /GRS 99/, zum SWR69 /GRS 06/ und zum Konvoi /GRS 03/ oder eigene Abschätzungen herangezogen.

Bezüglich der Redundanzanforderungen an die Sicherheitseinrichtungen werden die Verfügbarkeiten entsprechend aktueller BHBs berücksichtigt. Hierbei wird jeweils die minimal erlaubte Konfiguration zu Grunde gelegt.

3.2 Auswahl von repräsentativen Ereignissen

Um die große Anzahl verschiedener Einzelereignisse zu reduzieren sollen in den folgenden Untersuchungen Ereignisse betrachtet werden,

- für die sich in den Untersuchungen der GRS /GRS 99, GRS 03, GRS 06/ eine hohe sicherheitstechnische Bedeutung ergab und
- Ereignisse, zu deren Beherrschung kurzfristig Personalhandlungen erforderlich sind.

Die Untersuchungen sollen sich auf Ereignisse der Sicherheitsebene 3 konzentrieren. Viele Ereignisse der Sicherheitsebene 2 sind durch Ereignisse der Sicherheitsebene 3 abgedeckt. Zudem bestehen in der Sicherheitsebene 3 höhere Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen.

Nicht betrachtet werden Ereignisse,

- für die ausschließlich die Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele nachzuweisen ist (diese Ereignisse führen nicht zu Kernschäden),
- die aufgrund von zu treffenden Vorsorgemaßnahmen (VM) nicht weiter zu untersuchen sind,
- Ereignisse die durch andere Ereignisse abgedeckt sind.

Mit Hilfe dieser Auswahlkriterien wurden die folgenden Ereignisse für die weiteren Untersuchungen ausgewählt:

Repräsentative Ereignisse in DWR-Anlagen:

DWR-Ereignisse			
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel^{*)}	Phase^{*)}
1	Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale	K, B	C-E
2	Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen	R, K, B	C-D
2	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E
4	Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt, mit Ausfall der Begrenzungen bzw. vorgelagerter Maßnahmen (Externe Deborierung; homogen und heterogen)	R, K, VM	B-E
5	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf	K, B, S	C-E
6	Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachwärmeabfuhrbetriebs	K, B, S	C-E
7	Notstromfall länger als 2 Stunden	R, K, S	A-E

Repräsentative Ereignisse in SWR-Anlagen:

SWR-Ereignisse			
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel^{*)}	Phase^{*)}
1	Fehlfunktion mit Anstieg des Füllstands im Reaktordruckbehälter oder fehlerhaftes Einspeisen durch betriebliche Systeme oder durch Sicherheitssysteme und Unverfügbarkeit von Begrenzungseinrichtungen	R B	A-C
2	Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen	K	C-D
3	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E
4	Fehlerhaftes Ausfahren eines Steuerstabs beim Abschaltstest	R, K	E
5	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem	K	C-E
6	Leck am Flutkompensator	K, S	D-E
7	Leck am Boden des Reaktordruckbehälters durch fehlerhaftes Ziehen einer Pumpenwelle oder durch Arbeiten an Steuerstabantrieben oder Messlanzen	K, S	E
8	Notstromfall länger als 2 Stunden	R, K, S	A-E

^{*)} ... Zur Festlegung der Phasen und der Schutzziele siehe folgende Tabellen.

Betriebsphase	Definition
A	Leistungsbetrieb über die Hauptwärmesenke. Die Betriebsphase umfasst alle Lastzustände der Anlage.
B	Anfahren bzw. Abfahren der Anlage mittels Haupt- oder Ersatzwärmesenke.
C	Nachkühlbetrieb mit dem nuklearen Nachkühlsystem bei druckdicht verschlossenem Primärkreislauf / Reaktorkühlsystem.
D	Nachkühlbetrieb mit dem nuklearen Nachkühlsystem bei nicht druckdicht verschlossenem Primärkreislauf / Reaktorkühlsystem. Flutraum / Absetzbecken nicht oder nur teilweise geflutet.
E	Nachkühlbetrieb bei vollständig geflutetem Flutraum / Absetzbecken.
F	Brennelementkühlung im Brennelement-Lagerbecken bei vollständig ausgeladenem Kern und vom Flutraum / Absetzbecken getrenntem Brennelement-Lagerbecken.

Schutzziele:

- R ... Kontrolle der Reaktivität
- K ... Kühlung der Brennelemente
- B ... Einschluss der radioaktiven Stoffe
- S ... Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele

Bis auf das Ereignis „Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale“ handelt es sich bei den ausgewählten Ereignissen um Ereignisse der Sicherheitsebene 3. Das Ereignis „Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale“ ist in deutschen Kernkraftwerken mehrfach vorgekommen, weshalb das Ereignis in die Sicherheitsebene 2 (zu erwartende Ereignisse) eingestuft wurde /SIK 09/. Das Ereignis wurde für die Untersuchung im Rahmen dieses Vorhabens ausgewählt, da es in /GRS 03/ den höchsten Beitrag zur Gesamthäufigkeit von Gefährdungszuständen lieferte.

In den folgenden Abschnitten 3.3 und 3.4 werden die ausgewählten Ereignisabläufe beschrieben und hinsichtlich der Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen analysiert. Dabei wurden die in /SIK 09/ vorgeschlagenen Nachweiskriterien zugrunde gelegt. D. h., für Phasen mit geschlossenem RDB gelten für das Schutzziel „Kühlung der

Brennelemente“ die gleichen Nachweiskriterien wie im Leistungsbetrieb (Brennstabilität, ausreichende Kühlbarkeit der Brennelemente). Für Phasen mit offenem RDB ist die ständige Bedeckung der Brennelemente mit Kühlmittel nachzuweisen. Zu den Nachweiskriterien siehe Anhang A.

Das Fazit nach jeder Ereignisablaufanalyse hat generischen Charakter. D. h., die gezogenen Schlussfolgerungen enthalten aus unserer Sicht wichtige Anforderungen an Prozeduren und Festlegungen des BHB, die für alle Anlagen dieses Typs relevant sind, unabhängig davon ob diese Anforderungen im BHB der betrachteten Referenzanlage bereits umgesetzt wurden.

3.3 Ereignisse in DWR-Anlagen

Die dargestellten Ereignisabläufe beziehen sich exemplarisch auf die Anlage GKN-2 und basieren auf den Untersuchungen aus den Vorhaben SR2274 und SR2383 /GRS 03/. In den Ereignisablaufbeschreibungen wird das der GRS vorliegende BHB (Stand 25.9.2007) zu Grunde gelegt. Dies betrifft die entsprechend den Sicherheitsspezifikationen bereitzuhaltenden Sicherheitseinrichtungen und die vorhandenen Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen.

3.3.1 Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen Reaktorkühlkreislauf (RKL) (Phase C):

Wird der Füllstand im Druckhalter bei noch angekoppeltem Reaktorschutz gesenkt, so muss zuvor die Anregung des Grenzwertes „Druckhalterfüllstand < 2,28 m“ überbrückt werden. Wird diese Überbrückung unterlassen oder durch eine Fehlhandlung aufgehoben, so werden bei Unterschreiten dieses Druckhalterfüllstandes die 2 v 3 HD-Kriterien ausgelöst und die zugehörigen Reaktorschutzmaßnahmen angeregt.

Dies ist in deutschen Kernkraftwerken mehrfach vorgekommen, weshalb das Ereignis in die Sicherheitsebene 2 eingestuft wird. Das Ereignis wurde in /GRS 03/ untersucht und lieferte dort den höchsten Beitrag zur Gesamthäufigkeit von Gefährdungszuständen.

Das Reaktorschutzsystem reagiert auf die Auslösung der 2 v 3 HD-Kriterien, die laut Anlagenauslegung einen Kühlmittelverlust repräsentieren, zunächst mit Auffüllen und mit Absperren des RKL. Die EIN-Signale für die Hochdruck-Sicherheitseinspeisung und die Öffnungssignale für die Druckspeicher haben keine Wirkung, da diese in dieser Phase elektrisch freigeschaltet sind. Durch das Primärkreisabschlusssignal werden die Erstabsperren der heißseitigen Einspeiseleitungen geschlossen und so die Saugleitungen der Nachkühlstränge abgesperrt. Damit ist die Nachwärmeabfuhr ausgefallen.

Durch das Flutsignal 1 werden die drei verfügbaren Nachkühlstränge in Funktion Fluten mit einer Förderleistung von ca. 900 kg/s gestartet. Durch die Einspeisung wird das bis zu diesem Zeitpunkt im Rahmen des Abfahrens aufgebrauchte Stickstoffpolster im Druckhalter so weit komprimiert, bis der Druck im Primärkreis die Nullförderhöhe der Nachkühlpumpen von ca. 120 m erreicht. Dieser Vorgang dauert etwa 4 min. Danach laufen die Pumpen im Mindestmengenbetrieb.

Bei Überschreiten des Druckes von 0,9 MPa im Primärkreis werden die Zusatzborierpumpen (JDH) gestartet. Das hierfür erforderliche zweite Anregekriterium „Druckhalterfüllstand < 2,28 m“ steht zwar infolge der Einspeisung mit den Nachkühlpumpen nicht mehr an, ist aber noch gespeichert. Es wird angenommen, dass alle drei (Mindestverfügbarkeit entsprechend BHB) verfügbaren JDH-Pumpen mit einem Massenstrom von zusammen 6 kg/s in den Primärkreis einspeisen, wodurch Füllstand und Druck im Druckhalter weiter steigen. Die Volumenausdehnung des Kühlmittels durch die Nachwärmeleistung entspricht einer Einspeisung von ca. 4 kg/s. Werden innerhalb von ca. 40 min die JDH-Pumpen von Hand abgeschaltet und wird nach Rücksetzen der Notkühlkriterien die Nachwärmeabfuhr wieder zugeschaltet, ist der Ereignisablauf beherrscht.

Ohne Abschalten der JDH-Pumpen steigt der Druck über 3,7 MPa und die primärseitige Nachwärmeabfuhr kann nicht wieder eingerichtet werden. Die Nachwärme wird dann automatisch über den in Bereitschaft stehenden Dampferzeuger sekundärseitig abgeführt. Die laufenden JDH-Pumpen führen zu einem Druckanstieg im Primärkreis, bis bei 15,0 MPa die Überströmventile im JDH-System den Druck begrenzen.

Werden die Zusatzborierpumpen nicht abgeschaltet und fällt eines der Rückströmventile im JDH-System aus, wird bei Erreichen von ca. 16,4 MPa nach etwa 1:40 h durch die Kühlmittel-Massen-, -Druck- und -Temperaturgradienten-Begrenzung (MADTEB) das Abblaseventil des Druckhalters geöffnet. Durch das Öffnen des Druckhalter-Abblaseventils wird der Stickstoff so lange in den Abblasebehälter entspannt, bis nach einer Druckabsenkung um 0,5 MPa das Abblaseventil wieder schließt. Wird das Zusatzboriersystem nicht von Hand abgeschaltet, wird sich dieser Vorgang so oft wiederholen, bis das gesamte Stickstoffinventar vom Druckhalter in den Abblasebehälter übergeströmt ist. Bei einem Druck von ca. 1,4 MPa versagen die Berstscheiben im Abblasebehälter und der Stickstoff entspannt sich in den Sicherheitsbehälter. Im weiteren Verlauf wird Primärkühlmittel über die Abblasestation in den Abblasebehälter gefördert und gelangt von dort in den Sicherheitsbehälter. Der Druck wird durch die MADTEB bei

16,4 MPa gehalten und die Nachwärme automatisch über den in Bereitschaft stehenden Dampferzeuger sekundärseitig abgeführt.

Bei Versagen der MADTEB oder des Abblaseventils steigt der Druck im RKL bis zur Anforderung der Druckhalter-Sicherheitsventile. Diese werden gestaffelt bei 16,9 MPa und bei 17,5 MPa geöffnet und nach einer Druckabsenkung um 0,8 MPa wieder geschlossen. Bei diesen Druckverhältnissen kann die Nachwärme nur über den Dampferzeuger abgeführt werden.

Werden die Notkühlkriterien nicht zurückgesetzt, bleiben die Erstabsperungen verriegelt. Die primärseitige Nachwärmeabfuhr kann nicht wieder in Betrieb genommen werden. Die Nachwärme muss über den Dampferzeuger abgeführt werden. Weiterhin ergeben sich analoge Abläufe zu den zuvor beschriebenen.

Ein Ausfall der Dampferzeugerbespeisung oder der Frischdampfabgabe führt, je nach Druckniveau, in unterschiedlichen Zeiten zur Kernfreilegung; bei den Abläufen mit funktionierender MADTEB oder funktionierender Druckbegrenzung über JDH-Rückströmventile nach etwa 3 - 5 h, bei Druckbegrenzung über Druckhalter-Sicherheitsventile nach ca. 5 h und bei Ausfall der Druckbegrenzung nach ca. 1 - 2 h.

Die angeregten Reaktorschutzsignale müssen zurückgesetzt und die Zusatzborierpumpen abgeschaltet werden, bevor der Primärkreisdruck 3,7 MPa erreicht. Danach ist der Nachkühlbetrieb mit einer Nachkühlkette fortzusetzen. Dazu stehen ca. 40 min Zeit zur Verfügung. Gelingt es nicht oder nicht rechtzeitig die Zusatzborierpumpen abzuschalten, so muss die Nachwärme bei hohem Druck über den bereitstehenden Dampferzeuger abgeführt werden.

Fazit

Zur Einhaltung der Nachweiskriterien sind Prozeduren im BHB notwendig. Diese müssen u. a. enthalten:

- Rücksetzen der Notkühlkriterien,
- Abschalten der Zusatzborierpumpen,
- Wiedereinrichten des Nachkühlbetriebs.

Durch das Zeitbudget für die Durchführung der Maßnahmen von ca. 40 min. wird das 30-min-Kriterium eingehalten.

Zur Wärmeabfuhr ist ein Dampferzeuger oder mindestens ein Nachkühlstrang erforderlich. In der Sicherheitsebene 2 ist ein Einzelfehler nicht zu unterstellen, so dass die verfügbaren Redundanzen ausreichen, um die Nachweiskriterien einzuhalten.

3.3.2 Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen

Für den $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb wird die Fördermenge der laufenden Nachkühlpumpen auf ca. 70 - 90 kg/s eingedrosselt. Es sind daher 2 Nachkühlstränge erforderlich, um die Temperatur im RKL auf $< 50^{\circ}\text{C}$ zu halten.

Ereignisablauf bei geschlossenem RKL (Phase C)

Bei geschlossenem RKL (Phase C) stehen laut aktuellem BHB T2, K3.1.5 (Abfahrcheckliste) neben den beiden laufenden Nachkühlsträngen ein Dampferzeuger sowie ein Reservenachkühlstrang und eine Notnachkühlpumpe zur Wärmeabfuhr bereit. Für eine zusätzliche Einspeisung sind 6 der 8 Druckspeicher verfügbar.

Die Nachwärme wird bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb über 2 Nachkühlstränge abgeführt. Um den Reaktordeckel abnehmen zu können, senkt man den Füllstand im Primärkreis auf ca. $\frac{3}{4}$ der Hauptkühlmittelleitung ab. Dabei kann durch Ausfall der Füllstandsüberwachung im RKL unbeabsichtigt der Füllstand zu tief abgesenkt werden. Spätestens wenn der Füllstand auf Unterkante-Loop abgefallen ist, werden die Nachkühlpumpen Stickstoff ansaugen und in Kavitation laufen. Über das Kriterium „Durchfluss in der Mindestmengeleitung $< 28 \text{ kg/s}$ “ kommt es zur Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen. Auf der Warte erscheint die Schalterfallmeldung der Nachkühlpumpen. Das Nachkühlsystem wird durch die Abschaltung der Nachkühlpumpen über das Stillstandsprogramm in die Grundstellung (Nachkühlsystem in Flutbereitschaft) gefahren. Die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ist damit ausgefallen.

Beim Ausfall der Nachkühlpumpen schließen die Kolbenrückschlagventile (Zweitabsperrung) in den Saugleitungen des Nachkühlsystems auslegungsgemäß durch die Rückschlagfunktion und die Absperrarmatur vor der ND-Reduzierstation automatisch (Verriegelung). Dadurch ist die Entnahme aus dem RKL beendet. Fallen diese Schließ-

funktionen aus, hat der Operateur noch die Möglichkeit, die 3-Wege-Armatur hinter der ND-Reduzierstation von Kühlmittellagerung auf Volumenausgleichsbehälter umzustellen, um den Kühlmittelverlust aus dem RKL zu unterbinden.

Sind die laufenden Nachkühlpumpen ausgefallen, so muss der Primärkreis zunächst mit der in Bereitschaft stehenden Nachkühlpumpe oder mit einer der abgeschalteten Nachkühlpumpen gemäß BHB T2 K4.13 bis auf den Ausgangszustand (¾-Loop) aufgefüllt werden. Danach müssten die Nachkühlstränge wieder auf Nachkühlfunktion umgeschaltet werden, um das Ereignis zu beherrschen. Die Untersuchungen in /GRS 03/ haben gezeigt, dass die Saugseiten der abgeschalteten Nachkühlstränge entlüftet werden müssen, bevor diese wieder für den Nachkühlbetrieb zugeschaltet werden können. In der Prozedur für diesen Störfall sollte daher das notwendige Entlüften der Saugseite der Nachkühlstränge beschrieben sein. Ansonsten sind die nach Kavitation abgeschalteten Nachkühlstränge als nicht verfügbar zu bewerten. Verfügbar bleibt dann nur die Reservepumpe. Fällt diese durch einen Einzelfehler aus, heizt sich der RKL auf und die Nachwärme wird über den bereitgehaltenen Dampferzeuger abgeführt. Bei funktionierender Wärmeabfuhr über den Dampferzeuger wird es wegen des nicht vollständig aufgefüllten Primärkreises durch Reflux-Condenser-Betrieb zu einer Verdünnung der Borkonzentration im Kühlmittel kommen. Deionat kann sich auf der kalten Seite der Dampferzeuger in den Pumpenbögen ansammeln. Dieser Deionatpfropfen könnte im Verlauf des Störfalls in den Kerntransportiert werden und dort zu einer örtlichen Rekritikalität führen.

In der Phase C stehen für das Auffüllen und die Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr durch den Reservenachkühlstrang ca. 2 Stunden zur Verfügung. In diesem Zeitraum steigt die Temperatur im RKL, auch bei funktionierender Wärmeabfuhr mit dem Dampferzeuger, über 180 °C, wodurch die Erstabsperrungen des Primärkreises JNA12-42 AA002 verriegelt werden. Eine primärseitige Wärmeabfuhr ist dann nicht mehr möglich. Gelingen die oben beschriebenen Maßnahmen zur Wiederherstellung der primärseitigen Nachwärmeabfuhr und zum Auffüllen des Primärkreises nicht, bildet sich innerhalb von 4 h ein entborierter Bereich im Dampferzeuger bzw. im Pumpenbogen aus. Unter der Voraussetzung, dass ein Dampferzeuger gefüllt in Bereitschaft steht, steht für die durchzuführenden Maßnahmen ausreichend Zeit zur Verfügung (2 h). Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

Ereignisablauf bei offenem RKL (Phase D)

Bei geöffnetem RKL (Phase D) steht der Dampferzeuger nicht mehr für die Wärmeabfuhr zur Verfügung. Nach Ausfall der Nachkühlpumpen durch den Füllstandsabfall kommt es zügig zum Aufheizen des Kühlmittels und zur Verdampfung von Kühlmittel in den Sicherheitsbehälter. Nach ca. 40 Minuten ist der Füllstand im RDB bis auf die Kernoberkante abgefallen (Annahmen: 23 MW Nachtzerfallsleistung, 23 m³ Kühlmittel über dem Kern, wenn der Füllstand zuvor fälschlich bis auf Unterkante Loop abgefallen war).

Nach dem Ausfall der Nachkühlpumpen muss unverzüglich der Primärkreis bis auf $\frac{3}{4}$ -Loop aufgefüllt werden. Dazu können der Reservestrang, die Druckspeicher oder die schutzabgeschalteten Nachkühlstränge genutzt werden.

Anschließend muss der Reservenachkühlstrang auf Nachkühlbetrieb umgeschaltet werden. Bei einem Einzelfehler im Reservenachkühlstrang muss einer der schutzabgeschalteten Nachkühlstränge entlüftet und danach für den Nachkühlbetrieb zugeschaltet werden.

Da für diesen Ereignisablauf aber nur relativ wenig Zeit für Gegenmaßnahmen zur Verfügung steht (40 Minuten) ist eine geeignete Prozedur erforderlich.

Fazit

Zur Beherrschung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls bei Mitte-Loop-Betrieb bei offenem und geschlossenem RKL mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen stehen in den betrachteten Phasen mehr als 30 Minuten für Personalhandlungen zur Verfügung. Zur Einhaltung der Nachweiskriterien sind Prozeduren erforderlich, mit denen:

- bei geschlossenem RKL die Füllstandsanhhebung bis in den Druckhalterbereich vorgeschrieben wird, um eine Deionatanreicherung im Falle eines Reflux-Condenser-Betriebes zu verhindern,
- der RKL bei geöffnetem RDB unverzüglich wiederaufgefüllt und
- die Entlüftung von Nachkühlsträngen im Störfall durchgeführt werden kann.

Ohne diese Prozeduren müsste ein weiterer Reservestrang in Bereitschaft gehalten werden, um die Nachweiskriterien einzuhalten, da die nach Kavitation abgeschalteten Nachkühlstränge als nicht verfügbar zu bewerten wären.

3.3.3 Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette

Für den $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb wird die Fördermenge der laufenden Nachkühlpumpen auf ca. 70 - 90 kg/s eingedrosselt. Es werden daher 2 Nachkühlstränge betrieben, um die Temperatur im RKL auf $< 50^{\circ}\text{C}$ zu halten. In der Phase E (Flutraum geflutet) ist ein Nachkühlstrang für die Nachwärmeabfuhr ausreichend.

Ereignisablauf bei geschlossenem RKL (Phase C)

Die Nachwärme wird bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb über 2 Nachkühlstränge abgeführt. Fällt ein Nachkühlstrang aus, und legt man den Einzelfehler nicht auf den zweiten laufenden Nachkühlstrang, so kann dieser allein die anfallende Nachwärme abführen, falls der bereitzuhaltende Reservestrang durch einen Einzelfehler unverfügbar ist. Die Temperatur im RKL wird sich aber deutlich über 50°C erhöhen. Bei angenommenen 24 MW im Reaktorkern (frühester Zeitpunkt für das Erreichen von $\frac{3}{4}$ -Loop /GRS 06, Seite 6-2/) und einer Fördermenge der verbliebenen laufenden Nachkühlpumpe von 90 kg/s würde sich das durch den Kern geförderte Kühlmittel um ca. 64 K ($\Delta T = Q / m / c$) aufheizen. Das für die Sicherheitsebene 3 relevante Nachweisziel „Brennstabintegrität“ ist nicht gefährdet.

Legt man den Einzelfehler auf den zweiten laufenden Nachkühlstrang, so ist die Nachwärmeabfuhr zunächst ausgefallen. Mit einem in Reserve stehenden Nachkühlstrang oder mit Druckspeichern muss der RKL bis auf einen Druckhalterfüllstand > 3 m aufgefüllt werden. Die Nachwärmeabfuhr kann mit dem Reservenachkühlstrang oder über den Dampferzeuger erfolgen. Die Redundanzanforderungen an die Sicherheitseinrichtungen sind sowohl für das Auffüllen als auch für die Nachwärmeabfuhr erfüllt. Soll die Nachwärmeabfuhr nur über den bereitstehenden Dampferzeuger (Reflux-Condenser-Betrieb) erfolgen, ist eine Prozedur zu Erstellen, die das Wiederauffüllen des RKL bis in den Druckhalterbereich vorschreibt, um ein Deborierung des Primärkühlmittels zu verhindern.

Für diese Maßnahmen (Auffüllen und Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr durch den Reservenachkühlstrang) stehen 2 Stunden zur Verfügung. In diesem Zeitraum steigt die Temperatur im RKL, auch bei funktionierender Wärmeabfuhr mit dem Dampferzeuger, über 180 °C, wodurch die Erstabsperrungen des Primärkreises JNA12-42 AA002 verriegelt werden. Eine primärseitige Wärmeabfuhr ist dann nicht mehr möglich. Gelingen die oben beschriebenen Maßnahmen zur Wiederherstellung der primärseitigen Nachwärmeabfuhr und zum Auffüllen des Primärkreises nicht, bildet sich innerhalb von 4 h ein entborierter Bereich im Dampferzeuger bzw. im Pumpenbogen aus.

Für die durchzuführenden Maßnahmen steht also bei einem gefüllten Dampferzeuger ausreichend Zeit (2 h) zur Verfügung. Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

Ereignisablauf bei offenem RKL (Phase D)

Auch bei geöffnetem RDB wird die Nachwärme bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb über 2 Nachkühlstränge abgeführt. Fällt ein Nachkühlstrang aus und legt man den Einzelfehler nicht auf den zweiten laufenden Nachkühlstrang (sondern auf den in Bereitschaft stehenden Reservenachkühlstrang), so wird es zu einer erheblichen Temperaturerhöhung im Primärkreislauf kommen. In Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur kann es zum Sieden und zur Dampffreisetzung in den Sicherheitsbehälter kommen, siehe Abschätzung im vorangegangenen Kapitel.

Die Verdampfungsverluste können durch Druckspeichereinspeisungen (mindestens 6 Druckspeicher sind in dieser Phase in Bereitschaft) ergänzt werden oder dadurch dass der laufende Nachkühlstrang zeitweise in Flutbetrieb genommen wird. Das in /SIK 09/ vorgeschlagene Nachweisziel für die Phasen D und E „Aufrechterhaltung der Brennelementbedeckung“ wäre nicht gefährdet.

Legt man den Einzelfehler auf den zweiten laufenden Nachkühlstrang, so ist die Nachwärmeabfuhr zunächst ausgefallen. Mit dem in Reserve stehenden Nachkühlstrang oder mit Druckspeichern kann der RKL aufgefüllt werden. Für die Nachwärmeabfuhr muss dann der Reservenachkühlstrang in Betrieb genommen werden. Die Redundanzenanforderungen an die Sicherheitseinrichtungen wären erfüllt.

Die Zeit bis zum Beginn einer Kernfreilegung beträgt bei totalem Ausfall der Nachwärmeabfuhr im $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb bei offenem RDB ca. 90 Minuten (23 MW Nachzerfalls-

leistung, 53 m³ Kühlmittel über dem Kern). D. h., für die durchzuführenden Maßnahmen (Fluten, Inbetriebnahme des Reservestranges) steht ausreichend Zeit zur Verfügung. Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

Ereignisablauf bei gefülltem Flutraum (Phase E)

Solange sich Brennelemente im Reaktor befinden, sind 2 Nachkühlstränge in Betrieb, wobei einer für die Nachwärmeabfuhr ausreichend ist. Die beiden anderen Nachkühlstränge / Redundanzen sind in der Regel für Revisionsarbeiten freigeschaltet. Ein Notnachkühlstrang ist in Bereitschaft. Fällt der laufende Nachkühlstrang aus und unterstellt man den Einzelfehler im zweiten laufenden Nachkühlstrang, so ist die Nachwärmeabfuhr ausgefallen.

Betrifft das auslösende Ereignis oder der Einzelfehler eine Nachkühlpumpe der Stränge 1 oder 4, so kann der Ausfall durch Inbetriebnahme der Notnachkühlpumpe ersetzt werden. Ein Ausfall der Nachkühlstränge 1 oder 4 ist jedoch bei einem Einzelfehler einer Armatur (z. B. Nachkühlregelventil) möglich.

Bei einer Nachzerfallsleistung von 16 MW (5 Tage nach Abschaltung), einem Kühlmittelinventar von ca. 1550 m³ in Flutraum, Absetzbecken und RKL sowie einer Kühlmitteltemperatur von 40°C vergehen bei vollständigem Ausfall der Nachwärmeabfuhr ca. 4½ h bis die Auslegungstemperatur von 80°C für die Flutraumauskleidung erreicht ist. Nach ca. 6¾ h hat sich das gesamte Kühlmittel auf 100°C aufgeheizt und die Nachwärme wird durch Verdampfung abgeführt. Ohne Wiederherstellung des Nachkühlbetriebs würden ca. 55 Stunden vergehen, bis das Nachweisziel für die Phasen D und E „Aufrechterhaltung der Brennelementbedeckung“ gefährdet ist.

Gemäß /SIK 09/ Modul 10, Abs. 1.1.2. (2) wäre nachzuweisen, dass innerhalb von 10 Stunden ein ausgefallener oder ein in Revision befindlicher Nachkühlstrang zuverlässig wiederhergestellt werden kann, um den Nachkühlbetrieb wieder einzurichten. Falls Arbeiten im Sicherheitsbehälter, z. B. an Armaturen, erforderlich sind, ist nachzuweisen, dass diese auch bei den durch die Kühlmittelverdampfung erschwerten Bedingungen durchführbar sind.

Offene Frage: Die Auskleidungen für Flutraum und Absetzbecken sind nur für 80°C ausgelegt. Diese Temperatur wird entsprechend der obigen Abschätzung nach ca. 4½ Stunden erreicht. Es müsste nachgewiesen werden, dass es bei höheren Kühlmittel-

temperaturen im Flutraum nicht zu einem Integritätsverlust der Flutraum- bzw. Absetzbeckenauskleidung kommt oder innerhalb der oben genannten Zeitspanne von ca. 4½ die Nachkühlung wiederhergestellt werden kann.

Fazit

Für den Ausfall eines in Betrieb befindlichen Nachkühlstranges inklusive Kühlkette sind für die Einhaltung der Nachweiskriterien geeignete Prozeduren erforderlich. Bei geschlossenem RDB und Nachwärmeabfuhr über einen Dampferzeuger muss der RKL wiederaufgefüllt werden, um Deborierungen zu vermeiden.

Zur Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums ist in allen Phasen die Bereitschaft eines Reservestrangs zur Nachwärmeabfuhr und ggf. zur Kühlmittelergänzung erforderlich. Sehr nützlich ist das Bereithalten von Druckspeichern zum Wiederauffüllen des RKL.

Für die Phase E ist sicherzustellen, dass ein ausgefallener oder ein in Revision befindlicher Nachkühlstrang in einem Zeitraum von ca. 30 Stunden zuverlässig wiederhergestellt werden kann.

Offen ist derzeit die Frage, ob es bei längerem Sieden des Kühlmittels im Flutraum zu einem Integritätsverlust der Flutraum- bzw. Absetzbeckenauskleidung kommen kann.

3.3.4 Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt, mit Ausfall der Begrenzungen bzw. vorgelagerter Maßnahmen

Fälschliche Deionateinspeisungen in den Reaktorkühlkreislauf (RKL) führen zu einer Verringerung der Borkonzentration des Primärkühlmittels und damit zu einer Reaktivitätszufuhr. Der damit verbundene Leistungsanstieg kann bei Versagen der Vorkehrungen zur Erkennung solcher fälschlichen Deionateinspeisungen zu Kernschäden führen.

Durch fälschliche Deionateinspeisungen sind homogene oder heterogene Deborierungen des Kühlmittels im RKL möglich. Zu einer homogenen Deborierung kommt es, wenn das eingespeiste Deionat durch laufende Hauptkühlmittelpumpen oder Nachkühlpumpen mit dem Primärkühlmittel vermischt wird. Die Borkonzentration im RKL verringert sich dann gleichmäßig und kontinuierlich. Eine heterogene Deborierung des Primärkühlmittels tritt ein, wenn Deionat in bestimmte nicht durchströmte Rohrleitungs-

abschnitte des Primärkreises oder anschließender Rohrleitungen eingespeist wird und sich dort ansammelt. Solche Bereiche sind beispielsweise der Pumpenbogen einer Hauptkühlmitteleitung oder eine Nachkühlleitung. Ein solcher Deionatpfropfen kann dann durch Einschalten der entsprechenden Hauptkühlmittelpumpe bzw. der Nachkühlpumpe mobilisiert und in den Reaktorkern eingetragen werden.

Eine Vielzahl von Szenarien kann im Nichtleistungsbetrieb zum Eintrag von Deionat oder minderboriertem Kühlmittel in den RKL führen. In /GRS 03/ wurden systematisch die Möglichkeiten für einen Deionateintrag in den RKL während des Nichtleistungsbeetriebs untersucht. Neue Versuche des Forschungszentrums Dresden Rossendorf (Versuchsanlage ROCOM) zeigten, dass einzelne in /GRS 03/ betrachtete Szenarien eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung haben. Dies betrifft den Eintrag von Deionatpfropfen aus dem Hauptkühlmittelpumpenbogen beim Start einer Hauptkühlmittelpumpe beim Wiederauffahren und den Eintrag eines Deionatpfropfens aus einem Nachkühlstrang beim Start einer Nachkühlpumpe.

Aus der Vielzahl der in /GRS 03/ untersuchten Szenarien sollen im Rahmen dieser Untersuchung die folgenden Szenarien betrachtet werden:

1. Fälschliche Deionateinspeisung in den RKL aus dem Volumenregelsystem beim Wiederauffüllen des RKL nach $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb
2. Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat

3.3.4.1 Fälschliche Deionateinspeisung in den RKL aus dem Volumenregelsystem beim Wiederauffüllen des RKL nach $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb

Nachdem der RKL nach dem Brennelementwechsel druckdicht verschlossen wurde, wird er vom $\frac{3}{4}$ -Loop-Niveau aus mit dem Volumenregelsystem aufgefüllt. Bei der Befüllung wird durch die Einspeisekonzentrationsüberwachung (EIKO) in der Steuerstabs-Einfahrtbegrenzung (STAFAB) sichergestellt, dass aus dem Borsäure-/ Deionateinspeisesystem Borsäure mit der Konzentration C-Brennelementwechsel (C-BW) eingespeist wird. Bei einem Fehler in der EIKO kann es im ungünstigen Fall zu einer reinen Deionateinspeisung und damit zu einer kontinuierlichen Abnahme der Borkonzentration im RKL kommen (homogene Deborierung).

Bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb befinden sich noch ca. 210 m³ Kühlmittel mit der Borkonzentration C-BW im RKL und es müssen weitere ca. 190 m³ bis zu einem Druckhalter-Füllstand von > 4 m eingespeist werden. Der RKL wird über die DH-Hilfssprühleitung gefüllt. Das Kühlmittel wird zunächst aus dem Volumenausgleichsbehälter entnommen. Anschließend erfolgt automatisch die Kühlmittelergänzung aus dem KBC-System (Borsäureeinspeisung).

Um eine mögliche Deborierung bei einem Ausfall der EIKO zu verhindern werden folgende Vorkehrungen getroffen (BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5):

- Das Borsäuremessgerät KUA 15 CQ 001 ist auf einen der laufenden Nachkühlstränge durchgeschaltet, die Überwachung der Borsäurekonzentration im RKL erstreckt sich über die gesamte Anfahrphase
- Die Impulsbereichsanzeige (Neutronenflussmessung) ist zu beobachten. Die Impulsrate darf nicht ansteigen. Bei einem Anstieg ist die Kühlmittelspeisung zu unterbrechen und Ursache festzustellen
- Die eingespeiste Borkonzentration ist anhand des Massenstroms der Borsäure- und der Deionateinspeisung abzuschätzen
- Während des Befüllens sind Handmessungen der eingespeisten Borsäurekonzentration vorzunehmen. Die 1. Probe 5 min nach Beginn des Füllens und dann weiter alle 30 min eine Probe

Fazit:

Auch bei Ausfall einer Messeinrichtung durch einen Einzelfehler stehen genügend Messeinrichtungen zur Verfügung, um eine Borverdünnung jederzeit zuverlässig erkennen zu können. Der Füllvorgang von $\frac{3}{4}$ Loop bis zu einem DH-Füllstand von 7 m dauert insgesamt ca. 1 $\frac{1}{2}$ Stunden (2 HD-Einspeisepumpen speisen ein, keine Entnahme, BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5/33). Die mögliche Borsäureverdünnung verläuft so langsam, dass ausreichend Zeit für die Problemerkennung zur Verfügung steht.

3.3.4.2 Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat

Im Zuge einer Nach- oder Neubefüllung eines Flutbehälters/Flutbeckens könnte dieser durch Fehler im Borsäure- und Deionateinspeisesystem fälschlich mit Deionat befüllt werden.

Für den BE-Wechsel werden nach dem Abnehmen des Reaktordruckbehälterdeckels 2 Flutbehälter in den Flutraum eingespeist, um das Niveau im Flutraum mit dem des BE-Lagerbeckens anzugleichen. Wird die fälschliche Befüllung eines Flutbehälters mit Deionat nicht rechtzeitig erkannt, so kann das Inventar dieses Flutbehälters beim Fluten des Flutraumes in den Kern eingespeist werden.

Bei der Befüllung von Flutbecken ist nach Prozedur im BHB vorzugehen (BHB T4, Kap. 2.4, Abs. 9). Das Mischungsverhältnis Deionat-/Borsäure wird nach den Vorgaben des Teilbereiches Chemie an den Einspeisearmaturen für Deionat und Borsäure von Hand eingestellt.

Um eine mögliche Deborierung zum Beispiel bei einem Ausfall der Borsäuredurchflussmessung zu verhindern werden folgende Vorkehrungen getroffen (BHB T4, Kap. 2.4, Abs. 9):

- 2 min nach Beginn der Befüllung ist aus der Einspeiseleitung zu den Flutbehältern durch den Teilbereich Chemie von Hand eine Probe zu entnehmen, um die Konzentration der eingespeisten Borsäure zu überprüfen
- Unmittelbar nach jeder Füllstandsergänzung ist der Inhalt des jeweiligen Flutbeckens umzuwälzen und dann durch den Teilbereich Chemie eine Probe zu ziehen (Überwachung der erforderlichen Borsäurekonzentration gemäß BHB Teil 4-2.17). Die Umwälzzeit soll mindestens 3 Stunden betragen.
Alternativ kann eine vorausgehende Umwälzung dann entfallen, wenn eine Höhenstands-Probenahme erfolgt. Dabei ist in Abständen von 2 m jeweils eine Probe zu ziehen um so mögliche Inhomogenitäten zu erfassen.

Fazit:

Entsprechend der Definition des zu betrachtenden Ereignisses sind ein Fehler der zur Einspeisung von Deionat in das Flutbecken führt und das Versagen einer vorgelagerten Maßnahme zur Erkennung dieser Fehleinspeisung zu unterstellen. Als Auslösendes Ereignis kann ein Versagen der Durchflussmessung für die Borsäure oder eine Armaturenfehlstellung (Beispiel meldepflichtiges Ereignis vom 27.08.2001 in KKP-2) angenommen werden. Als Ausfall der vorgelagerten Maßnahme zur Fehlererkennung ist dann ein Fehler bei der Probenahme aus der Einspeiseleitung anzusetzen. Als letzte Vorkehrung bleibt somit die Probenahme nach der vollständigen Befüllung. Die dreimonatliche Probenahme aus den Flutbecken im Rahmen der WKP wird nicht be-

rücksichtigt, da ein falsch befüllter Behälter unter Umständen bis zu 3 Monate nicht entdeckt wird.

Aufgrund dieser Überlegungen erscheint es sinnvoll eine weitere, möglichst automatische Erkennungs- bzw. Vorsorgemaßnahme zu implementieren, um bei diesem Ereignis den Einzelfehler zu beherrschen.

3.3.5 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf

Die Ereignisabläufe beim Leck im Sicherheitsbehälter unterscheiden sich von denen beim Leck im Ringraum dadurch, dass eine Leckortung im Sicherheitsbehälter nur vor Ort möglich ist.

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C):

Es wird angenommen, dass sich die Anlage im Nachkühlbetrieb mit zwei Nachkühlsträngen (Redundanzen 1 und 3) und sich der Füllstand auf „Mitte-Loop“ befindet. Ein weiterer Nachkühlstrang befindet sich in Flutbereitschaft.

Durch eine Fehlhandlung bei Instandhaltungsmaßnahmen kann ein Leck sowohl auf der Druck- als auch auf der Saugseite des Nachkühlstranges auftreten. Wird unterstellt, dass ein Leck im Nachkühlstrang JNA10 mit z. B. 25 cm² und einer Leckrate von ca. 40 kg/s auftritt, dauert es etwa 12 min, bis der Füllstand von Mitte-Loop bis auf Unterkante-Loop abgesunken ist. Es kommt daraufhin zum Ansaugen von Gas (N₂), wodurch die Nachkühlpumpen über den Grenzwert „Durchfluss < 28 kg/s“ schutzabgeschaltet werden. Mit dem Schutz-Aus-Signal werden die abgeschalteten Nachkühlstränge auf Grundstellung für Fluten umgestellt und die Erst- und Zweitabsperrrmaturen auf der Saugseite werden geschlossen. Tritt das Leck auf der Druckseite auf, wird es über die Rückschlagfunktion der Erst- und Zweitabsperrrung abgesperrt. Die Leckabsperrrung ist in beiden Fällen „einzelfehlerfest“.

Laut BHB T2 K4.13 erfolgt das Anheben des Kühlmittelinventars bis auf Ausgangsfüllstand $\frac{3}{4}$ -Loop mit dem zweiten, zuvor abgeschalteten Nachkühlstrang oder mit dem Reservestrang. Nach dem Auffüllen wird entweder der Reservestrang auf Nachkühlfunktion umgeschaltet oder der zuvor abgeschaltete Strang entlüftet und ebenfalls auf Nachkühlfunktion umgeschaltet. In der Phase C steht neben den Nachkühlsträngen ein

Dampferzeuger zur Nachwärmeabfuhr bereit. Um eine Rekritikalität durch Reflux-Condenser-Betrieb zu verhindern und um den Dampferzeuger im Naturumlauf nutzen zu können, müsste eine Prozedur das Fluten bis zum Druckhalterfüllstand > 3 m vorschreiben. Fällt die Dampferzeugerbespeisung oder die FD-Abgabe aus, müsste mit einer Prozedur ein Zeitfenster für die Inbetriebnahme der primärseitigen Nachwärmeabfuhr festgelegt werden, bevor der Druck oder die Temperatur im RKL über die Grenzwerte für die Verriegelung der Erstabsperungen ansteigt.

Bezüglich des Flutens besteht ein Unterschied, ob das Leck auf der Saug- oder auf der Druckseite angenommen wird. Ist das Leck auf der Saugseite des Nachkühlstranges, kann auch mit dem Leckstrang geflutet werden. Da das Saugen aus dem Flutbecken in diesem Fall nicht vom Leck tangiert wird. Beim Leck auf der Druckseite hängt es von der Größe ab, ob das Leck überspeist werden kann oder nicht. Konservativ kann angenommen werden, dass bei einem Leck auf der Druckseite dieser Strang auch für das Fluten ausfällt.

Unter der Voraussetzung, dass die oben erwähnten Prozeduren für Fluten bis Druckhalterfüllstand 3 m und Entlüften eines schutzabgeschalteten Nachkühlstranges verfügbar sind, ist das Einzelfehlerkriterium sowohl für das Fluten als auch für die Nachwärmeabfuhr erfüllt.

Da ohne Gegenmaßnahmen die Kernfreilegung frühestens nach 1 h 10 min eintritt, stehen mehr als 30 Minuten für Personalhandlungen zur Verfügung.

Unterstellt man, dass fälschlich durchgeführte Arbeiten an Armaturen zwischen der Erst- und Zweitabsperung, z. B. an der Entlastungsleitung oder der Prüfleitung, zu einem Leck geführt haben, so wäre ein Kühlmittelverlust aus dem RKL nur noch durch Schließen der zugehörigen Erstabsperung zu beenden. Schließt die Erstabsperarrmatur nicht, läuft das Kühlmittel aus dem RKL in den Sicherheitsbehältersumpf.

In diesem Fall muss über einen längeren Zeitraum geflutet werden, um den Füllstand im RKL bis in den Druckhalterbereich hinein zu halten. Das Wasser läuft in den Sicherheitsbehälter-Sumpf und muss von dort zurückgefördert werden. Um das Wasser nicht aus dem Sumpf zu verlieren, müssen die bei Arbeiten an den Sumpfarmaturen entstehenden Öffnungen vorsorglich verschlossen werden. Ein Nachkühlstrang kann für das Fluten und den anschließenden Sumpfumwälzbetrieb genutzt werden und ein weiterer für die Nachwärmeabfuhr.

Fazit:

Um die Nachweiskriterien erfüllen zu können, ist für die Phase mit geschlossenem RKL

- eine Prozedur zur Entlüftung eines durch Luftansaugen abgeschalteten Nachkühlstrangs vorzusehen oder für die Nachwärmeabfuhr zwei Reservestränge vorzuhalten oder
- eine Prozedur vorzusehen, die das Auffüllen des RKL bis über Druckhalterfüllstand 3,0 m vorschreibt. (Durch diese Maßnahme könnte die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr im Naturumlauf durchgeführt werden, ohne dass es zu einer Deborierung im RKL kommt. Somit wäre das Einzelfehlerkriterium für die Nachwärmeabfuhr erfüllt.)

Für die Systemfunktion „Auffüllen“ ist das Einzelfehlerkriterium je nach Lecklage ohne zusätzliche Anforderungen erfüllt, da bei der Lecklage auf der Saugseite auch mit dem Leckstrang eingespeist werden kann. Es stehen somit neben dem intakten Strang der Leckstrang und der Reserve-Nachkühlstrang zur Verfügung. Liegt das Leck auf der Druckseite kann nur mit dem intakten Nachkühlstrang oder dem Reservestrang geflutet werden.

Das 30-Minuten-Kriterium wird eingehalten.

Ereignisablaufbeschreibung für offenen RKL (Phase D):

Die Ereignisabläufe beim Leck im Sicherheitsbehälter und offenem RDB sind bis auf wenige Unterschiede analog zu denen beim Leck im Sicherheitsbehälter und geschlossenem RDB. Der wesentliche Unterschied ist die fehlende Verfügbarkeit des Dampferzeugers zur Wärmeabfuhr. Die Wärme muss daher ausschließlich primärseitig abgeführt werden. Die Problematik der Deborierung kommt infolgedessen nicht zum tragen. Zur Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums muss auch hier eine Prozedur zu Entlüftung des intakten abgeschalteten Nachkühlstranges bereitgestellt werden oder es muss ein weiterer Reservestrang zur Verfügung stehen.

Die Kühlung der Brennelemente kann bei offenem RDB auch durch Verdampfung in den Sicherheitsbehälter erfolgen. Zur Vermeidung eines Gefährdungszustands muss die Verdampfungsrate jedoch nachgespeist werden.

Die Zeiten bis zum Beginn der Kernfreilegung sind in der Regel kürzer als bei geschlossenem RDB, da bei offenem RDB das Kühlmittel bei niedrigerem Druck und damit bei niedrigerer Temperatur verdampft wird. Bei vollständigem Ausfall der Nachspeisung (Fluten) und der Leckabspernung kommt es frühestens nach 1 h 20 min zum Beginn der Kernfreilegung. Es stehen also mehr als 30 min für Personalhandlungen zur Verfügung.

Fazit:

Für die Phase D werden die Nachweiskriterien erfüllt, wenn eine Prozedur zur Entlüftung eines durch Luftansaugen abgeschalteten Nachkühlstranges vorhanden ist oder für die Nachwärmeabfuhr zwei Reservestränge in Bereitschaft stehen.

Das 30-Minuten-Kriterium wird eingehalten.

Ereignisablaufbeschreibung bei gefülltem Flutraum (Phase E)

In der Phase E ist der Reaktor-/Abstellraum mit ca. 1350 m³ Kühlmittel aus den Flutbehältern gefüllt, so dass sich die Zeiten bis zum Ausfall der Nachwärmeabfuhr bzw. bis zur Kernfreilegung gegenüber der Phase D erheblich verlängern. Bei geschlossenem Schütz zum BE-Lagerbecken beträgt die anfängliche Ausflussrate ca. 57 kg/s, so dass der Füllstand (ohne Leckabspernung und ohne jegliche Nachspeisung) nach etwa 5 – 6 h Unterkante Loop erreicht und die Nachwärmeabfuhr ausfällt. Die Kernfreilegung beginnt ca. 1 h später.

Bei geöffnetem Lagerbecken-Schütz sinkt der Füllstand in etwa 1,5 h bis auf das Niveau der Ansaugstutzen der BE-Lagerbecken Kühlstränge FAK10/40 wodurch die Lagerbeckenkühlung ausfällt (Schutzabschaltung durch Fördermenge < 28 kg/s). Wird die Lagerbeckenkühlung mit dem Strang FAK20 durchgeführt, so fällt diese nach ca. 3 h aus. Die Absperrarmatur auf der Saugseite der Pumpen wird über einen Lagerbecken-Füllstandsgrenzwert geschlossen, worauf die Pumpe über Fördermenge < 28 kg/s schutzabgeschaltet wird. Die Unterkante Loop mit Ausfall der Nachwärmeabfuhr wird nach ca. 8 h erreicht, so dass die Freilegung des Kerns nach ca. 9 h beginnt. Es stehen als mehr als 30 Minuten Zeit zur Verfügung um Erst-oder Zweitabspernungen zu schließen und damit den Kühlmittelverlust zu beenden, ehe der Füllstand im Lagerbecken so weit abgesunken ist, dass es zum Ausfall der Lagerbeckenkühlung kommt.

Ist das Leck größer, oder kann nicht abgesperrt werden (z. B. Fehler bei Arbeiten an einer Zweitabsperrung und Nichtschließen der Erstabsperrung), dann läuft das Wasser in den Sicherheitsbehälter-Sumpf und muss von dort zurückgefördert werden. Um das Wasser nicht aus dem Sumpf zu verlieren, muss gefordert werden, dass bei Arbeiten an den Sumpfarmaturen alle entstehenden Öffnungen verschlossen werden. Anschließend muss der Reaktorraum und das Lagerbecken mit dem abgeschalteten Nachkühlstrang (gegebenenfalls nach Entlüften) oder mit dem Reservestrang durch Sumpfrückfördern aufgefüllt werden. Danach muss die Lagerbeckenkühlung mit mindestens einem Strang wieder in Betrieb genommen werden. Bei Ausfall der Beckenkühlung mit dem Strang FAK20 kann dieser wieder nach Öffnen der Absperrarmaturen zugeschaltet werden. Wurde die Beckenkühlung mit FAK10/40 durchgeführt, müssen die Stränge zunächst entlüftet werden, bevor sie zugeschaltet werden können.

Bei Ausfall des 2. laufenden Nachkühlstranges durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können. Der andere Nachkühlstrang ist nach Absperrung des Lecks unverfügbar. Die zur Reparatur verfügbare Zeit hängt vom Kühlmittelinventar und von der Nachzerfallsleistung ab. Benötigte Ersatzteile müssen vorrätig sein.

Es ist uns derzeit nicht bekannt, ob genügend Kühlmittel aus dem Sumpf in den Flutraum zurückgefördert werden kann, um den Füllstand wieder bis auf das Niveau der Saugleitungen anzuheben, da das aus dem Leck ausströmende Kühlmittel nicht zu 100% dem Sicherheitsbehältersumpf zufließt. Es ist daher sinnvoll, Prozeduren zum Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens mit Borsäure zu erstellen.

Fazit:

Bei einem größeren Leck oder für den Fall, dass sich das Leck nicht absperrn lässt sind Prozeduren für das Rückfördern des Kühlmittels aus dem Sumpf in den Reaktorraum und das Lagerbecken sowie zur Entlüftung eines Lagerbeckenstranges vor Wiederinbetriebnahme erforderlich. Derzeit ist nicht bekannt, ob sich der Füllstand in dieser Situation wieder mit Kühlmittel aus dem Sumpf bis auf das Niveau der Ansaugleitungen für die BE-Lagerbeckenkühlung anheben lässt. Daher sollte eine Prozedur zum Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens mit Borsäure, z. B. aus der Kühlmittellagerung vorgesehen werden.

Bei Ausfall des 2. laufenden Nachkühlstranges in der Phase E durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können.

3.3.6 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs

Es wird im folgenden davon ausgegangen, dass durch eine Fehlhandlung bei Instandhaltungsmaßnahmen kann ein Leck mit einem Querschnitt von 25 cm² an einem laufenden Nachkühlstrang auftritt. Ein solches Leck kann sowohl auf der Druck- als auch auf der Saugseite auftreten.

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C)

Überflutungen im Ringraum haben wegen ihrer Redundanz übergreifenden Auswirkung eine hohe sicherheitstechnische Bedeutung. Die Sumpfe der vier Quadranten des Ringraumes werden deshalb jeweils durch 3 Füllstandsmessstellen JNA10-40 CL851/861/871 überwacht. Überschreitet der Füllstand in einem Sumpf den Grenzwert 0,26 m werden laut BHB Teil 5 Kap. JNA die folgenden Schutzmaßnahmen ausgeführt:

- Ventil Reinigung Flutbecken JNK10-40AA002 schließen,
- GBA *UJB* Deionatversorgung GHC10-40AA010 schließen,
- Bereichsumschaltung dieser Komponenten auf den Zweitbereich (notstandsichere Verriegelung)

Die notstandsichere Verriegelung kann erst wieder rückgesetzt werden, wenn der Bodensumpf vor Ort entleert wurde.

Eine automatische Abschaltung des überflutenden Systems erfolgt nicht. Laut BHB soll nach Identifizierung des Quadranten der zugeordnete Nachkühlkreis außer Betrieb genommen werden.

Während des Stillstandes der Anlage muss laut BHB Teil 2, Kapitel 1.4 die Überwachung von mindestens 2 der 4 Quadranten verfügbar sein.

Das Leck ist durch schließen der zugehörigen Erst- und Zweitabsperarmaturen absperrbar. Kann die primärseitige Wärmeabfuhr nicht wieder eingerichtet werden, wird die Wärme über den in Bereitschaft stehenden Dampferzeuger abgeführt. Eine sekundärseitige Nachwärmeabfuhr bei nicht aufgefülltem Primärkreis führt nach ca. 4 h zu einem entborierten Bereich im Dampferzeuger bzw. im Pumpenbogen der Hauptkühlmittelleitung. Dies kann durch eine Prozedur verhindert werden, in der eine rechtzeitige Füllstandsanhhebung bis zum Druckhalterfüllstand 3 m vorgeschrieben wird.

Ein Ausfall der sekundärseitigen Wärmeabfuhr bei nicht aufgefülltem Primärkreis führt nach ca. 3-4 h zum Beginn der Kernfreilegung.

Fazit:

Um die Nachweiskriterien erfüllen zu können, ist für die Phase mit geschlossenem RKL

- eine Prozedur zur Entlüftung eines durch Luftansaugen abgeschalteten Nachkühlstrangs vorzusehen oder für die Nachwärmeabfuhr zwei Reservestränge vorzuhalten oder
- eine Prozedur vorzusehen, die das Auffüllen des RKL bis über Druckhalterfüllstand 3,0 m vorschreibt. (Durch diese Maßnahme könnte die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr im Naturumlauf durchgeführt werden, ohne dass es zu einer Deborierung im RKL kommt. Somit wäre das Einzelfehlerkriterium für die Nachwärmeabfuhr erfüllt.)

Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

Ereignisablaufbeschreibung für offenen RKL (Phase D)

Die Ereignisabläufe beim Leck im Ringraum und offenem RDB sind bis auf wenige Unterschiede analog zu denen beim Leck im Ringraum und geschlossenem RDB. Der wesentliche Unterschied ist die fehlende Möglichkeit der Wärmeabfuhr über einen Dampferzeuger. Die Wärme muss daher ausschließlich primärseitig abgeführt werden. Die Problematik der Deborierung kommt infolgedessen nicht zum tragen. Zur Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr bei Beachtung des Einzelfehlerkriteriums sind eine Prozedur zur Entlüftung des intakten abgeschalteten Nachkühlstranges oder die Verfügbarkeit eines zweiten Reservestranges erforderlich.

Die Zeiten bis zum Beginn der Kernfreilegung sind in der Regel kürzer als bei geschlossenem RDB, da bei offenem RDB das Kühlmittel bei niedrigerem Druck und damit bei niedrigerer Temperatur verdampft wird. Bei vollständigem Ausfall der Nachspeisung (Fluten) kommt es bereits nach ca. 1 h zum Beginn der Kernfreilegung. Es stehen mehr als 30 min für Personalhandlungen zur Verfügung.

Fazit:

Für die Phase D (geöffneter RKL) werden die Nachweiskriterien erfüllt, wenn eine Prozedur zur Entlüftung eines durch Luftansaugen abgeschalteten Nachkühlstranges vorhanden ist oder für die Nachwärmeabfuhr zwei Reservestränge in Bereitschaft stehen.

Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

Ereignisablaufbeschreibung bei gefülltem Flutraum (Phase E)

Solange sich Brennelemente im Reaktor befinden, sind 2 Nachkühlstränge in Betrieb, wobei einer für die Nachwärmeabfuhr ausreichend ist. Die beiden anderen Nachkühlstränge / Redundanzen sind in der Regel für Revisionsarbeiten freigeschaltet.

Der Reaktor-/Abstellraumraum mit ca. 1350 m³ Kühlmittel aus den Flutbehältern gefüllt, so dass sich die Zeiten bis zum Ausfall der Nachwärmeabfuhr bzw. bis zur Kernfreilegung gegenüber der Phase D erheblich verlängern. Bei geschlossenem Schütz zum BE-Lagerbecken beträgt die anfängliche Ausflussrate bei dem unterstellten Leckquerschnitt ca. 57 kg/s, so dass der Füllstand (ohne Leckabspernung und ohne jegliche Nachspeisung) nach etwa 5 – 6 h Unterkante Loop erreicht und die Nachwärmeabfuhr ausfällt. Nahezu zeitgleich werden die im Ringraum aufgestellten Nachkühlpumpen überflutet (nach Auslaufen von ca. 1175 m³), so dass eine Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr nicht mehr möglich ist. Die Kernfreilegung beginnt ca. 1 h später.

Bei geöffnetem Lagerbecken-Schütz sinkt der Füllstand in etwa 1,5 h bis auf die Höhe der Ansaugstutzen der BE-Lagerbecken Kühlstränge FAK10/40 wodurch die Lagerbeckenkühlung ausfällt. Wird die Lagerbeckenkühlung mit dem Strang FAK20 durchgeführt, fällt diese erst nach ca. 3 h aus, da der Ansaugstutzen ca. 1,5 m tiefer im BE-Lagerbecken angeordnet ist. Nach ca. 6 h fällt die Nachwärmeabfuhr durch Überfluten der Nachkühlpumpen aus. Die Unterkante Loop wird nach ca. 8 h erreicht und die Freilegung des Kerns beginnt nach ca. 9 h.

Die wesentliche Maßnahme zur Beherrschung des Ereignisses ist die Funktion „Leckabspernung“ durch Schließen der Erstabspernung „heiß“ oder durch Abschalten der Nachkühlpumpe im Leckstrang bevor die Wärmeabfuhr aus dem Lagerbecken ausfällt. Ist das nicht möglich, weil der Füllstand bei einem großen Leck zu schnell abgefallen ist (bei einem 100 cm² Leck beträgt die Zeit bis zum Ausfall der Lagerbeckenkühlung ca. 25 min.), muss das Leck abgesperrt werden, bevor die Nachkühlpumpen überflutet werden. Die Kühlung des Reaktorraumes bleibt in diesem Fall in Funktion. Die Kühlung des Lagerbeckens ist dagegen ausgefallen. Da das Wasser aus dem Ringraum nicht zurückgefördert werden kann, gibt es keine Möglichkeit, den Füllstand im Lagerbecken soweit anzuheben, dass die Wärmeabfuhr wieder in Betrieb genommen werden kann. Die betriebliche Nachspeisung des Lagerbeckens mit dem Deionatsystem GHC darf bei geöffnetem Lagerbeckenschütz nicht verwendet werden und dient auch nur zum Ausgleich von Verdunstungsverlusten. Zur Einhaltung der Nachweiskriterien für die Brennelementlagerung (Temperatur im Lagerbecken < Auslegungstemperatur) ist eine Prozedur hilfreich, mit der das Lagerbecken (z. B. aus der Kühlmittellagerung) wieder aufgefüllt werden kann.

Bei Ausfall des 2. laufenden Nachkühlstranges durch einen Einzelfehler (die Leckabspernung war erfolgreich) sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können. Der andere Nachkühlstrang ist nach Abspernung des Lecks unverfügbar. Die zur Reparatur verfügbare Zeit hängt vom Kühlmittelinventar und von der Nachzerfallsleistung ab. Benötigte Ersatzteile müssen vorrätig sein.

Fazit

Für die Phase E ist zusätzlich eine Prozedur nötig, die das Abschalten der Nachkühlpumpe im Leckstrang veranlasst, bevor die Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken ausfällt. Bei einem größeren Leck, bei dem die Zeit zum Abschalten weniger als 30 min beträgt, ist eine Prozedur vorzusehen, mit der das Lagerbecken wieder mit Borsäure (z. B. aus der Kühlmittellagerung) aufgefüllt werden kann.

Bei Ausfall des 2. laufenden Nachkühlstranges durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können.

Das 30-Minuten-Kriterium wird erfüllt.

3.3.7 Notstromfall länger als 2 Stunden

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C)

In dieser Phase wird die Nachzerfallsleistung primärseitig über zwei nukleare Nachkühlketten abgeführt. Der Notstromfall führt zu einer Unterbrechung der Stromversorgung der für die Nachwärmeabfuhr erforderlichen Komponenten, insbesondere der Pumpen der Nachkühlketten, und damit zu einer Unterbrechung der Nachwärmeabfuhr. Über die Notstromsignale werden die Notstromdiesel für das Notstromnetz 1 gestartet und über das Dieselbelastungsprogramm die Verbraucher automatisch wieder zugeschaltet. Die Nachwärmeabfuhr wird in der gleichen Weise wie vor dem Notstromfall weitergeführt. Ein Einzelfehler, z. B. Startversagen eines Notstromdiesels führt nicht zum Gefährdungszustand, da ein Strang für die Nachwärmeabfuhr ausreichend ist, siehe auch Ereignis „Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems“, Abschnitt 3.3.3.

Ereignisablaufbeschreibung für offenen RKL (Phasen D und E)

Die Abläufe bei offenem RDB entsprechen denen bei geschlossenem RKL. Gemäß den Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage und zum BE-Wechsel, die im Betriebshandbuch festgelegt sind, ist in allen Betriebsphasen die Notstromversorgung (Notstromdiesel und Notstromsignale) für die verfügbaren Nachwärmeabfuhrsysteme in Bereitschaft zu halten.

Sollte in diesen Phasen das automatische Wiedereinschalten der Verbraucher nicht verfügbar sein, ergeben sich folgende zeitliche Abläufe: Begrenzend für den Einsatz der Nachkühlketten ist der Füllstandsabfall auf Unterkante-Loop durch das Ausdampfen des Kühlmittels in das Reaktorgebäude. Von Mitte-Loop bis Unterkante-Loop befinden sich in Phase D ca. 30 m³ Kühlmittel im Primärkreis. Bei einem Aufheizgradient von 4 K/min und einer Verdampfungsrate von ca. 10 kg/s muss innerhalb 1 h die Nachkühlung wiederhergestellt sein. Die zusätzliche Einspeisung von Druckspeichern verlängert diese Zeit um jeweils eine weitere Stunde. Bei den Ereignispfaden mit ausgefallener Nachwärmeabfuhr aber mit funktionierender Einspeisung mit Druckspeichern, verlängert sich die Zeit bis zum Erreichen von Gefährdungszuständen entsprechend. Bei diesen Pfaden dauert es, je nachdem wie viele Druckspeicher eingespeist wurden, zwischen 3 - 4 h und 7 - 8 h bis der Kern freigelegt wird. Ohne Druckspeicher-einspeisung dauert es dagegen bis zur Kernfreilegung nur 2 - 3 h.

Fazit

Die Nachweiskriterien sowie das Einzelfehlerkriterium und das 30-min-Kriterium werden in allen Phasen für das Ereignis Notstromfall erfüllt.

3.4 Ereignisse in SWR-Anlagen

Nachfolgend werden die im Abschnitt 3.1 für SWR-Anlagen ausgewählten Ereignisabläufe beschrieben. Die Ereignisbeschreibungen basieren auf den Untersuchungen aus den Vorhaben RS951 /GRS 99/ für eine Anlage vom Typ SWR72 und SR2467 /GRS 06/ für eine Anlage vom Typ SWR69. In den Ereignisablaufbeschreibungen werden die in der GRS vorliegenden aktuellen BHB zu Grunde gelegt. Dies betrifft die entsprechend den Sicherheitsspezifikationen bereitzuhaltenden Sicherheitseinrichtungen und die vorhandenen Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen.

3.4.1 Fehlerhafter Anstieg des Füllstands im Reaktordruckbehälter und Unverfügbarkeit von Begrenzungseinrichtungen

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C)

SWR69:

Beim Übergang von der Betriebsphase B in die Betriebsphase C, nachdem die Abkühlung über die Hauptwärmesenke beendet ist, muss der Füllstand im RDB für die Inbetriebnahme des Abfahrkühlens bis über das Niveau der Frischdampfleitungen angehoben werden. Dazu werden ein Nachkühlstrang (TH20) auf „Kernfluten“ und ein TH-Strang (TH30) auf „KOKA-Kühlen“ geschaltet. Mit einer Einspeisemenge von ca. 125 t/h wird der Füllstand im RDB von 14,3 auf 17,2 m angehoben. Zusammen mit der laufenden Einspeisung von konstant 7,3 kg/s mit RS und TE werden die benötigten 79,5 m³ in ca. 31 Minuten eingespeist. Lässt sich danach die Nachkühlpumpe nicht abschalten oder wird die Abschaltung unterlassen, so steigt der Füllstand im RDB innerhalb von ca. 25 min bis unter den RDB-Deckel an /GRS 06/. Ist der RDB vollständig gefüllt, so prägt die laufende Nachkühlpumpe dem RDB einen Druck entsprechend ihrer Nullförderhöhe (ca. 1,4 MPa) auf. Das Kühlmittel heizt sich auf und durch die damit verbundene Volumenausdehnung steigt der Druck im Kühlmittelkreislauf schnell an. Das Überschusswasser des Reaktorreinigungssystems TC, mit dem bei abgeschaltetem Speisewasser der Füllstand im RDB geregelt wird, kann den Füllstands- und

Druckanstieg nur verzögern und erhält bei einem RDB-Druck von 2,5 MPa einen Durchdringungsabschluss. Acht Minuten nachdem der RDB bis unter den Deckel gefüllt wurde ist der Druck im RKL auf 7,4 MPa angestiegen und das erste Entlastungsventil öffnet automatisch.

Für die weitere Ereignisablaufanalyse wird davon ausgegangen (30-Minuten-Kriterium), dass in der Zeitspanne vom Erreichen des Sollfüllstandes von 17,2 m bis zum Öffnen des ersten Entlastungsventils bei 7,4 MPa (33 Minuten) keine Handmaßnahmen zum Druckabbau (z.B. durch Öffnen der diversitären Druckbegrenzungsventile) erfolgen.

Es wird ferner konservativ davon ausgegangen, dass das S+E-Ventil nach dem Öffnen abreißt und ein Leck in den Sicherheitsbehälter entsteht, da bisher nicht nachgewiesen wurde, dass die S+E-Ventile bei Drücken von $> 1,9$ MPa Wasser abblasen können. Zur Druckbegrenzung ist eines der 8 verfügbaren S+E-Ventile ausreichend.

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Nachwärme nicht vollständig über das abgerissene S+E-Ventil abgeführt werden kann. D. h., das Leck am S+E-Ventil ist nicht so groß, dass das Rückfördern aus dem SHB-Sumpf zur Nachwärmeabfuhr ausreicht.

Der Nachkühlstrang (TH20) mit dem der Füllstand im RDB angehoben wurde, wird für die Störfallbeherrschung als nicht verfügbar betrachtet, da er sich nicht abschalten ließ.

Nach den Vorgaben des neuen BHB B 5.4, für den Nichtleistungsbetrieb werden der Reaktorschutz und eine Notstromredundanz erst nach Einrichten eines stabilen Nachkühlbetriebs außer Betrieb genommen. Bei Störfalleintritt sind diese also noch verfügbar. Es wird nur die Nachkühlpumpe elektrisch frei geschaltet, für die in der Revision eine Instandhaltung vorgesehen ist.

Nach dem Abriss des S+E-Ventils ist der Füllstand im RDB wieder bis auf Höhe der FD-Leitungen abgefallen. Um den Füllstand im RDB zu halten, ist das Rückfördern mit einem TH-Strang aus dem SHB-Sumpf ausreichend. Dazu stehen die Nachkühlstränge TH30 und TH40 zur Verfügung.

Die Nachwärmeabfuhr kann durch Ableiten des Kühlmittels über ein offenes S+E-Ventil in die Kondensationskammer und von dort durch Kondensationskammerkühlen erfolgen. Hierzu muss per Handbefehl über das Offenhaltesystem ein S+E-Ventil geöffnet

und offen gehalten werden. Das Offenhaltesystem wird über die Stränge TH10 und TH20 sowie über das Kernsprühsystem TK mit Wasser versorgt (ersatzweise mit TF10, TF20). Da TH10 sowie ein USUS-Strang per Annahme nicht verfügbar ist und TH20 zwangsweise abgeschaltet wurde, kann die Offenhaltung über das TK-System bzw. über einen Reservestrang des USUS-Systems durchgeführt werden. Das Einzelfehlerkriterium ist somit erfüllt.

Die Anforderung an die Nachkühlstränge zum KOKA-Kühlen erfolgt automatisch über den KOKA-Temperaturgrenzwert 38° C. Es ist ein Nachkühlstrang für die Wärmeabfuhr ausreichend. Für die Nachwärmeabfuhr aus der KOKA stehen die Nachkühlstränge TH30 und TH40 sowie der notstandssichere Nachkühlstrang TF20 zur Verfügung. D. h. ein Einzelfehler wird beherrscht.

Kommt es nicht zu einem Leck am S+E-Ventil als Folge des Wasserabblasens, kann der Ereignisablauf nach Beenden der Fehleinspeisung und Schließen des Entlastungsventils durch Fluten mit einem Nachkühlstrang auf den Ausgangsfüllstand von 17,2 m und anschließendem Umschalten eines Nachkühlstranges auf Nachkühlbetrieb beherrscht werden.

Fazit

Zur Einhaltung der Nachweiskriterien sind die folgenden Systemfunktionen notwendig:

- Beenden der fehlerhaften Einspeisung z. B. durch Öffnen des Leistungsschalters in der Schaltanlage oder Schließen von Armaturen in der Einspeiseleitung,
- Druckentlastung,
- Rückfördern aus dem Sumpf,
- Wärmeabfuhr aus der KOKA.

Für diese Systemfunktionen steht eine ausreichende Anzahl an Redundanzen zur Verfügung. In den ersten 30 Minuten sind keine Personalhandlungen erforderlich. Allerdings ist dann das Versagen eines Entlastungsventils als Folge des Wasserabblasens zu unterstellen.

Für SWR72 konnte der Ereignisablauf aufgrund der begrenzten Ressourcen in diesem Projekt nicht untersucht werden.

3.4.2 Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen

In den Betriebsphasen C und D befindet sich der Reaktor im Nachkühlbetrieb mit einem Nachkühlstrang, wobei das Kühlmittel über die Abfahrkühlleitungen angesaugt wird und über die Speisewasserleitungen wieder in den RKL eingespeist wird. Der Füllstand wird über den Ablaufregler des Reaktorwasser-Reinigungssystems TC, der von Hand auf 17,2 m (Phase C) bzw. 17,8 m (Phase D) eingestellt wird, geregelt. Das Überschusswasser wird in die KOKA abgeleitet /GRS 06/.

Ein fehlerhafter Abfall des Füllstandes kann entweder durch eine Fehlfunktion des Ablaufreglers des TC-Systems erfolgen (Entnahme ca. 30 kg/s) oder durch das fehlerhafte Öffnen eines S+E-Ventils (Entnahme ca. 100 kg/s). Bei Unterschreiten eines Füllstandes von 16,8 m erhält die laufende Nachkühlpumpe einen Schutz-Aus Befehl wodurch die Nachwärmeabfuhr ausgefallen ist. Der Füllstand sinkt weiter bis auf die Höhe des TC-Saugstutzens bzw. der Frischdampfleitung bei Entnahme über ein offenes S+E-Ventil /GRS 06/.

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C)

SWR69:

Der Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Abfall des RDB-Füllstands bei zu großer Entnahme über TC tritt etwa nach 20 min ein. Bei druckdicht verschlossenem RDB-Deckel beginnen nach Ausfall der Nachwärmeabfuhr Temperatur und Druck entlang der Siedelinie zu steigen. Theoretisch würde der Füllstand bis auf Höhe des TC-Ansaugstutzens auf 10,8 m absinken. Das würde bei Entnahme von 160 m³ ca. 5 h dauern. Davor erhält das TC-System durch den Druckanstieg bei 2,5 MPa nach ca. 3-4 h (siehe Bild D1.1 in /GRS 06/) einen Durchdringungsabschluss. In dieser Zeit ist der Füllstand unter die Frischdampfleitungen abgesunken. Durch Öffnen und Offenhalten eines S+E-Ventils und Zuschalten eines Nachkühlstranges in Flutfunktion mit Nachkühlkette, kann ein Kühlkreislauf über die KOKA hergestellt werden. In diesem Fall wird der RDB bis über die Frischdampfleitungen aufgefüllt, das Kühlmittel läuft in die KOKA zurück und wird von dort über einen Nachwärmekühler in den RDB gefördert.

Ein Wiedereinschalten der schutzabgeschalteten Nachkühlpumpe ist möglich, da die Schutzabschaltung über niedrigen Füllstand nur bei Abfahrkühlen über die Frischdampfleitung, das heißt bei offenen Abfahrkühlschiebern, wirksam ist. Die Abfahrkühlschieber wurden aber durch den Druckanstieg im RDB bei $>0,4$ MPa durch Schutz-Befehl geschlossen.

Hierfür ist das Öffnen eines S+E-Ventils und ein Nachkühlstrang ausreichend. Die Offenhaltung kann mit TH10, TH20, TF10, TF20 oder mit dem Kernsprühsystem TK durchgeführt werden. Hierbei ist es prinzipiell möglich, mit dem Strang, mit dem die Nachwärme abgeführt wird (falls TH10 oder TH20) auch die Offenhaltung durchzuführen.

Auch bei Freischaltung einer elektrischen Redundanz aufgrund von Revisionsarbeiten sind ein TH-Strang, ein TF-Strang und gegebenenfalls der TK-Strang für die Offenhaltung verfügbar. Somit ist das Einzelfehlerkriterium erfüllt.

Wird der Kühlmittelverlust durch ein fehlerhaftes S+E-Ventil verursacht, kann dieses bei Berücksichtigung eines Einzelfehlers nicht geschlossen werden. In dieser Betriebsphase kann wegen des niedrigen RDB-Druckes ein fehlerhaft offenes S+E-Ventil nur durch Fehlöffnen einer Offenhaltearmatur verursacht werden. Der Ausfall der Nachwärmeabfuhr tritt bereits nach wenigen Minuten ein. Durch das offene S+E-Ventil kommt es zu keinem Druckaufbau. In diesem Fall kann die Nachwärme nach Inbetriebnahme eines Nachkühlstranges in der Funktion Fluten durch einen Kreislauf: KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB → S+E-Ventil → KOKA abgeführt werden. Im weiteren Verlauf sollte versucht werden, das fehlerhaft offene Offenhalteventil und somit das S+E-Ventil zu schließen, den Füllstand wieder auf Sollfüllstand 17,2 m anzuheben und die Abfahrkühlleitungen zu öffnen. Fällt das Schließen der Offenhaltearmatur durch Einzelfehler aus, muss der Kühlkreis über das offene S+E-Ventil mindestens 10 h aufrecht erhalten werden, so dass Reparaturmaßnahmen eingeleitet werden können.

SWR72:

Beim SWR der Baulinie 72 wird beim Nachkühlbetrieb über eine Frischdampfleitung ein Füllstand von 18,5 m eingestellt und die Füllstandsregelung wird mit dem Kühlmittelentnahme-/Kühlmittelreinigungssystem TA/TC durchgeführt. Bei einer fehlerhaften Entnahme von ca. 25 kg/s sinkt der Füllstand, bis bei 18,0 m die Nachkühlpumpe einen Schutz-Aus-Befehl erhält und die Nachwärmeabfuhr damit ausgefallen ist. Durch den

Ausfall der Nachwärmeabfuhr steigen Druck und Temperatur bei weiter sinkendem Füllstand. Bei Erreichen von 0,5 MPa werden einerseits die Abfahrkühlleitungen geschlossen, andererseits wird das Kriterium für die Druckabsicherung bei Abfahrkühlen (autarke Verriegelung) erfüllt (RDB-Füllstand > 16,5 m und RDB-Druck > 0,5 MPa), wodurch zwei S+E-Ventile geöffnet und über den Offenhaltemagneten auch aufgehalten werden. Über diese offenen S+E-Ventile kann nun durch Zuschalten der vorher abgeschalteten Nachkühlpumpe oder der Reservepumpe in Flutfunktion ein Kühlkreislauf eingerichtet werden.

Ein fehlerhaftes Öffnen von S+E-Ventilen im Nachkühlbetrieb ist nicht möglich, da der Eigenmediumdruck zum Öffnen nicht ausreicht und die Haltemagnete nicht in der Lage sind ein S+E-Ventil zu öffnen.

Fazit

In der Phase C sind zur Einhaltung der Nachweiskriterien Prozeduren erforderlich, über die

- der RDB durch Öffnen eines S+E-Ventils druckentlastet wird (für SWR 69)
- der RDB-Füllstand auf Sollfüllstand angehoben wird und
- ein Kühlkreislaufes über die KOKA eingerichtet wird.

Sowohl das 30-Minuten-Kriterium als auch das Einzelfehlerkriterium werden erfüllt.

Ereignisablaufbeschreibung für geöffneten RKL (Phase D)

SWR69:

In dieser Phase ist der Füllstand auf 17,8 m angehoben und der RDB-Deckel wurde geöffnet. Bei fehlerhafter Entnahme über die TC-Ablaufregelung dauert es etwa 50 min. bis die Abschaltmarke für die Nachkühlpumpen (RDB-Füllstand < 16,8 m) erreicht wird. Das Kühlmittel heizt sich durch die 15 MW Nachzerfallsleistung in ca. 1,5 Stunden von 50°C auf 100°C auf. Danach verdampft das Wasser mit einer Rate von 6 kg/s, wodurch sich der Kühlmittelverlust aus dem RDB fortsetzt. In einer weiteren Stunde wird der Ansaugstutzen der Reaktorwasserreinigung erreicht und die Reaktorwasserreinigungspumpe erhält über den Grenzwert Fördermenge < 10 t/h einen Schutz-Aus-

Befehl. Ohne weitere Maßnahmen dampft das Kühlmittel weiter aus, bis nach weiteren 1,5 h die Kernoberkante erreicht wird.

Nach Abschalten der Nachkühlpumpen hat das Betriebspersonal ca. 4 h Zeit. Den Störfall zu beheben.

Zunächst muss der Füllstand durch Zuschalten der abgeschalteten Nachkühlpumpe in Funktion Fluten wieder auf den Sollwert 17,8 m angehoben werden. Da sich die Abfahrkühlschieber noch in AUF-Stellung befinden, müssen diese von der Warte aus geschlossen werden. Sollte die Wiederzuschaltung durch einen Einzelfehler nicht gelingen, kann ersatzweise mit der Reservepumpe der Füllstand angehoben werden. Danach muss die Entnahme durch das TC-System durch Schließen mindestens einer der beiden Durchdringungsarmaturen beendet werden. Ist die Entnahme beendet, kann der Flutstrang auf Abfahrkühlen umgeschaltet werden.

Lässt sich aufgrund von Einzelfehlern die Entnahmeleitung nicht schließen oder kann keine Abfahrkühlleitung geöffnet werden, kann die Nachwärme über ein S+E-Ventil (S+E-Ventil → KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB) abgeführt werden.

Der Ereignisablauf „Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch ein fehlerhaft geöffnetes S+E-Ventil“ verläuft analog zum verschlossenen RDB.

SWR72:

Beim SWR der Baulinie 72 verläuft das Ereignis bei fehlerhafter Entnahme über das TA/TC-System analog zum SWR der Baulinie 69.

Ein fehlerhaftes Öffnen von S+E-Ventilen im Nachkühlbetrieb ist auch bei geöffnetem RDB nicht möglich, da der Eigenmediumdruck zum Öffnen nicht ausreicht und die Haltemagnete nicht in der Lage sind ein S+E-Ventil zu öffnen.

Fazit

In der Phase D sind zur Einhaltung der Nachweiskriterien Prozeduren erforderlich, über die

- der RDB-Füllstand auf Sollfüllstand angehoben wird,
- die Entnahme geschlossen wird und

- der Nachkühlbetrieb über eine Abfahrkühlleitung wieder eingerichtet wird.

Sowohl das 30-Minuten-Kriterium als auch das Einzelfehlerkriterium werden erfüllt.

3.4.3 Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette

Ereignisablauf bei geschlossenem RKL (Phase C)

Nach dem Abschalten der Hauptwärmesenke wird der Füllstand über das Niveau der FD-Leitungen angehoben und der Abfahrkühlbetrieb über die an die FD-Leitung angeschlossenen Saugleitungen des Nachkühlsystems eingerichtet /GRS 06/. Bei SWR72 Anlagen ist das Anheben des Füllstandes nicht erforderlich, da das Nachkühlsystem direkt über einen Stutzen am RDB ansaugen kann (modifiziertes Abfahrkühlen) /GRS 99/.

In den SWR-Anlagen ist ein Nachkühlstrang ausreichend um die Nachwärme aus dem RKL abzuführen und die Kühlmitteltemperatur unter 50°C zu halten.

Um den Ereignisablauf zu beherrschen sind unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers zwei Reservestränge erforderlich. Dies können zwei weitere Nachkühlstränge oder ein Nachkühlstrang und ein Strang des Notstandssystems sein.

SWR69:

Nach dem Ausfall des Abfahrkühlens kann ein Reservenachkühlstrang für den Nachkühlbetrieb zugeschaltet werden. Die Inbetriebnahme des Reservestranges muss in der Phase C innerhalb von ca. 20 Minuten nach Ausfall des Abfahrkühlens abgeschlossen sein, da in diesem Zeitraum der Druck von 0,4 MPa durch das Aufheizen des Kühlmittels von 120 °C auf 140°C überschritten wird. Bei 0,4 MPa erhalten die Abfahrkühlleitungen einen Schutz-Zu-Befehl /GRS 06/.

Ohne Personalhandlungen in den ersten 30 Minuten (30 Minuten-Kriterium) ist also der Druck im RDB bereits über 0,4 MPa angestiegen und die Abfahrkühlleitungen lassen sich nicht mehr öffnen. Daher müsste zunächst durch Öffnen eines S+E-Ventils der Druck unter 0,4 MPa abgesenkt werden. Das Öffnen eines S+E-Ventils von Hand muss

innerhalb von ca. 3,5 h durchgeführt werden /GRS 03/. Innerhalb dieser Zeit steigt der Druck auf 1,9 MPa (bis zu diesem Druck ist das Abblasen von Wasser zulässig).

Durch das Öffnen eines S+E-Ventils fällt der Füllstand im RDB bis auf das Niveau der FD-Leitung ab. Um das Abfahrkühlen über die Abfahrkühlleitungen mit einem in Reserve stehenden Nachkühlstrang wieder in Betrieb nehmen zu können, muss das geöffnete S+E-Ventil schließen und der Füllstand angehoben werden. Der Füllstand kann entweder mit einem Reservenachkühlstrang oder mit einem Strang des Notstandssystems angehoben werden. Nachdem der Füllstand durch Fluten wieder auf den zum Abfahrkühlen erforderlichen Füllstand angehoben wurde, kann ein Reservenachkühlstrang oder ein Notnachkühlstrang den Nachkühlbetrieb übernehmen.

SWR72:

Nach Ausfall des laufenden Nachkühlstranges kann ein in Reserve stehender Nachkühlstrang oder ein Notnachkühlstrang die Nachwärmeabfuhr übernehmen.

Ereignisablauf bei geöffnetem RKL (Phase D)

SWR69:

In dieser Betriebsphase ist der RDB-Deckel geöffnet. Bei Ausfall des laufenden Nachkühlstrangs vergehen ca. 3,5 Stunden, ehe es durch die Kühlmittelverdampfung zur Freilegung der Frischdampfleitungen kommt /GRS 06/. D. h., bis zu diesem Zeitpunkt muss spätestens das Abfahrkühlen mit einem Reservestrang oder einem Notnachkühlstrang eingeleitet werden. Zuvor kann – falls notwendig – der Füllstand durch Fluten wieder ergänzt werden. Ohne Gegenmaßnahmen beginnt die Kernfreilegung nach ca. 7,5 h /GRS 06/, d. h. es steht ausreichend Zeit für Personalhandlungen zur Verfügung.

SWR72:

Siehe Phase C.

Ereignisablauf bei gefülltem Flutraum (Phase E)

Solange sich Brennelemente im Reaktor befinden, ist ein Nachkühlstrang in Betrieb und für die Nachwärmeabfuhr ausreichend. Ein weiterer Nachkühlstrang ist in Reserve

zu halten. Die restlichen Nachkühlstränge / Redundanzen sind in der Regel für Revisionsarbeiten freigeschaltet. Fällt der laufende Nachkühlstrang aus und unterstellt man den Einzelfehler im zweiten laufenden Nachkühlstrang, so ist die Nachwärmeabfuhr ausgefallen. Anlagen mit Notstandsnachkühlsystem können – sofern noch verfügbar oder kurzfristig normalisierbar – einen Strang dieses Systems zur Fortsetzung des Nachkühlbetriebs nutzen.

SWR 69:

Bei einer Nachzerfallsleistung von 13,5 MW in der Phase E, einem Kühlmittelinventar von ca. 2000 m³ in Flutraum, Absetzbecken und RDB sowie einer Kühlmitteltemperatur von 30°C vergehen ca. 8½ h bis die Auslegungstemperatur von 80°C für die Flutraumauskleidung erreicht ist. Nach ca. 12 h hat sich das gesamte Kühlmittel 100°C aufgeheizt und die Nachwärme wird durch Verdampfung abgeführt. Ohne Wiederherstellung des Nachkühlbetriebs würden ca. 100 Stunden vergehen, bis es zur Kernfreilegung kommt und das Nachweisziel für die Phasen D und E „Aufrechterhaltung der Brennelementbedeckung“ gefährdet ist.

Wird nur ein Nachkühlstrang in Reserve gehalten, so wäre gemäß /SIK 09/ Modul 10, Abs. 1.1.2. (2) nachzuweisen, dass innerhalb von 10 Stunden ein ausgefallener oder ein in Revision befindlicher Nachkühlstrang zuverlässig wiederhergestellt werden kann, um den Nachkühlbetrieb wieder einzurichten. Ferner ist für die im Sicherheitsbehälter oder im Reaktorgebäude durchzuführenden Arbeiten nachzuweisen, dass diese auch bei den durch die Kühlmittelverdampfung erschwerten Bedingungen durchführbar sind.

Offene Frage: Auskleidung für Flutraum und Absetzbecken sind nur für 80°C ausgelegt. Entsprechend obiger Abschätzung wäre diese Temperatur nach ca. 8 ½ Stunden erreicht. Es müsste nachgewiesen werden, dass es bei höheren Temperaturen im Flutraum nicht zu einem Integritätsverlust der Flutraum- bzw. Absetzbeckenauskleidung kommt oder das innerhalb der oben genannten Zeitspanne von 8 ½ Stunden die Nachkühlung wiederhergestellt werden kann.

Fazit

Für den Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette können die Nachweiskriterien in allen Phasen eingehalten werden.

Wird in Phase E nur ein Nachkühlstrang in Reserve gehalten, so ist nachzuweisen, dass ein ausgefallener oder ein in Revision befindlicher Nachkühlstrang rechtzeitig wieder in Betrieb genommen werden kann. Günstiger wäre es wenn zwei Nachkühlstränge oder ein Nachkühlstrang und ein Notnachkühlstrang in Bereitschaft gehalten werden.

3.4.4 Fehlerhaftes Ausfahren eines Steuerstabs beim Abschaltsicherheitstest

Die Vorgehensweise wird am Beispiel der Anlage KKP-1 dargestellt /GRS 06/.

Abschaltsicherheitstests werden im Rahmen der 4/4-Kernbeladung durchgeführt. Bei der 4/4-Kernbeladung werden die Vierer-Zellen (Steuerstabzellen) endgültig beladen. Bei der 4/4-Kernbeladung ist das System zur Reaktorschnellabschaltung (Anfahrbereichs-RESA bei Neutronenfluss $> 4E5$ Imp/s) scharf zu schalten. Nach vollständiger Beladung einer Vierer-Zelle, wird eine Funktions- und Unterkritikalitätsprüfung (FUP) durchgeführt. Dazu wird der Steuerstab vollständig aus- und wieder eingefahren und die Wirkleistung des Antriebsmotors aufgezeichnet. Der Neutronenfluss ist zu beobachten, um sicherzugehen, dass der Reaktor nicht kritisch wird.

Ferner ist nachzuweisen, dass der Kern auch im kalten xenonfreien Zustand noch mindestens 0,3% unterkritisch ist. Dazu wird ein Abschaltsicherheitstest (AST) an diagonal benachbarten Steuerstäben durchgeführt. Dieser erfolgt nachdem eine rechteckige Anordnung von 2x3 Steuerstabzellen endgültig beladen wurde, von denen noch keine Zelle bei einem früheren AST erfasst wurde.

Wenn nach vollständigem Ausfahren beider Steuerstäbe keine Kritikalität erreicht wird, dann ist der Reaktor für die weitere Beladung ausreichend unterkritisch. Wird der Reaktor kritisch, bevor der zweite Steuerstab mehr als 1 m ausgefahren wurde, dann ist die Abschaltsicherheit mit einer Prüfanweisung zu bestimmen. Ist die Abschaltsicherheit $< 1\%$, so sind die Auswirkungen auf die weiteren Beladeschritte zu ermitteln und zu bewerten, ehe mit der Beladung fortgesetzt werden darf.

Wird ein Steuerstab zu weit ausgefahren, oder wird fälschlich ein anderer direkt benachbarter Steuerstab ausgefahren und die Neutronenfluss-Impulsrate steigt über $4E5$ Imp/s, so werden die ausgefahrenen Steuerstäbe durch die ausgelöste Anfahrbereichs-RESA eingeschossen. Der Reaktor wäre dann wieder unterkritisch.

Das Schnellabschaltsystem ist bezüglich der Messwerterfassung, der Auslösung sowie der Verfahrenstechnischen Einrichtungen (Schnellabschalttanks, Ringleitungen, Steuerstäbe) gegen einen Einzelfehler ausgelegt. Unterstellt man, dass einer der beiden ausgefahrenen Steuerstäbe als Folge eines Einzelfehlers nicht hydraulisch einfährt, so wird der Kern dennoch unterkritisch, da bei der Kernausslegung das Nichteinschießen des wirksamsten Steuerstabes zu unterstellen ist.

3.4.5 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem

Die Erst- und Zweitabsperungen am RKL werden alle 8 Jahre zur Inspektion zerlegt. Um die Gehäusedeckel der Erstabsperarmaturen öffnen zu können, müssen in die entsprechenden Anschlussleitungen an den RDB Stopfen eingesetzt werden. Ein Leck ist z. B. möglich, wenn

- der Gehäusedeckel der Erstabsperarmatur geöffnet wird bevor der Stopfen gesetzt wurde,
- der Stopfen nicht dicht sitzt oder
- der Stopfen gezogen wird, bevor der Gehäusedeckel der Erstabsperarmatur wieder aufgesetzt wurde.

Damit es bei Arbeiten an Zweitabsperungen zu einem Leck kommt, muss zusätzlich die Erstabsperarmatur in Offenstellung sein. In diesem Fall kann die Erstabsperarmatur geschlossen werden, um den Kühlmittelverlust zu beenden. Die folgenden Betrachtungen konzentrieren sich auf die Erstabsperarmaturen am RDB. Die Inspektion dieser Armaturen wird in der Phase E durchgeführt.

Lecks durch Schaltungsfehler lassen sich, nachdem man das Problem erkannt hat, in der Regel durch Rückschaltungen beenden. Solche Kühlmittelverluste wurden im Abschnitt 3.4.2 „Fehlerhafter Abfall des Füllstands im RDB mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen“ für die Phasen C und D betrachtet.

Ereignisablauf bei gefülltem Flutraum (Phase E)

Die Nachwärmeabfuhr erfolgt in dieser Phase durch Stillstandskühlbetrieb. Dazu saugen die Nachkühlpumpen das Kühlmittel aus dem oberen Bereich des Flutraumes an.

Die Verbindung zwischen BE-Lagerbecken und Flutraum ist für Umladearbeiten geöffnet. Bei einem Leck am RDB kommt es deshalb auch zum Füllstandsabfall im BE-Lagerbecken. Unterstellt man als größtmögliches Leck ein Leck an einer Armatur der FD-Leitungen (z. B. über ein geöffnetes FD-Isolationsventil), so fällt der Füllstand im Flutraum und im BE-Lagerbecken so schnell, dass Beckenschütz nicht mehr gesetzt werden kann, da nach ca. 5 min der Dampftrockner, der in dieser Phase im Absetzbecken lagert, freigelegt wird. Die Strahlenbelastung von der Oberfläche des Dampftrockners lässt dann Arbeiten am Beckenrand nicht mehr zu.

Nach ca. 40 min ist der Füllstand im Lagerbecken bis zur Schwelle zum Flutraum/Absetzbecken abgesunken. Nach 50 Minuten erreicht der Füllstand im RDB das Niveau der FD-Leitung /GRS 06/.

SWR69:

In SWR69-Anlagen ist während der Revision die SHB-Bodenluke (die sogenannte „Materialschleuse“) für Transportarbeiten geöffnet. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Luke bei einem Kühlmittelverluststörfall dieser Größenordnung (anfängliche Leckrate ca. 1000 m³/h über FD-Erstabsperrarmatur) nicht schließen lässt.

Bei der unterstellten Leckrate vergehen ca. 5 min, bis der Füllstand in Flutraum und BE-Lagerbecken bis auf die Höhe der Ansaugstutzen für das Stillstandskühlen und die BE-Lagerbeckenkühlung abgefallen ist /GRS 06/. Danach sind Personalhandlungen am Rand des Absetzbeckens/Flutraumes durch die Strahlung des freigelegten Dampftrockners nicht mehr ohne weitere Schutzmaßnahmen möglich.

Durch den fallenden Füllstand im Flutraum kommt es zum Ausfall des laufenden Nachkühlstrangs. Die Leckrate ist so groß, dass sie auch mit der in der Referenzanlage vorhandenen Rückförderpumpe im Reaktorgebäude nicht überspeist werden kann. Es kommt es zur Überflutung der Nachkühlpumpen, wenn ca. 700 m³ Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausgelaufen sind.

Nach dem Leerlaufen des Flutraums bis zur Leckstelle muss das Leck verschlossen werden. Dies kann mit dem Gehäusedeckel oder einem Blinddeckel aus dem Lager erfolgen. Ist das Leck abgedichtet, muss der Füllstand im Flutraum und BE-Lagerbecken wieder angehoben werden. Das kann in der Referenzanlage durch Rückfördern des ausgelaufenen Kühlmittels mit der Gebäuderückförderpumpe erfolgen.

Für das Schließen des Lecks und das Wiederauffüllen von Flutraum und BE-Lagerbecken stehen ca. 15 Stunden zur Verfügung, ehe der Füllstand im RDB bis auf Oberkante Kern abgefallen ist.

Ist das Leck abgesperrt, und sind Flutraum und BE-Lagerbecken wieder aufgefüllt, muss die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb genommen werden. Dies kann in der Referenzanlage mit einer notstandssicheren Nachkühlpumpe erforderlich, da das Nachkühlsystem durch Überflutung ausgefallen ist.

Von den Anlagen vom Typ SWR69 verfügt nur KKP-1 über eine Gebäuderückförderpumpe, die ausgelaufenes Kühlmittel aus dem Reaktorgebäude in das Lagerbecken zurückfördern kann. Bei einem Ausfall dieser Pumpe (Einzelfehler) fällt der Füllstand im Lagerbecken bis auf das Niveau des Absetzbeckens ab. In KKP-1 besteht noch die Möglichkeit die BE-Lagerbeckenkühlung über die Restentleierungsleitung des BE-Lagerbeckens. Dazu stehen mehrere Stunden Zeit zur Verfügung, ehe die Temperatur im Lagerbecken 80°C erreicht. Nach ca. 20 Stunden ist der Füllstand im Lagerbecken bis auf das Niveau des Absetzbeckens abgefallen.

SWR72:

Wie oben dargestellt, ist das Schließen des Schwenkschützes durch den schnellen Füllstandsabfall nicht möglich. Das auslaufende Kühlmittel kann durch Schließen der Schleusen im Sicherheitsbehälter zurückgehalten werden. Die Schleuse kann aber auch dann noch geschlossen werden, wenn bereits Wasser hindurchfließt, da die Bedienelemente überflutungssicher angebracht sind, und ein Zugang mit Schutzbekleidung möglich ist.

Wenn man davon ausgeht, dass in den ersten 30 Minuten keine Maßnahmen ergriffen werden, tritt ein großer Teil des auslaufenden Kühlmittels in das Reaktorgebäude über, ehe die Schleusen des Sicherheitsbehälters geschlossen werden. Der Füllstand im Sicherheitsbehälter kann dann nicht bis zu den Überströmrohren zur Kondensationskammer ansteigen, erst wenn sich 1500 m³ im Sicherheitsbehälter angesammelt haben, strömt Kühlmittel in die KOKA /GRS 99/.

Nach dem Leerlaufen des Flutraums bis zur Leckstelle muss das Leck (FD-Erstabsperrarmatur) verschlossen werden. Dies kann mit dem Gehäusedeckel oder einem Blinddeckel aus dem Lager erfolgen. Ist das Leck abgedichtet, muss der Füllstand

im Flutraum und BE-Lagerbecken wieder angehoben werden, um die BE-Lagerbeckenkühlung und das Stillstandskühlen wieder in Betrieb nehmen zu können. Dies kann mit einer Nachkühlpumpe mit dem in der KOKA verbliebenen Kühlmittel erfolgen. Ferner kann mit der betrieblichen Rückförderpumpe TZ16 das ausgelaufene Kühlmittel aus dem Sicherheitsbehälter in die KOKA gefördert werden. Ist die KOKA freigeschaltet, so sind nach BHB T4, Kap. 8.18 Hilfsmaßnahmen vorgesehen, um die KOKA mit Donauwasser wieder aufzufüllen.

Für die beschriebenen Maßnahmen stehen mehr als 10 h zur Verfügung, ehe der Füllstand im RDB bis aus Oberkante Kern abgefallen ist.

Fazit

Dieser Störfall (Großes Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem im Nichtleistungsbetrieb) war bei der Auslegung der SWR-Anlagen nicht vorgesehen, weshalb dieses Ereignis nicht im ereignisorientierten Teil der BHBs behandelt wird. Es sind deshalb auch nicht in allen Anlagen Sicherheitssysteme zur Beherrschung dieses Ereignisses vorhanden. Vergleichsweise günstig ist die Situation in der Anlage KKK, die über ein zweisträngiges Gebäuderückfördersystem verfügt.

Für alle SWR-Anlagen sind umfangreiche Prozeduren erforderlich, um diesen Ereignisablauf beherrschen zu können. Diese müssen u. a. beinhalten:

- das Schließen des Lecks nach dem Leerlaufen des Flutraumes,
- das Rückfördern des ausgelaufenen Kühlmittels aus dem Reaktorgebäude oder dem Sicherheitsbehälter in Flutraum und Lagerbecken,
- falls erforderlich: das Bereitstellen von Kühlmittel über Hilfsmaßnahmen um das BE-Lagerbecken und den Flutraum wieder aufzufüllen,
- Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr aus dem Kern und dem BE-Lagerbecken.

Die Referenzanlage verfügt über eine Sicherheitseinrichtung zur Rückförderung von Kühlmittel aus dem Reaktorgebäudesumpf in den Flutraum bzw. das BE-Lagerbecken. Dieses System ist einsträngig und daher nicht einzelfehlersicher. Daher sind bei Berücksichtigung eines Einzelfehlers Hilfsmaßnahmen erforderlich, um nach dem Schließen des Lecks den Flutraum und das BE-Lagerbecken soweit aufzufüllen, dass die

Nachwärmeabfuhr mit dem notstandssicheren Nachkühlsystem (Stillstandskühlbetrieb) und dem BE-Beckenkühlsystem wieder eingerichtet werden kann. Solche Hilfsmaßnahmen können z. B. die Nachspeisung aus dem Deionatsystem oder das Rückfördern mit einer mobilen Pumpe sein.

3.4.6 Leck am Flutkompensator

Für den Brennelementwechsel werden der Reaktor und der Flutraum mit dem Flutkompensator verbunden. Danach kann der Flutraum bis auf das Füllstandsniveau des BE-Lagerbeckens gefüllt werden.

In neueren SWR-Anlagen kann sich das aus einem Leck am Flutkompensator auslaufende Kühlmittel durch Schließen der Schleusen im Sicherheitsbehälter sammeln und von dort in den Flutraum zurückgefördert werden. Für das Schließen der Schleuse stehen 25 min zur Verfügung, ehe das Kühlmittel in das Reaktorgebäude übertritt. Die Schleuse kann aber auch dann noch geschlossen werden, wenn bereits Wasser hindurchfließt, da die Bedienelemente überflutungssicher angebracht sind, und ein Zugang mit Schutzbekleidung möglich ist.

In SWR69-Anlagen ist während der Revision die SHB-Bodenluke (die sogenannte „Materialschleuse“) für Transportarbeiten geöffnet. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Luke bei einem Kühlmittelverluststörfall nicht schließen lässt. In der Referenzanlage fallen die Nachkühlpumpen durch Überflutung aus, wenn ca. 700 m³ Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausgelaufen sind.

In den Analysen der GRS zum SWR72 /GRS 99/ wurde von einer maximalen Leckrate von 70 kg/s ausgegangen, für den SWR69 /GRS06/ wurde eine Dichtungsleckage mit einer maximalen Leckrate von 34 kg/s unterstellt. Die unten beschriebenen zeitlichen Abläufe beziehen sich auf diese Leckraten.

Ereignisablauf bei geöffnetem RKL (Phase D)

In dieser Phase wird der Flutraum gefüllt und der Nachkühlbetrieb erfolgt über die Ansaugleitungen an den FD-Leitungen. Neuere Anlagen verfügen über eine Abfahrkühlleitung, die direkt am RDB angeschlossen ist. Die Verbindung zwischen Absetzbecken und BE-Lagerbecken ist geschlossen.

SWR69:

Es ist davon auszugehen, dass sich die SHB-Bodenluke bei diesem Kühlmittelverluststörfall nicht schließen lässt. In der Referenzanlage muss von einem Ausfall der Nachkühlpumpen ausgegangen werden, wenn ca. 700 m³ Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausgetreten sind. Der Nachkühlbetrieb kann mit einer der notstandssicheren Nachkühlpumpen fortgesetzt werden. Um einen Einzelfehler zu beherrschen, wären dazu während der Betriebsphasen mit gefülltem Flutraum zwei Stränge des notstandssicheren Nachkühlsystems bereitzuhalten. Dies ist jedoch nicht in jeder Revision möglich, da alle 8 Jahre die Erst- und Zweitabsperrarmaturen inspiziert werden müssen. In der Regel werden alle zwei Jahre Arbeiten Erstabsperrungen einer Redundanz durchgeführt. D. h., alle 4 Jahre kann eine Redundanz des notstandssicheren Nachkühlsystems nicht für den Nachkühlbetrieb über die Abfahrkühlleitung genutzt werden. Zur Inbetriebnahme des notstandssicheren Nachkühlsystems stehen mindestens 5 Stunden zur Verfügung, ehe 700 m³ Kühlmittel ausgetreten sind, und die Nachkühlpumpen wegen Überflutung ausfallen.

In der Referenzanlage ist eine Gebäuderückförderpumpe vorhanden, mit der ausgelaufenes Kühlmittel über den Nachkühlstrang 2 in den Flutraum zurückgefördert werden kann. Da dies nur über den Nachkühlstrang 2 möglich ist, steht diese Rückförmöglichkeit nur in jeder 2. Revision zur Verfügung.

SWR72:

Nach Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters sammelt sich das austretende Kühlmittel im Sicherheitsbehälter. Wenn sich 1500 m³ Kühlmittel im Sicherheitsbehälter (Steuerstabantriebsraum) angesammelt haben, läuft das Kühlmittel in die KOKA über. Bei Ausfall des laufenden Nachkühlstranges (Einzelfehler) ist der Reservenachkühlstrang in der Lage die Nachwärme abzuführen.

Ereignisablauf bei gefülltem Flutraum (Phase E)

In dieser Betriebsphase ist die Verbindung zwischen BE-Lagerbecken und Flutraum für Umladearbeiten geöffnet. Bei einem Leck am Flutkompensator kommt es deshalb auch zum Füllstandsabfall im BE-Lagerbecken. Um die BE-Lagerbeckenkühlung weiter zu gewährleisten, muss das Beckenschütz gesetzt und damit das BE-Lagerbecken vom Flutraum getrennt werden.

Die Nachwärmeabfuhr erfolgt in dieser Phase durch Stillstandskühlbetrieb. Dazu saugen die Nachkühlpumpen das Kühlmittel aus dem oberen Bereich des Flutraumes an. Die Frischdampfleitungen sind für Revisionsarbeiten mit Stopfen verschlossen.

SWR69:

Bei der unterstellten Leckrate vergehen ca. 2,5 Stunden, bis der Füllstand in Flutraum und BE-Lagerbecken bis auf die Höhe der Ansaugstutzen für das Stillstandskühlen und die BE-Lagerbeckenkühlung abgefallen ist. In diesem Zeitraum muss das Lagerbeckenschütz gesetzt werden. Danach sind Personalhandlungen am Rand des Absetzbeckens/Flutraumes durch die Strahlung des freigelegten Dampftrockners nicht mehr ohne weitere Schutzmaßnahmen möglich. Gelingt es rechtzeitig das Beckenschütz zu setzen, fällt die BE-Lagerbeckenkühlung nicht aus.

Durch den fallenden Füllstand im Flutraum kommt es zum Ausfall des laufenden Nachkühlstrangs. In der Referenzanlage ist eine Rückförderpumpe vorhanden, die jedoch nur über den Nachkühlstrang TH20 in den Reaktor zurückfördern kann und daher für diese Maßnahme nur bei jeder zweiten Revision zur Verfügung steht.

Gelingt das Setzen des BE-Beckenschützes nicht, so ist das Rückfördern des Kühlmittels aus dem Reaktorgebäudesumpf in den Flutraum erforderlich, um den Füllstandsabfall im Flutraum und im Lagerbecken zu verhindern. Bei einem Ausfall der Rückförderpumpe (Einzelfehler) fällt der Füllstand im Lagerbecken bis auf das Niveau des Absetzbeckens ab. Es besteht noch die Möglichkeit die BE-Lagerbeckenkühlung über die Restentleierungsleitung des BE-Lagerbeckens zu betreiben. Dazu stehen mehrere Stunden Zeit zur Verfügung, ehe die Temperatur im Lagerbecken 80°C erreicht. Nach ca. 20 Stunden ist der Füllstand im Lagerbecken bis auf das Niveau des Absetzbeckens abgefallen.

Der Ausfall des Rückförderns aus dem Gebäudesumpf hat auch die Überflutung der Nachkühlpumpen zur Folge. Die Nachwärmeabfuhr kann nach Ausdrücken eines Stopfens aus einer FD-Leitung mit einem notstandssicheren Nachkühlstrang fortgesetzt werden.

SWR72:

Für das Schließen des Schwenkschützes stehen 30 min Zeit zur Verfügung, bis der Füllstand im BE-Lagerbecken bis auf das Niveau der Ansaugstutzen für die BE-Lagerbeckenkühlung und die Nachkühlung abgefallen ist. Unter Berücksichtigung des 30-Min-Kriteriums ist davon auszugehen, dass das Schwenkschütz nicht rechtzeitig geschlossen wird und es zum Ausfall der BE-Lagerbeckenkühlung kommt. Die BE-Lagerbeckenkühlung kann jedoch wieder eingerichtet werden indem man den Flutraum und das Lagerbecken mit einem TH-Strang aus der KOKA wieder auffüllt. Das Leck wird dabei überspeist. Anschließend müsste das Schwenkschütz geschlossen und das Beckenkühlsystem wiederzuschaltet werden. Dazu stehen mehrere Stunden Zeit zur Verfügung, ehe die Temperatur im Lagebecken 80°C erreicht. Falls die KOKA freigeschaltet wurde, ist es zuvor erforderlich, diese zu schließen und wieder aufzufüllen. Das Vorgehen dazu ist im BHB T4, Kap. 8.18 beschrieben. Allerdings ist diese Maßnahme nur über VE20 möglich. Das BE-Lagerbecken kann auch mit der BE-Lagerbeckennachspeisung TD99 erfolgen.

Die Schleusen des Sicherheitsbehälters müssen geschlossen werden, um den Übertritt von Kühlmittel in das Reaktorgebäude zu unterbinden.

Im Folgenden ist vorgesehen einen Stopfen aus einer FD-Leitung auszudrücken. Der Nachkühlbetrieb kann über die Abfahrkühlleitung wieder eingerichtet werden. Gelingt dies nicht oder ist dieser Nachkühlstrang durch einen Einzelfehler ausgefallen, kann diese Maßnahme an der 2. bereitzuhaltenden Redundanz des Nachkühlsystems durchgeführt werden. Insgesamt stehen für diese Maßnahmen ca. 20 Stunden zur Verfügung, ehe der Füllstand im RDB bis zum Kern abgesunken ist. Gegebenenfalls ist die über zu geringe Mindestmenge schutzabgeschaltete Nachkühlpumpe vor ihrer Wiederinbetriebnahme zu entlüften.

Fazit

Für alle SWR-Anlagen sind umfangreiche Prozeduren erforderlich, um diesen Ereignisablauf beherrschen zu können. Diese müssen u. a. beinhalten:

- das Ausdrücken von Stopfen,
- das Rückfördern aus dem Reaktorgebäude oder dem Sicherheitsbehälter,

- die Wiederinbetriebnahme der Nachwärmeabfuhr aus dem Kern und dem BE-Lagerbecken, dazu ist ggf. die schutzabgeschaltete Nachkühlpumpe zu entlüften,
- das Auffüllen des BE-Lagerbeckens, damit die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb genommen werden kann.

SWR69:

Gelingt es das Beckenschütz rechtzeitig zu setzen, ist der Ereignisablauf prinzipiell beherrschbar. Allerdings steht nicht in allen Revisionen genügend Redundanz zur Verfügung, um den Einzelfehler zu beherrschen. Daher müssen Hilfsmaßnahmen vorgeplant werden.

Gelingt das Setzen des BE-Beckenschützes nicht, fällt der Füllstand auch im Lagerbecken ab. Die Referenzanlage verfügt über die Möglichkeit einer Rückförderung des Kühlmittels in Flutraum/Lagerbecken.

SWR72:

Es stehen ausreichend Redundanzen und Zeit zur Verfügung um die Auswirkungen auf den Kern zu beherrschen. Es sollte sichergestellt werden, dass bei freigeschalteter KOKA der Nebenkühlwasserstrang VE20 zur Nachfüllung der KOKA verfügbar gehalten wird. Fällt diese Maßnahme durch einen Einzelfehler aus, so müssen Hilfsmaßnahmen zum Wiederauffüllen durchgeführt werden, um den Füllstand im BE-Lagerbecken wieder anzuheben.

3.4.7 Leck am Boden des Reaktordruckbehälters

Lecks am RDB-Boden können eintreten durch:

- Ziehen der Welle einer Kühlmittelumwälzpumpe bevor der Dichttopf montiert wurde,
- fälschliches Anheben eines Steuerstabes bei Arbeiten an Steuerstabantrieben,
- fälschliches Ziehen einer In-Core-Messlanze bei Instandhaltungsarbeiten.

Diese Arbeiten werden in der Phase E durchgeführt.

3.4.7.1 Leck beim Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle

Da uns nicht bekannt ist, ob es wegen der beim Auslaufen des Kühlmittels auftretenden Strömungskräfte möglich ist Welle nach dem Ziehen wieder in den Sitz abzusenken, wird davon ausgegangen, dass sich das Leck nicht durch Absetzen der Welle schließen lässt.

SWR69:

Die anfängliche Leckrate beträgt ca. 1100 kg/s. Durch den schnellen Füllstandsabfall ist es nicht möglich das BE-Beckenschütz zu schließen.

Das BHB-Kapitel „Anlagentechnische Voraussetzungen für die im Stillstand befindliche Anlage“ legt fest, dass vom Zeitpunkt des Entspannens einer ZUP-Welle bis zum Abschluss des Setzens des Dichttopfes die Materialschleuse und die Montageluke auf 5,5 m geschlossen sein müssen. Ferner müssen sich die Personenschleuse und die Nebenschleuse in Betriebsbereitschaft befinden.

Wird eine ZUP-Welle fälschlich gezogen, bevor der Dichttopf gesetzt ist, so wird bei geschlossenen Luken und Schleusen das auslaufende Kühlmittel im Sicherheitsbehälter zurückgehalten. Das Kühlmittel strömt aus dem Flutraum aus und füllt den Sicherheitsbehälter bis zu den Überlaufrohren in die Kondensationskammer. Das im weiteren Verlauf aus dem Flutraum ausströmende Kühlmittel läuft über die Überströmrohre in die Kondensationskammer, bis sich der Ausgleichfüllstand zwischen RDB und Sicherheitsbehälter eingestellt hat. Der Füllstand im RDB beträgt dann ca. 13,5 m.

Entsprechend BHB B6.6, Maßnahme KI3/4 ist vorgesehen, die Nachwärme durch Flutbetrieb mit einem der betriebsbereiten Nachkühlstränge TH20 oder TH30 abzuführen. Das Kühlmittel wird aus der Kondensationskammer entnommen und über den Nachkühler und die Speisewasserleitung in den RDB zurückgefördert. Voraussetzung dafür ist, dass die Kondensationskammer geschlossen ist. Die Beckenkühlung muss über die Entleerungsleitung (BHB B6.6, Maßnahme KI3/6) sichergestellt werden. Lässt sich die BE-Beckenkühlung über die Entleerungsleitung nicht einrichten, kommt es zu einer Aufheizung des Kühlmittels im BE-Lagerbecken, bis die Auslegungstemperatur von 80°C überschritten wird. Dann ist es erforderlich, den Füllstand im BE-Lagerbecken wieder bis über das Niveau der Ansaugleitungen für die BE-Lagerbeckenkühlung anzuheben. Dazu wären alle 4 Nachkühlpumpen (Fördermenge einer Pumpe bei ca.

27 m Förderhöhe: 1000 m³/h) erforderlich, um die anfängliche Leckrate von 1100 kg/s zu überspeisen.

Durchschnittlich alle 4 Jahre werden Saugarmaturen an der Kondensationskammer zu Inspektionszwecken geöffnet. Die Kondensationskammer kann dann das aus dem Sicherheitsbehälter überströmende Kühlmittel nicht zurückhalten. Über geöffnete Armaturen würde das Kühlmittel in das Reaktorgebäude auslaufen und die Nachkühlpumpen überfluten. Die vorgesehene Nachwärmeabfuhr mit dem Nachkühlsystem wäre dann ausgefallen. Daher sollte im BHB-Kapitel „Anlagentechnische Voraussetzungen für die im Stillstand befindliche Anlage“ festgelegt werden, dass während des Ziehens einer ZUP-Welle neben dem Sicherheitsbehälter auch eventuell geöffnete die Saugarmaturen an der Kondensationskammer geschlossen werden müssen.

SWR72:

Die anfängliche Leckrate beträgt ca. 300 kg/s. Durch den schnellen Füllstandsabfall ist es nicht möglich das BE-Beckenschütz zu schließen, da es innerhalb von 30 min zur Freilegung des Dampftrockners und damit zu einer erhöhten Strahlenbelastung auf der 40 m Bühne kommt.

Um diesen Ereignisablauf beherrschen zu können, ist es erforderlich die Schleusen des Sicherheitsbehälters in Betriebsbereitschaft zu halten (eine Tür geschlossen). Das auslaufende Kühlmittel sammelt sich dann im Sicherheitsbehälter. Wenn sich 1500 m³ Kühlmittel im Sicherheitsbehälter (Steuerstabantriebsraum) angesammelt haben, läuft das Kühlmittel in die KOKA über. Von dort kann es mit einem Nachkühlstrang entnommen und über den Nachkühler und die Speisewasserleitung in den RDB zurückgeführt werden. Eine Nachkühlpumpe reicht aus, um das Leck zu überspeisen. Voraussetzung dafür ist, dass die Kondensationskammer geschlossen ist und nicht freigeschaltet ist. D. h., dass eventuell geöffnete Saugarmaturen an der Kondensationskammer vorsorglich geschlossen werden müssen, bevor mit den Arbeiten zum Ziehen einer Kühlmittelumwälzpumpenwelle begonnen wird.

Das noch in der Kondensationskammer verbliebene Kühlwasser reicht aus, um den Füllstand in Flutraum und Lagerbecken wieder bis über das Niveau der Ansaugleitungen für die Lagerbeckenkühlung anzuheben.

Fazit:

SWR69:

Die Nachwärmeabfuhr aus dem Kern kann mit den Nachkühlpumpen durch Ansaugen aus der KOKA gewährleistet werden, wenn die Schleusen betriebsbereit (mindestens eine Tür geschlossen) sind und die Kondensationskammer betriebsbereit ist. Der Füllstand im Lagerbecken fällt bis auf das Niveau der Schwelle zum Absetzbecken. Um die Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb nehmen zu können wäre es erforderlich den Füllstand in Flutraum und Lagerbecken wieder bis auf das Niveau der Ansaugleitungen für die BE-Lagerbeckenkühlung anzuheben. Dazu wäre jedoch der Betrieb aller 4 Nachkühlpumpen erforderlich, um das Leck zu überspeisen. Alternativ ist in der Referenzanlage die BE-Lagerbeckenkühlung über die Restentleierungsleitung möglich.

Für die Beherrschung dieses Ereignisses ist es erforderlich, dass:

- eine Prozedur zur Beherrschung dieses Ereignisablaufes vorliegt,
- im BHB (Anforderungen an den Stillstand) festgelegt ist, dass bei Arbeiten zum Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle die Schleusen (mindestens eine Tür geschlossen) und die Kondensationskammer betriebsbereit sind.

SWR72:

Ereignisablauf ist unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers und 30-Minuten-Kriteriums beherrschbar. Dafür ist es erforderlich, dass:

- eine Prozedur zur Beherrschung dieses Ereignisablaufes vorliegt,
- im BHB (Anforderungen an den Stillstand) festgelegt ist, dass bei Arbeiten zum Ziehen einer Kühlmittelumwälzpumpen-Welle die Schleusen (mindestens eine Tür geschlossen) und die Kondensationskammer betriebsbereit sind.

3.4.7.2 Leck durch Arbeiten an Steuerstabantrieben oder In-Core-Messlanzen

SWR69:

Beim fälschlichen Anheben eines Steuerstabes aus seinem Dichtsitz oder beim fälschlichen Ziehen einer Messlanze ergibt sich eine anfängliche Leckrate von ca. 15 kg/s.

Es kann davon ausgegangen werden, dass es bei diesen Leckraten noch möglich ist, die SHB-Bodenluke (Materialschleuse) zu schließen, falls das Leck nicht abgesperrt werden kann.

Das Leck kann durch Wiedereinsetzen des angehobenen Steuerstabes oder Wiedereinsetzen der gezogenen Messlanze verschlossen werden. Dafür steht eine Zeitspanne von ca. 6 Stunden zur Verfügung, ehe der Füllstand soweit abgesunken ist, dass es zur Freilegung des Dampftrockners und zum Ausfall der Nachkühlung kommt. In dieser Zeit kann auch das BE-Beckenschütz gesetzt werden, um einen Ausfall der Lagerbeckenkühlung durch Füllstandsabfall zu verhindern.

Gelingt das Absperrn des Lecks nicht, soll entsprechend BHB B6.6, Maßnahme KI3/2 versucht werden, die Schleusen des Sicherheitsbehälters zu schließen. Bei geschlossenen Schleusen (Materialschleuse, Personenschleuse und Notschleuse) kann das ausgeströmte Kühlmittel mit einem der beiden verfügbaren Nachkühlstränge zurück in den RDB gefördert werden. Der Nachkühlbetrieb kann mit einem der beiden verfügbaren Nachkühlstränge oder mit einem notstandsicheren Nachkühlstrang erfolgen.

Fazit:

Das Ereignis ist unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers und des 30-min-Kriteriums beherrschbar. Es steht ausreichend Zeit zur Verfügung um die Schleusen zu schließen.

3.4.8 Notstromfall länger als 2 Stunden

Ereignisablaufbeschreibung für geschlossenen RKL (Phase C)

SWR69:

In dieser Phase wird die Nachzerfallsleistung über eine Nachkühlkette abgeführt. Nach dem Eintritt des Notstromfalles werden über die Kriterien Spannung und Frequenz auf der verfügbaren Notstromschiene 2BV „tief“ die Verbraucher von den Notstromschienen abgeworfen und die beiden zugehörigen Notstromdiesel EY02 und EY03 gestartet. Die benötigten Verbraucher müssen von Hand wieder zugeschaltet werden, da die Hand-/Automatikbaugruppen gezogen sind. Die Funktion eines Diesels ist für eine aus-

reichende Versorgung der Notstromschiene BV ausreichend. Unterstellt man einen Einzelfehler auf der Notstromschiene BV (z. B. Schienenkurzschluss), so muss lt. BHB ein Energieversorgungsstrang sowie ein Nachkühlstrang des USUS-Systems nach spätestens einer Stunde verfügbar zu sein. /GRS 06/

Nach dem Start der Notstromdiesel kann einer der Nachkühlstränge TH20 oder TH30 für den Abfahrkühlbetrieb zugeschaltet werden und der Notstromfall ist beherrscht. Die Inbetriebnahme eines Nachkühlstrangs muss in der Betriebsphase C innerhalb von ca. 20 Minuten nach Ausfall des Abfahrkühlens abgeschlossen sein, da in diesem Zeitraum der Druck von 0,4 MPa durch das Aufheizen des Kühlmittels von 120 °C auf 140°C überschritten wird. Bei 0,4 MPa erhalten die Abfahrkühlleitungen einen Schutz-Zu-Befehl. Gelingt es nicht innerhalb dieser 20 Minuten den Abfahrkühlbetrieb wiederherzustellen, muss der RDB durch Öffnen eines S+E-Ventils druckentlastet werden.

Unter Berücksichtigung des 30-Minutenkriteriums und des Einzelfehlerkriteriums muss der RDB in jedem Fall druckentlastet werden, bevor die Nachwärmeabfuhr wieder hergestellt werden kann.

Thermohydraulische Untersuchungen haben gezeigt, dass das Öffnen eines S+E-Ventils von Hand innerhalb von ca. 3,5 h durchgeführt werden muss. Innerhalb dieser Zeit steigt der Druck auf 1,9 MPa. Wird die Druckentlastung von Hand erst nach Überschreiten von 1,9 MPa durchgeführt oder wurde sie unterlassen und die S+E-Ventile öffnen durch die Druckbegrenzungsfunktion bei ca. 8,6 MPa, so ist von einem Folgeleck am RDB über das S+E-Ventil auszugehen, da bisher nicht nachgewiesen wurde, dass die S+E-Ventile bei Drücken von > 1,9 MPa Wasser abblasen können. Öffnet keines der 4 noch verfügbaren S+E-Ventile, kommt es zu einem Kernschadenzustand unter hohem Druck (Überschreiten des 1,3-fachen Auslegungsdruckes).

Durch das Öffnen eines S+E-Ventils kommt es durch das Druckgefälle zur KOKA zum Abfluss von Kühlmittel aus dem RDB in die KOKA. Es wird davon ausgegangen, dass bis zur Druckentlastung auf ca. 0,2 – 0,3 MPa, wenn das S+E-Ventil durch Eigengewicht wieder zufällt, der Füllstand bis auf das Niveau der FD-Leitung abgefallen ist.

Um das Abfahrkühlen über die Abfahrkühlleitungen mit einem Reservestrang wieder in Betrieb nehmen zu können, muss das geöffnete S+E-Ventil wieder schließen und der Füllstand angehoben werden. Die S+E-Ventile fallen normalerweise bei Unterschreiten von ca. 0,3 MPa durch Eigengewicht zu. Der Füllstand kann entweder mit TK, TH20,

TH30 oder TF20 in der Funktion Kernfluten angehoben werden. Nach dem Fluten können TH20, TH30 oder der USUS-Strang TF20 den Abfahrkühlbetrieb übernehmen und er Störfall ist beherrscht. Fällt der Abfahrkühlbetrieb mit TH20, TH30 und TF20 aus, so muss die Nachwärme aus dem Kern durch Fluten über ein offenes S+E-Ventil an die Kondensationskammer abgegeben und von dort durch KOKA-Kühlen mit TH20, TH30 oder TF20 an den Rhein abgeführt werden.

Bleibt das S+E-Ventil nach der Druckentlastung von Hand fehlerhaft offen, kann das Abfahrkühlen nicht über die FD-Leitung eingerichtet werden. In diesem Fall muss die Nachwärme durch Fluten und KOKA-Kühlen abgeführt werden. Dies kann mit den Nachkühlsträngen TH20 oder TH30 sowie mit dem notstandssicheren Nachkühlstrang TF20 erfolgen.

SWR72:

Beim SWR der Baulinie 72 wird die Nachwärme ebenfalls mit einer Nachkühlkette abgeführt. Nach Eintritt eines Notstromfalles werden durch die Unterspannung auf den Notstromschienen die Notstromdiesel gestartet und das Dieselbelastungsprogramm läuft an. Zunächst werden alle Verbraucher von den Schienen weggeschaltet und danach gestaffelt wieder zugeschaltet. Das heißt, die Wiederinbetriebnahme der Wärmeabfuhr geschieht automatisch. Fällt das Dieselbelastungsprogramm (einkanalig je Notstromschiene) für den Nachkühlstrang durch Einzelfehler aus, muss die Nachwärme von Hand mit einem Reservestrang zugeschaltet werden. Da das Nachkühlen „eingefroren“ ist, muss die freigeschaltete Nachkühlpumpe des Reservestranges zuerst wieder scharf geschaltet werden. Steigt in der Zwischenzeit wegen der ausgefallenen Nachwärmeabfuhr der Druck über 0,5 MPa wird die Druckabsicherung im Stillstand (autarke Verriegelung) aktiviert und automatisch zwei S+E-Ventile geöffnet und der Druck abgesenkt. Durch die offenen S+E-Ventile strömt das Kühlmittel in die KOKA und der Füllstand sinkt bis auf die Höhe der Frischdampfleitungen. Eine Prozedur müsste regeln, dass mit einem Reservestrang geflutet wird, die S+E-Ventile wieder geschlossen werden (durch Entregen der Haltemagnete), die Abfahrkühlleitung sowie die Frischdampf-ISO-Ventile des Reservestranges geöffnet werden und der Reservestrang schließlich in die Funktion Abfahrkühlen umgeschaltet wird.

Ereignisablaufbeschreibung für offenen RKL (Phase D)

SWR69:

In dieser Betriebsphase ist der RDB-Deckel geöffnet. Der Füllstand im RDB beträgt 17,8 m und die Nachzerfallsleistung zu Beginn der Phase beträgt 15,7 MW. Nach Ausfall der Nachwärmeabfuhr vergehen ca. 3,5 Stunden, ehe es durch die Kühlmittelverdampfung zur Freilegung der Frischdampfleitungen kommt. Fällt die Wiederschaltung des TH20-Stranges aus, muss spätestens bis zu diesem Zeitpunkt der Füllstand im RDB wieder aufgefüllt und das Abfahrkühlen mit einem Reservenachkühlstrang TH30 oder TF20 eingeleitet werden.

SWR72:

Beim SWR der Baulinie 72 gelten in der Betriebsphase D mit Ausnahme der automatischen Wiederschaltung der Nachwärmeabfuhr nach Spannungswiederkehr analoge Bedingungen, wie beim SWR der Baulinie 69.

Ereignisablaufbeschreibung bei gefülltem Flutraum (Phase E):

In dieser Betriebsphase ist der Flutraum vollständig gefüllt. Die Nachzerfallsleistung beträgt zu Beginn der Betriebsphase E 13,5 MW. Fällt die Wiederschaltung des Betriebsstranges TH20 aus, beginnt die Freilegung der Frischdampfleitung nach ca. 93 Stunden (bei geschlossenem BE-Beckenschütz), d. h. bis zu diesem Zeitpunkt muss spätestens das Abfahrkühlen mit einem Reservestrang TH30 oder TF20 eingeleitet werden. Ohne Gegenmaßnahmen beginnt die Kernfreilegung frühestens nach ca. 100 h. Die Maßnahmen entsprechen denen für die Betriebsphase D.

Die Nachkühlkette für das BE-Lagerbeckenkühlsystem TG ist nicht notstromgesichert. Die Lagerbeckenkühlung kann auch mit dem Nachkühlstrang TH30 durchgeführt werden. Bei einem Einzelfehler im Nachkühlstrang TH30 lässt sich eine Notstromgesicherte Beckenkühlung mit TG einrichten. Dazu wird die TG-Pumpe auf eine der notstandsicheren Notstromschienen 6CW oder 7CX aufgeschaltet und der BE-Lagerbeckenkühler an das Feuerlöschsystem angeschlossen. Eine schriftliche Prozedur (Maßnahme im Notfallhandbuch) ist dafür vorhanden.

SWR72:

Beim SWR der Baulinie 72 gelten in der Betriebsphase E mit Ausnahme der automatischen Wiedereinschaltung der Nachwärmeabfuhr nach Spannungswiederkehr analoge Bedingungen, wie beim SWR der Baulinie 69.

Die beiden Lagerbecken-Kühlstränge TM11 und TM21 sind nicht notstromgesichert. Die Lagerbeckenkühlung kann aber im Nichtleistungsbetrieb über jeden der drei Nachkühlstränge durchgeführt werden, wobei ein Nachkühlstrang ausreicht, die Lagerbeckentemperatur unterhalb der Auslegungstemperatur von 80 °C zu halten. Somit ist das Einzelfehlerkriterium für die Lagerbeckenkühlung auch im Notstromfall erfüllt.

Fazit

Die Nachweiskriterien sowie das Einzelfehlerkriterium und das 30-min-Kriterium werden in allen Phasen für das Ereignis Notstromfall erfüllt. Für die BE-Lagerbeckenkühlung ist eine Hilfsmaßnahme vorgeplant.

3.5 Schlussfolgerungen hinsichtlich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen

Die Ereignisablaufanalysen im vorangegangenen Kapitel zeigten, dass die Nachweiskriterien (Kühlbarkeit des Kerns bzw. Kernbedeckung, siehe Anhang A) in den meisten Fällen mit den vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren unter Einhaltung der Anforderungen an die Sicherheitssysteme (Einzelfehlerkriterium, 30-Minuten-Kriterium) beherrscht werden können. Allerdings sind für einige untersuchte Ereignisse die derzeit verfügbaren Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren zur Beherrschung nicht ausreichend (große Lecks durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler). Ein Grund dafür ist in der Philosophie der Anlagenauslegung zu finden. Ursprünglich wurden die Sicherheitssysteme für den Leistungsbetrieb konzipiert. Man ging davon aus, dass damit auch die Anforderungen durch Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb abgedeckt sind.

Die meisten dieser Ereignisse sind jedoch prinzipiell mit zusätzlichen Maßnahmen beherrschbar. Diese Maßnahmen umfassen

- zusätzliche administrative Vorkehrungen
Diese sollen Randbedingungen herstellen, unter denen das zu untersuchende Ereignis beherrscht werden kann.
- Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen
Nutzung betrieblicher Einrichtungen um beispielsweise zusätzliches Kühlmittel bereitzustellen. Ferner lassen sich einige Maßnahmen des Notfallhandbuches auch im Nichtleistungsbetrieb einsetzen.
- Reparatur ausgefallener Sicherheitseinrichtungen oder ggf. Wiederinbetriebnahme freigeschalteter Sicherheitseinrichtungen
Für einige Ereignisabläufe steht sehr viel Zeit für Gegenmaßnahmen zur Verfügung. Reparaturen oder die Wiederherstellung/Normalisierung freigeschalteter Systemfunktionen kommen in Betracht, wenn die Zeit für die Durchführung dieser Maßnahmen deutlich geringer ist als die Zeitspanne bis zum Erreichen von Nachweiskriterien.

Das folgende Bild stellt eine mögliche Vorgehensweise bei der Berücksichtigung von Ereignisabläufen im BHB dar.

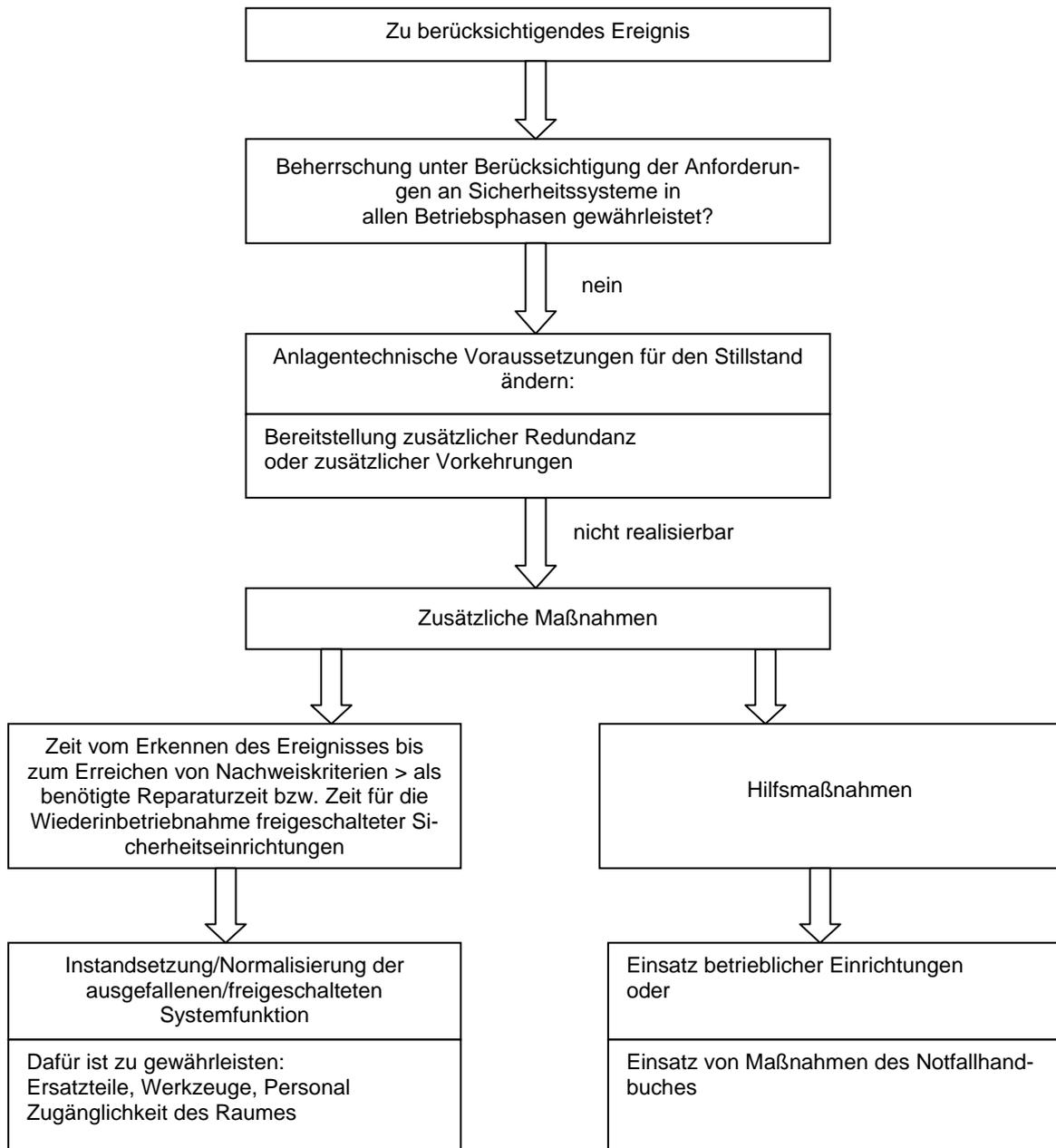


Abbildung 3-1: Mögliche Vorgehensweise bei der Berücksichtigung von Ereignisabläufen im BHB

Nachfolgend werden die oben genannten zusätzlichen Maßnahmen zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb diskutiert.

3.5.1 Zusätzliche administrative Vorkehrungen

Im BHB-Kapitel „Anforderungen an den Stillstand der Anlage“ sind die Randbedingungen für die einzelnen Phasen des Anlagenstillstandes festgelegt. Diese Festlegungen sollten insbesondere folgendes beinhalten:

- Definition der einzelnen Betriebsphasen
Beginn und Ende jeder Phase muss durch anlagentechnische Parameter klar definiert sein.
- Bereitzuhaltende Systeme und deren Redundanz
Für jede Betriebsphase sind die zur Beherrschung von auslösenden Ereignissen benötigten Sicherheitssysteme aufzulisten. Die Anzahl der bereitzuhaltenden Redundanzen richtet sich nach den phasenspezifischen Anforderungen an diese Sicherheitssysteme.
- Bereitzuhaltende Überwachungseinrichtungen
Überwachungseinrichtungen, die dazu dienen auslösende Ereignisse frühzeitig zu erkennen, müssen verfügbar gehalten werden. Beispiel: Ringraumsumpf-Niveauüberwachung, Druck-, Temperatur im RKL, Füllstandsüberwachung des Flutraumes
- Festlegung unzulässiger Arbeiten
Fehlhandlungen können zu auslösenden Ereignissen führen. Daher sollten phasenspezifisch unzulässige Arbeiten aufgelistet werden. Beispiel: Prüfungen oder Instandhaltungsarbeiten an laufenden oder in Bereitschaft stehenden Einrichtungen zur Nachwärmeabfuhr (einschließlich Stromversorgung, Steuerung und Reaktorschutz) dürfen nicht durchgeführt werden.
- Zusätzliche Vorkehrungen
Solche Vorkehrungen dienen dazu, Randbedingung zu schaffen, welche die Beherrschung bestimmter Störfälle gewährleisten.

Im Folgenden soll auf die zuletzt genannten zusätzlichen Vorkehrungen eingegangen werden. Einige Störfälle können nur beherrscht werden, wenn zusätzliche administrative Vorkehrungen getroffen werden. Beispiele für solche Ereignisabläufe sind im Folgenden aufgeführt.

- Leck am RKL im Sicherheitsbehälter bei DWR-Anlagen:
Um bei solchen Störfällen die Sumpffunktion des Sicherheitsbehälters zu gewähr-

leisten, müssen die Sumpfdurchführungen immer geschlossen sein. Das heißt, bei Arbeiten an den Sumpfdurchführungen (z. B. an den Sumpfarmaturen) müssen die entstandenen Öffnungen durch Deckel dicht verschlossen werden.

- Leck am RDB-Boden beim Ausbau einer Zwangsumwälzpumpen-Welle (SWR):
Um diesen Ereignisablauf beherrschen zu können müssen beim Ziehen der Welle die Schleusen und Montageöffnungen im unteren Bereich des SHB geschlossen sein. Dadurch wird verhindert, dass das Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausläuft und dadurch verloren geht. Ebenso müssen eventuell geöffnete Saugarmaturen an der Kondensationskammer vor dem Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle geschlossen werden.
- Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem (SWR):
Bei einem großen Leck infolge eines Instandhaltungsfehlers an einer Erstabsperrarmatur muss die Leckstelle (Gehäuse der Armatur) nach dem Leerlaufen des Flutraumes mit einem Blinddeckel verschlossen werden. Daher sollte im BHB (bzw. in Arbeitsaufträgen) festgeschrieben werden, dass für den Zeitraum in dem die Armatur demontiert ist an einer festgelegten Stelle ein passender Blinddeckel vorzuhalten ist, mit dem das Gehäuse verschlossen werden kann.

Aus unserer Sicht ist es erforderlich solche Vorkehrungen im BHB „Anforderungen an den Stillstand der Anlage“ festzulegen. Ferner sollten diese Vorkehrungen auch in Unterlagen zur Planung und Instandhaltung (Arbeitsaufträge) für die oben genannten Instandhaltungsarbeiten als Überprüfungsschritte übernommen werden.

3.5.2 Hilfsmaßnahmen/Ersatzmaßnahmen

Die Ereignisablaufanalysen in den Abschnitten 3.3 und 3.4 zeigten, dass einige Ereignisabläufe nicht ohne Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen beherrscht werden können. Bei Ausfall von Sicherheitseinrichtungen müssen Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen genutzt werden zum

- Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr
Beispiele: Fortsetzung der Nachwärmeabfuhr aus dem RKL oder dem BE-Lagerbecken mit Hilfe des Feuerlöschsystems bei Ausfall des Nebenkühlwassersystems (DWR 2. Generation, SWR69)

- Ersetzen von verlorengegangenenem Kühlmittel
Beispiele: Bereitstellung von Kühlmittel aus der Kühlmittellagerung bei Füllstandsabfall im Flutraum/Lagerbecken (Konvoi), Nachspeisen der KOKA aus der Donau (SWR72)

Die genannten Beispiele wurden aus Betriebshandbüchern deutscher Anlagen entnommen und zeigen, dass zur Beherrschung von auslösenden Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb der Einsatz von Maßnahmen des Notfallhandbuches vorgesehen ist.

Nach KTA3301, Abs. 5.2.1 e), darf, unter Berücksichtigung des Zeitverhaltens der Reaktoranlage, auf die Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums verzichtet werden, wenn bei einem zusätzlichen Ausfall die Systemfunktion rechtzeitig wieder hergestellt oder die NWA auf andere Weise sichergestellt werden kann, wobei auch Hilfsmaßnahmen zulässig sind. In den BHB der deutschen Anlagen wird für solche Maßnahmen häufig der Begriff „Ersatzmaßnahmen“ verwendet, wobei hier in erster Linie Maßnahmen des Notfallhandbuches (Maßnahmen der Sicherheitsebene 4) vorgesehen sind. Im Gegensatz zur KTA3301 werden in /SIK 09/, Modul 10, Abs. 1.1.2 Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen nicht erwähnt.

Wie in den Ereignisablaufanalysen in den Abschnitten 3.3 und 3.4 dargestellt, können einige Ereignisabläufe nicht ohne Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen beherrscht werden. Das betrifft insbesondere große Lecks. Hier sind Ersatzmaßnahmen erforderlich – und auch teilweise bereits in den BHB-Prozeduren vorgesehen – um verlorengegangenes Kühlmittel zu ersetzen und den Flutraum, das BE-Lagerbecken oder die KOKA wieder aufzufüllen.

Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb sollten grundsätzlich zulässig sein, wenn sie folgende Anforderungen erfüllen:

- Nachweis der ausreichenden Wirksamkeit für den jeweiligen Anforderungsfall,
- vorgeplante (schriftlich) und geschulte Prozedur,
- geprüfte notstromgesicherte Einrichtungen,
- im BHB Kapitel „Anforderungen an den Anlagenstillstand“ ist festgelegt, dass die für die Maßnahme benötigten Einrichtungen verfügbar zu halten sind.

3.5.3 Einsatz von Betriebssystemen

Bei einigen Ereignisabläufen ist der Einsatz betrieblicher Einrichtungen hilfreich. Auch wenn Ersatz- bzw. Hilfsmaßnahmen (Maßnahmen des NHB) vorgeplant sind, können betriebliche Einrichtungen in die Beherrschung von Ereignisabläufen einbezogen werden, um den Einsatz von Notfallmaßnahmen zu vermeiden.

In probabilistischen Analysen zum Nichtleistungsbetrieb werden betriebliche Einrichtungen berücksichtigt, wenn diese während der Revision zur Verfügung stehen und ihr Einsatz in den Prozeduren vorgesehen ist oder wenn sie automatisch in Betrieb genommen werden. Beispiele für den Einsatz betrieblicher Einrichtungen sind:

- betriebliche BE-Lagerbeckennachspeisung aus Deionatsystem,
- Kühlmittelnachspeisung mit dem Steuerstabspülwassersystem oder dem Pumpensperrwassersystem (SWR)
- Rückfördern aus dem Sicherheitsbehältersumpf in die KOKA mit dem Rückfördersystem TZ16 (SWR72),
- Nachspeisung von Kühlmittel aus der Kühlmittellagerung über das Volumenregelsystem (DWR).

Ein Problem besteht jedoch darin, dass einige dieser betrieblichen Einrichtungen nicht notstromgesichert sind. So ist beispielsweise das Deionatsystem nicht in allen deutschen Anlagen notstromgesichert. Bei Berücksichtigung einer betrieblichen Einrichtung zur Beherrschung eines Ereignisablaufes sollten die gleichen Anforderungen gestellt werden, wie sie im vorangegangenen Abschnitt für die Berücksichtigung von Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen aufgestellt wurden. Sollen nicht notstromgesicherte betriebliche Einrichtungen berücksichtigt werden, sollte zusätzlich als Back-up eine Notfallmaßnahme vorhanden sein, mit der die erforderliche Systemfunktion auch bei einem Notstromfall sichergestellt werden kann.

3.5.4 Instandsetzung ausgefallener Systemfunktionen oder Wiederinbetriebnahme freigeschalteter Systeme

Bei einigen Ereignisabläufen des Nichtleistungsbetriebs stehen lange Karenzzeiten zur Verfügung, bis es nach Eintritt eines störfallauslösenden Ereignisses zum Erreichen von Nachweiskriterien kommt. Für solche Fälle braucht entsprechend dem Regelwerk

der Einzelfehler nicht berücksichtigt zu werden, wenn die ausgefallene Sicherheitsfunktion rechtzeitig wiederhergestellt werden kann /KTA 33, SIK 09/.

Entsprechend KTA3301, Abs. 5.2.1 e), darf, unter Berücksichtigung des Zeitverhaltens der Reaktoranlage, auf die Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums verzichtet werden, wenn bei einem zusätzlichen Ausfall die Systemfunktion rechtzeitig wieder hergestellt oder die NWA auf andere Weise sichergestellt werden kann, wobei auch Hilfsmaßnahmen zulässig sind.

Nach /SIK 09/, Modul 10, Abs. 1.1.2 (2) ist eine Unterschreitung des erforderlichen Redundanzgrades in den Betriebsphasen E und F dann zulässig, wenn die Zeit bis zur Nichteinhaltung von Nachweiskriterien mehr als 10 Stunden beträgt und die ausgefallenen oder in Instandhaltung befindlichen aktiven Systemfunktionen zuverlässig innerhalb dieses Zeitraums verfügbar sind.

Die Betriebserfahrung zeigt, dass bestimmte Instandhaltungsmaßnahmen (Ersatz, Reparatur ausgefallener Komponenten, Rückschaltung) auch in weniger als 10 Stunden zuverlässig durchgeführt werden können. Aus unserer Sicht erscheint es sinnvoller das Kriterium dahingehend zu formulieren, dass Instandsetzungsmaßnahmen dann berücksichtigt werden können, wenn die Zeitspanne vom Erkennen des Ereignisses bis zum Erreichen von Nachweiskriterien deutlich kleiner ist als die benötigte Zeit zur Wiederherstellung der ausgefallenen Systemfunktion.

Für Ereignisabläufe, bei denen Kredit von Ersatz oder Reparatur ausgefallener Komponenten genommen wird ist sicherzustellen, dass erforderliche Ersatzteile verfügbar und die Arbeiten unter Störfallbedingungen durchführbar sind.

Soll Kredit von der Wiederinbetriebnahme freigeschalteter Redundanzen genommen werden, muss sichergestellt sein, dass bei der Revision dieser Redundanzen nur solche Arbeiten durchgeführt werden, die in der verfügbaren Karenzzeit wieder rückgängig gemacht werden können. Ferner ist zu berücksichtigen, dass Arbeiten zur Normalisierung ggf. unter Störfallbedingungen durchzuführen sind.

3.5.5 30-Minuten-Kriterium

Ein wichtiges Merkmal für die Auslegung von Sicherheitssystemen in deutschen Kernkraftwerken ist das 30-Minuten-Kriterium. Die Störfalleitlinien /SLL 83/, die RSK-

Leitlinien für Druckwasserreaktoren /RSK LL/ und die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke /SIK 09/ fordern eine automatische Anregung der Sicherheitssysteme, so dass in den ersten 30 Minuten nach Störfallbeginn keine Handmaßnahmen erforderlich sind.

Das 30-Minuten-Kriterium soll dem Wartpersonal ausreichend Zeit zur Diagnose eines Ereignisablaufes und zur Planung des weiteren Vorgehens zur Verfügung stellen. Im Leistungsbetrieb erfolgt bei Störfällen die Anregung der Sicherheitssysteme automatisch und als Folge des 30-Minuten-Kriterium sind Leittechnikfunktionen für die Betätigung der Sicherheitssysteme vorzusehen. In den An- und Abfahrphasen sind diese Leittechnikfunktionen (Begrenzungen, Reaktorschutz) weiterhin verfügbar. Anders ist die Situation in den Stillstandsphasen (Nachkühlbetrieb). Hier ist die automatische Anregung der Sicherheitseinrichtungen, abgesehen von einigen Ausnahmen, nicht verfügbar. Sicherheitssysteme müssen in der Regel von Hand betätigt werden.

Die Ereignisablaufanalysen in den Abschnitten 3.3 und 3.4 ergaben, dass das 30-Minuten-Kriterium prinzipiell auch für alle zu untersuchenden Ereignisse im NLB anwendbar ist. Bei einigen Ereignissen (insbesondere im $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb) sind Personalhandlungen innerhalb der ersten 40 Min erforderlich, um den Störfall zu beherrschen. Bei anderen Ereignissen führt die Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums zu komplexeren Ereignisabläufen. Ein Beispiel dafür sind u. a. Leckstörfälle. In Abhängigkeit von der Größe des Lecks ist es unter Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums nicht immer möglich das BE-Lagerbeckenschütz zu setzen, bevor der Füllstand soweit abgefallen ist, dass es zum Ausfall der Lagerbeckenkühlung kommt. In solchen Fällen sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um den Ereignisablauf beherrschen zu können.

Die Ereignisablaufanalysen zeigten, dass detaillierte Prozeduren für Störfälle im Nichtleistungsbetrieb erforderlich sind. Diese Prozeduren sollten auch berücksichtigen, dass Personalhandlungen in den ersten 30 Minuten nach Störfalleintritt nicht durchgeführt werden.

3.5.6 Prüfzeitpunkte für sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen

Probabilistische Sicherheitsanalysen zeigen, dass der Prüfzeitpunkt für Sicherheitseinrichtungen einen wesentlichen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Gefährdungszuständen hat. Da manche Fehlerursachen zeitabhängig wirken (z. B. Korrosion, Ablage-

rungen, Alterung) ist es sinnvoll, sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen, die während des Anlagenstillstandes zum Einsatz kommen oder für die Beherrschung von Ereignisabläufen im Anlagenstillstand benötigt werden, unmittelbar vor ihrem Einsatz bzw. vor der Anlagenrevision zu testen.

Bei Prüfzeitpunkten und Prüfintervallen wird in den deutschen Anlagen unterschiedlich vorgegangen. Als Beispiel sei hier die Loop-Füllstandsmessung genannt. Im Zuge der Untersuchungen der GRS zum Nichtleistungsbetrieb einer Konvoi-Anlage /GRS 03/ wurde in der Referenzanlage festgelegt, die Wirkdruckleitungen der Messumformer kurz vor dem Absenken des Füllstands auf $\frac{3}{4}$ -Loop (max. ca. 10 h vorher) mit Deionat zu spülen um eine mögliche Verstopfung derselben zu entdecken und zu beseitigen. In anderen Anlagen wird dieser Spülvorgang nur alle 4 Jahre durchgeführt. Aus unserer Sicht ist das Vorgehen in der Referenzanlage /GRS 03/, die Wirkdruckleitungen der Messumformer jährlich kurz vor dem Absenken des Füllstandes zu spülen, günstiger als in den anderen Anlagen zu bewerten.

Die Prüfung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen, insbesondere solcher Einrichtungen, die nur jährlich oder noch seltener geprüft werden, sollte unmittelbar vor ihrem Einsatz bzw. vor der Revision erfolgen. Für besonders wichtige Komponenten (Loop-Messung) sollte diese Prüfung in einem Haltepunkt (BHB-Schritt) im Abfahr-BHB festgeschrieben werden.

3.6 Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nachweiskriterien

In den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke /SIK 09/ wurden erstmals Nachweiskriterien für die einzelnen Betriebsphasen des Nichtleistungsbetriebes vorgeschlagen. Für die Wirksamkeit der Kernkühlung wäre in Phasen mit geöffnetem RDB die Kernbedeckung nachzuweisen. Das Sieden des Kühlmittels mit Dampffreisetzung in den Sicherheitsbehälter oder das Reaktorgebäude wäre zulässig.

Die Ereignisablaufanalysen in den Abschnitten 3.3 und 3.4 ergaben, dass diese Nachweiskriterien unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen (Redundanz, 30-Minuten-Kriterium) in den Betriebsphasen C – D eingehalten werden können.

In der Phase E ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Flutraumauskleidung in den deutschen Anlagen nur für Temperaturen bis maximal 80°C ausgelegt ist. Für höhere

Temperaturen ist die Integrität der Flutraumauskleidung nicht nachgewiesen. Als Beispiel siehe Ereignis „Ausfall eines in Betrieb befindlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems (DWR)“, Abschnitt 3.3.3. Phase E. Für den Fall, dass bei der Nachweisführung von Kühlmitteltemperaturen über 80°C im Flutraum Kredit genommen wird, müsste u. E. nachgewiesen werden, dass es bei längerem Sieden des Kühlmittels im Flutraum nicht zu einem Integritätsverlust der Flutraum- bzw. Absetzbeckenauskleidung kommt. Anderenfalls sollte eine weitere Redundanz bereitgehalten werden, um den zulässigen Redundanzgrad nicht zu unterschreiten.

4 Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren und der phasenspezifischen Regelungen des Betriebshandbuchs für den Nichtleistungsbetrieb

Der Begriff der „Prozedur“ bezeichnet im Folgenden sowohl das Vorgehen zur Erfüllung einer Aufgabe als auch das Dokument, in dem dieses Vorgehen niedergeschrieben ist. Unter dem Vorgehen sind die Art und die Abfolge der Kontrollen, Eingriffe und sonstigen Handlungen zu verstehen, die das Personal in einer gegebenen Situation auszuführen hat, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. In der Regel KTA 1201 wird hierbei der Begriff „Handlungsanweisungen“ /KTA 12/ verwendet. Administrative Festlegungen werden im Rahmen dieses Vorhabens nur insoweit diskutiert, als dass sie zur Bereitstellung der Prozeduren erforderlich sind, mit denen Störungsereignisse bei stillstehender Anlage beherrscht werden können. Die konkrete Bearbeitung stellt auch Anforderungen an Zahl, Qualifikation, Verfügbarkeit, Kooperation und Kommunikation der Personen, die nach diesen Prozeduren Störungen und Störfälle des Nichtleistungsbetriebs zu bewältigen haben. Organisatorische Aspekte dieser Art gehen über den Rahmen des vorliegenden Projektes hinaus. Daher sollten zukünftige Untersuchungen auch der Frage gewidmet sein, ob die bestehenden organisatorischen Vorkehrungen, (z. B. Rufbereitschaft, Räumungsalarm vor dem Hintergrund einer großen Zahl von in der Anlage tätigen Personen, Aufbau der Krisenorganisation), ausreichen, um den spezifischen Anforderungen der Ereignisabläufe im Nichtleistungsbetrieb gerecht zu werden.

4.1 Administrative Festlegungen zur Bereitstellung erforderlicher Prozeduren

Alle absehbaren Tätigkeiten und Maßnahmen mit sicherheitstechnischer Bedeutung in der Anlage sind unter Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte so zu planen, dass die Voraussetzungen für das sicherheitstechnisch erforderliche Verhalten der in der Anlage tätigen Personen gegeben sind (vgl. KTA 3904 /KTA 39/ und /SIK 09/ Modul 10).

Eine sich in der Revision befindliche Anlage verlangt besondere Anstrengungen zur Realisierung dieses Grundsatzes, da

- Automatikfunktionen und Systeme nur noch eingeschränkt verfügbar sind und Personalhandlungen an Bedeutung gewinnen,
- stillstandsphasenabhängige, teilweise lange Karenzzeiten zur Verfügung stehen die neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen,
- die Erkennbarkeit von Störungen von der Warte aus erschwert sein kann und zusätzliche, neue Erkennungsmöglichkeiten durch vor Ort tätiges Personal bestehen,
- im Leistungsbetrieb relevante Anlagenparameter zur Überwachung der Schutzziele ihre Gültigkeit verlieren bzw. phasenabhängig variieren können.

Hinsichtlich der administrativen Festlegungen zur Bereitstellung erforderlicher Prozeduren sind folgende Anforderungen zu berücksichtigen, um dem genannten Gestaltungsgrundsatz zu genügen.

- Die Betriebsphasen des Anlagenstillstandes sind präzise zu definieren und durch überprüfbare Merkmale festzulegen (z. B. anhand der Anlageninstrumentierung).
- Die Funktionsbereitschaft benötigter und in den Störfallanalysen berücksichtigten Systeme, ist durch phasenabhängige Verfügbarkeitsanforderungen mit überprüfbaren Merkmalen sicherzustellen. Diese Forderung schließt alle zur Störfallbeherrschung angedachten Maßnahmen, also ggf. auch Notfallmaßnahmen sowie Wiederinbetriebnahme zunächst nicht verfügbarer Systeme (Rückschaltung nach Freischaltung, Reparatur) mit ein.
- Wenn Revisionsmaßnahmen nur in bestimmten Stillstandsphasen zulässig sind, sollen zusätzliche Vorsorgemaßnahmen vorgesehen werden, um der Möglichkeit, dass diese in anderen Phasen ausgeführt werden, entgegenzuwirken.
- Durchzuführende Maßnahmen sollten in ein durchgängiges mit den Vorgehensweisen bei Störfällen im Leistungsbetrieb abgestimmtes Konzept eingebunden werden (u.a. klare Schnittstellen zum Leistungsbetrieb, zustands-/ereignisorientiertes Vorgehen, Übergang auf Notfallmaßnahmen).
- Der Sicherheitsstatus der Anlage sollte an Hand phasenspezifischer Schutzziele ermittelt werden können. Hierzu sind überprüfbare Merkmale für Schutzzielgefährdungen oder Schutzzielverletzungen bereitzustellen.
- Für alle in den Störfallanalysen berücksichtigten Maßnahmen zur Wiederherstellung von gefährdeten oder verletzten Schutzzielen sind phasen- und schutzziel-

spezifische Prozeduren vorzuhalten. Dies gilt auch für berücksichtigte noch anwendbare Notfallmaßnahmen und der Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft von zunächst unverfügbaren Systemen.

- Um mögliche Folgeschäden zu verhindern, sollten Prozeduren bereitgestellt werden, mit denen vor dem auslösenden Ereignis begonnene sicherheitsrelevante Arbeiten sicherheitsgerichtet unterbrochen bzw. abgebrochen werden können.

Im Rahmen des Vorhabens wurde überprüft, in wieweit diese Anforderungen in das Regelwerk (u.a. KTA 1201, Fassung 6/98 /KTA 12/, KTA 1201, Fassung 11/09, Sicherheitskriterien /SIK 09/) und in die Vorsorgeplanung einiger Referenzanlagen (vgl. Abschnitt 1) bereits eingeflossen ist und wo Lücken bzw. Optimierungsbedarf besteht. Die Untersuchungen führten zu den nachstehend beschriebenen Ergebnissen.

- Definition der Betriebsphasen des Anlagenstillstandes und administrative Festlegungen zur Funktionsbereitschaft benötigter Systeme
Einschlägige Anforderungen hierzu sind sowohl in der KTA 1201, Fassung 6/98, als auch in der KTA 1201, Fassung 11/09, enthalten und wurden in den Referenzanlagen umgesetzt, auch wenn im Einzelfall noch Optimierungsbedarf besteht.
- Erhöhung der Vorsorge bei besonders sicherheitsrelevanten Revisionsarbeiten
Eine gezielte Erhöhung der Vorsorgemaßnahmen um in besonderem Maße sicherzustellen, dass kritische Revisionsarbeiten nur in dafür vorgesehenen Phasen ausgeführt werden, wird nicht gefordert und auch nicht durchgängig umgesetzt.
- Durchgängiges mit den Vorgehensweisen bei Leistungsbetrieb kompatibles Konzept, phasenspezifische Schutzziele
Diese Anforderung ist insbesondere in der neuen KTA 1201 (Fassung 11/09) im Detail beschrieben und wird in den hier betrachteten Referenzanlagen zur Zeit umgesetzt. Die Abbildungen 4.1 bis 4.3 zeigen ein vorbildliches Beispiel aus einer der Referenzanlagen. Dem Schutzziel „Kühlmittelinventar“ werden phasenabhängig überprüfbare Anlagenparameter für Gefährdung oder Verletzung des Schutzziels zugeordnet (vgl. Abb. 4-1). Ein Maßnahmenleitschema mit weiteren Entscheidungskriterien führt das Personal sukzessive zu den sicherheitstechnisch erforderlichen Maßnahmen (Abb. 4-2,4-3). Das Konzept ist mit der Vorgehensweise in dieser Anlage bei Ereignissen im Leistungsbetrieb kompatibel.

Schutzziel	Stillstandsphase	Schutzzielparameter	Schutzziel gefährdet	Schutzziel verletzt
Kühlmittelinventar KI	A	RDB-Füllstand; Flutraumfüllstand; BE- Lagerbeckenfüllstand	KI1: - $L_{RDB} < 12,00$ m und - Tendenz ↓ oder KI2: - $L_{RDB} > 18,00$ m und - Tendenz ↑ (durch KI2 Gefährdung des Schutzzieles Druckführung möglich; KI2 gilt nicht kurz vor Übergang von Stillstandsphase A nach B bei Vorbereitungen zum RDB-Deckel öffnen)	KI1: - $L_{RDB} < 10,50$ m und - Tendenz ↓ oder KI2: - $L_{RDB} > 19,00$ m und - Tendenz ↑ (durch KI2 Verletzung des Schutzzieles Druckführung möglich)
	B = D		KI1: - $L_{RDB} < 12,00$ m und - Tendenz ↓	KI1: - $L_{RDB} < 10,50$ m und - Tendenz ↓
	C		KI3: - $L_{BELB} < 10,35$ m und - Tendenz ↓ (gilt nur bei geöffneter Lager- beckenschleuse; gilt nicht beim Übergang zwischen Phase B nach C und C nach D; Gefährdung Schutzziel Wärmeabfuhr möglich)	KI3: - $L_{BELB} < 9,80$ m und - Tendenz ↓ (gilt nur bei geöffneter Lager- beckenschleuse; gilt nicht beim Übergang zwischen Phase B nach C und C nach D; Verletzung Schutzziel Wärmeabfuhr möglich)

Abbildung 4-1: Schutzziele bei Stillstand der Anlage (Beispiel)

KI Seite 1

.1.2 Maßnahmenleitschema Schutzziel Kühlmittelinventar KI

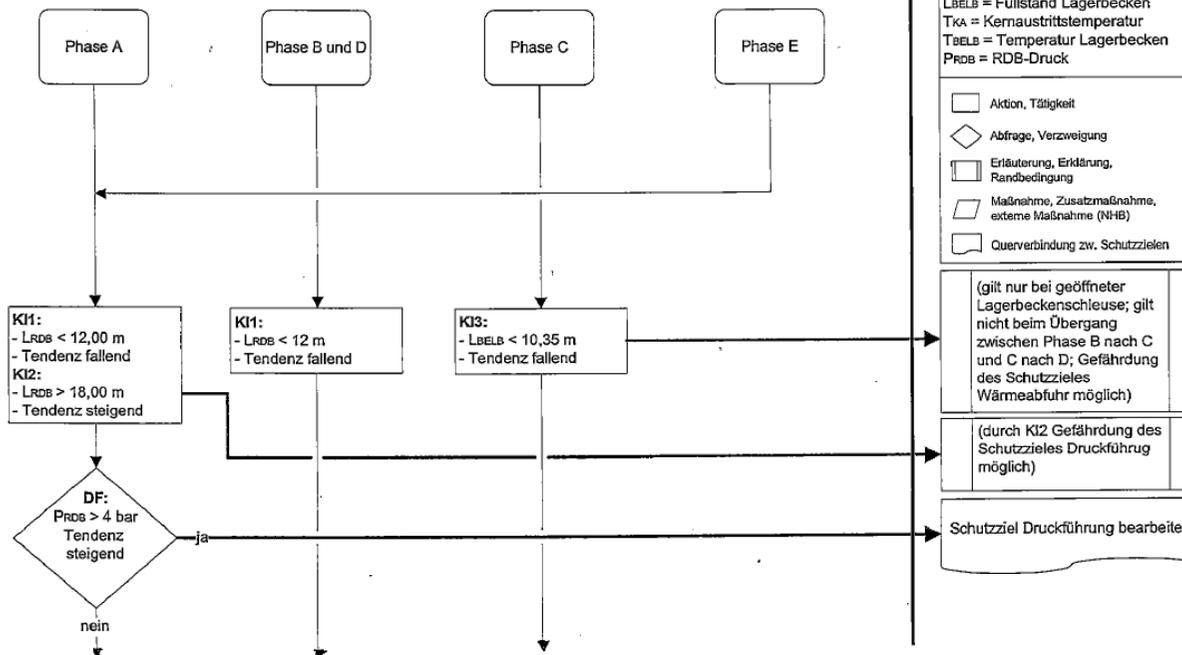


Abbildung 4-2: Zustandsorientiertes Vorgehen bei Stillstand der Anlage, Kühlmittelinventar

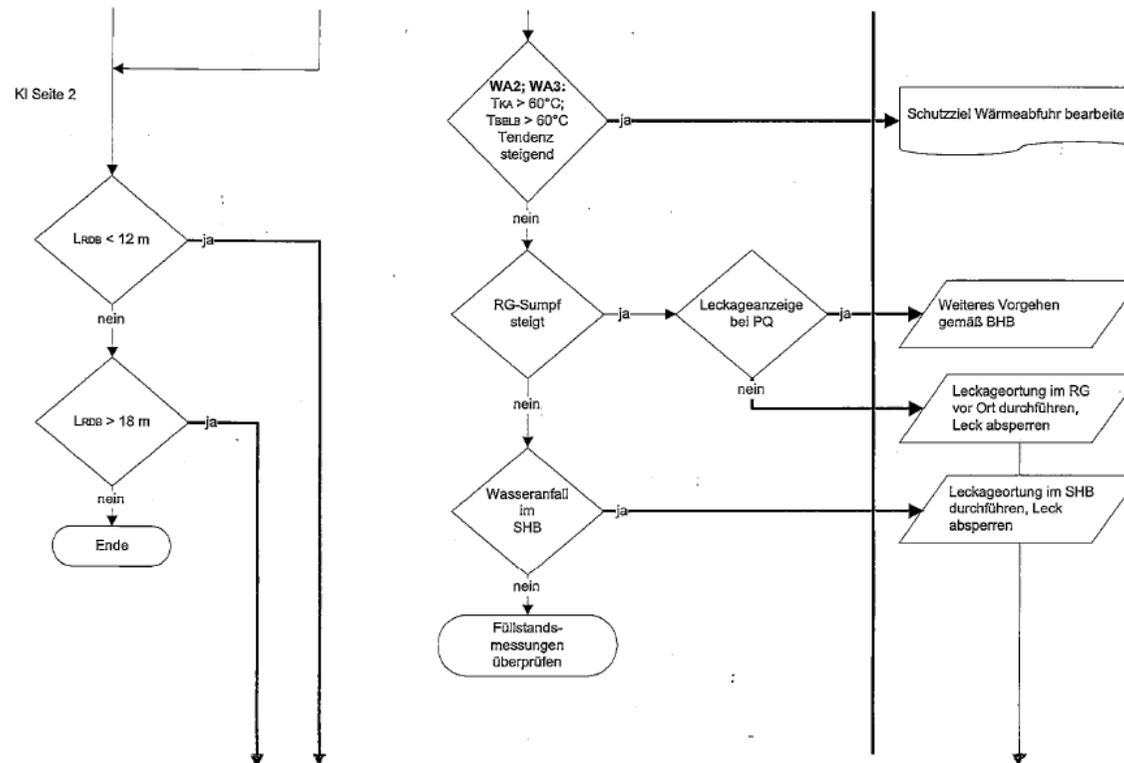


Abbildung 4-3: Entscheidungslogik zur Auswahl von Maßnahmen (Beispiel)

- Bereitstellung von Prozeduren für geplante Maßnahmen zur Störfallbeherrschung bzw. zur Verhinderung von Folgeschäden
Im Regelwerk (KTA 1201, alte und neue Fassung /KTA 12/) wird allgemein gefordert, dass das Betriebshandbuch alle betriebstechnischen und sicherheitstechnischen Anweisungen enthalten muss, die zur Beherrschung von Störfällen erforderlich sind. Diese Forderung wurde in den betrachteten Referenzanlagen weitgehend aber nicht vollständig umgesetzt. Insbesondere bei der Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft von zunächst unverfügbaren Systemen fehlen noch Prozeduren. Hierzu gehören z. B. Maßnahmen, mit denen die primärseitige Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb gesetzt werden kann, nachdem sie durch Ansaugen von Stickstoffgas zunächst ausgefallen war, oder die Rückschaltung eines Notstromdieselaggregats, an dem im begrenzten Umfang Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden. Der Aspekt „sicherheitsgerichteter Abbruch von laufenden Revisionsarbeiten“ zur Vermeidung von möglichen Folgeereignissen wurde generell noch nicht betrachtet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sowohl bei den regulatorischen Anforderung (insbesondere, wenn die neue KTA 1201 einbezogen wird) als auch in der konkreten Umsetzung in den Referenzanlagen große Fortschritte im Bereich der einschlägigen administrativen Festlegungen erzielt werden. Bei Einzelaspekten besteht allerdings entweder noch Optimierungsbedarf (Prozeduren für Systemrückschaltungen) oder sie wurden bei der Ausgestaltung des administrativen Umfeldes noch nicht berücksichtigt (z. B. sicherheitsgerichteter Abbruch von laufenden Revisionsarbeiten).

4.2 Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren

Die weitere Untersuchung konzentrierte sich auf gestalterische Aspekte der Dokumente, die in das Betriebshandbuch aufzunehmen sind, um die Operateure bei der Beherrschung von Störungen und Störfällen während des Nichtleistungsbetriebs zu unterstützen. Laut Arbeitsprogramm sind die beiden Fragen zu beantworten,

- ob sich die Anforderungen der Regel KTA 1201 /KTA 12/ für das Betriebshandbuch auf die Prozeduren und die phasenspezifischen Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb übertragen lassen.
- welche Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren und Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb zu formulieren sind, um Gestaltungsaspekte zu berücksichtigen.

gen, die in der Regel KTA 1201 (alte und neue Fassung) keine oder keine ausreichende Beachtung finden.

Die Anforderungen der Regel KTA 1201 (Fassung 6/98) wurden im Anhang A (siehe auch Abschnitt 2) zusammengestellt. Eine genaue Untersuchung der Anforderungsinhalte hat gezeigt, dass sie sich ohne weiteres auf die Prozeduren und die phasenspezifischen Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb übertragen lassen. Deshalb kann sich die weitere Untersuchung darauf konzentrieren, Gestaltungsaspekte für Prozeduren und phasenspezifische Regelungen des Nichtleistungsbetriebs herauszuarbeiten, die auch in Hinblick auf die neue Fassung der KTA 1201 /KTA 12N/ hinausgehen und diese ergänzen bzw. präzisieren. Die Arbeiten hierzu werden in Anhang B dargestellt. Im Folgenden werden die Vorgehensweise und das Ergebnis dieser Untersuchungen zusammenfassend beschrieben.

Die Gestaltung der Dokumente hat das Personal insbesondere in die Lage zu versetzen, schnell und zuverlässig

- zu erkennen, welche Teile des Betriebshandbuchs die Prozeduren und Regelungen für Störungen und Störfälle während des Nichtleistungsbetriebs enthalten.
- Prozeduren, Regelungen und sonstige Informationen für eine gegebene Situation des Nichtleistungsbetriebs
 - aufzufinden und
 - zu erkennen, welche anderen oder weiteren Prozeduren, Regelungen und (oder) Informationen heranzuziehen sind, um während der Bearbeitung einer Prozedur adäquat auf Veränderungen der gegebenen Situation zu reagieren.
- Prozeduren und Regelungen in einem Team korrekt abzuarbeiten. Das schließt die Aufgaben ein, anstehende Arbeiten anzuweisen, angewiesene Aktionen auszuführen sowie Bearbeitungsstand und Ergebnisse der Tätigkeiten zu melden und zu bewerten.

Gestaltungsanforderungen dienen dazu, Auffindung, Auswahl und Abarbeitung einschlägiger Dokumente wirksam zu unterstützen. Inhaltlich ordnen sich die Gestaltungsanforderungen den nachfolgenden Kategorien zu:

- Umfang, Kennzeichnung und Bezeichnung der Unterlagen,

- Kriterien,
- Aufgabenbeschreibung durch eine Prozedur,
- Erledigungsvermerke sowie
- die Breitstellung und Gestaltung von Entnahme-Exemplaren.

Die in Anhang B beschriebenen Gestaltungsanforderungen sind so allgemein gehalten, dass sie mit den verschiedenen Konzepten vereinbar sind, nach denen Betreiber deutscher Anlagen ihre Betriebshandbücher gestalten.

Der überwiegende Teil präzisiert bereits vorhandene allgemein formulierte Vorgaben. Einige Forderungen werden jedoch noch nicht angesprochen (z. B. Forderungen zu Entnahmeexemplaren) und tragen somit zur Ergänzung des Regelwerks und damit zur Realisierung des eingangs genannten Grundsatzes, die Voraussetzungen für das sicherheitstechnisch erforderliche Verhalten des Personals zu schaffen, bei.

Soweit die Forderungen nicht ausdrücklich auf den Nichtleistungsbetrieb bezogen sind, lassen sie sich auf Prozeduren und Regelungen im Allgemeinen übertragen. Dieser umfassende Geltungsbereich sollte bei Übernahmen in das kerntechnische Regelwerk erhalten bleiben.

5 Anforderungskataloge

Der Stand von Wissenschaft und Technik hat sich bezüglich des Nichtleistungsbetriebes seit Mitte der 90er Jahre erheblich weiterentwickelt. Einen wesentlichen Beitrag dazu leisteten die Untersuchungen der GRS zum Nichtleistungsbetrieb von Anlagen des Typs SWR72 /GRS 99/, Konvoi /GRS 03/ und SWR69 /GRS 06/.

Dieser weiterentwickelte Stand von Wissenschaft und Technik sollte auch in die Betriebshandbücher der deutschen Kernkraftwerke einfließen. Ziel sollte es sein, Ereignisse des Nichtleistungsbetriebes im gleichen Umfang wie Ereignisse des Leistungsbetriebes in den Betriebshandbüchern zu berücksichtigen. Dazu wären entsprechende Prozeduren zu erstellen und in die Betriebshandbücher aufzunehmen. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen dieses Vorhabens Anforderungskataloge erstellt, welche Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für wichtige Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb beinhalten. Grundlage dafür sind die oben genannten Untersuchungen der GRS sowie die Ereignisablaufanalysen im Kapitel 3. Ferner wurden im Kapitel 4 wesentliche Anforderungen an Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb beschrieben.

Die Anzahl der im Nichtleistungsbetrieb zu untersuchenden Ereignisse ist zu groß, um in diesem Vorhaben für alle Ereignisse Anforderungskataloge zu erstellen. Daher haben wir uns auf die im Kapitel 3 ausgewählten Ereignisse konzentriert. Für diese Ereignisse wurden phasenspezifisch, d.h., für die Betriebsphasen, in denen das Ereignis zu untersuchen ist, die aus unserer Sicht wesentlichen Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren aufgelistet. Dies betrifft zum einen Systemfunktionen bzw. Maßnahmen, die bereitzuhalten sind,

- zur Erkennung (Diagnose) einer Störung,
- zur Beseitigung der Störungsursache (z. B. Leckabspernung) und zur
- Beherrschung des Ereignisses.

Für diese Systemfunktionen / Maßnahmen ist ausreichend Redundanz vorzuhalten, um einen Einzelfehler beherrschen zu können. Diese Redundanz kann durch Bereitstellung von Sicherheitseinrichtungen oder Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen gewährleistet werden. Reparaturen oder die Wiederherstellung freigeschalteter Redundanzen kön-

nen zur Anwendung kommen, wenn ausreichend Zeit für die Beherrschung eines Ereignisablaufes zur Verfügung steht. Dieser Redundanzgrad und ggf. Ersatzmaßnahmen müssen im BHB-Kapitel „Bedingungen für den Stillstand der Anlage“ festgeschrieben werden.

Zum anderen enthalten die Kataloge Anforderungen an den Inhalt der Prozeduren für die verschiedenen zu untersuchenden Ereignisse. Dabei handelt es sich um aus unserer Sicht wesentliche Hinweise, die bei der Erstellung oder Überprüfung von Prozeduren für den jeweiligen Ereignisablauf berücksichtigt werden sollten. Generelle Gestaltungsanforderungen an die Prozeduren für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb sind im Kapitel 4 und im Anhang B dargestellt.

Die Nachweiskriterien wurden nicht in die Listen aufgenommen um Wiederholungen zu vermeiden. Zugrundegelegt wurden die in /SIK 09/ vorgeschlagenen Nachweiskriterien. D. h., für Phasen mit geschlossenem RDB gelten für das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“ die gleichen Nachweiskriterien wie im Leistungsbetrieb (Brennstabilität, ausreichende Kühlbarkeit der Brennelemente). Für Phasen mit offenem RDB ist die ständige Bedeckung der Brennelemente mit Kühlmittel nachzuweisen.

Die erstellten Anforderungskataloge für DWR befinden sich in der folgenden Tabelle 5-1 und für SWR in der Tabelle 5-2. Für das Ereignis „Notstromfall“ (DWR Ereignis Nr. 7, SWR Ereignis Nr. 8) wurden keine Anforderungskataloge erstellt. Dieser Ereignisablauf ist durch das Ereignis „Ausfall eines Nachkühlstranges“ (DWR, SWR Ereignis Nr. 3) abgedeckt. Ebenso wurden für die Ereignisse „Fehlerhafte Deionateinspeisung“ (DWR Ereignis Nr. 4) und „Fehlerhaftes Ausfahren eines Steuerstabs beim Abschaltstest“ (SWR Ereignis Nr. 4) keine Anforderungskataloge erstellt. Diese Ereignisabläufe müssen durch administrative Vorkehrungen beherrscht bzw. verhindert werden. Die Vorkehrungen für diese Ereignisse sind im Kapitel 3 beschrieben.

Die zu erarbeitenden Kataloge dokumentieren den fortentwickelten Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb. Sie können u. a. von Behörden oder Sachverständigen genutzt werden, um die Erfüllung der Nachweiskriterien des kerntechnischen Regelwerks bzw. der im Rahmen der PSÜ durchgeführten anlagenspezifischen Analysen für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb zu überprüfen. Ferner können die zu erarbeitenden Kataloge zur Bewertung von bestehenden bzw. neu zu erstellenden administrativen Vorgaben für die einzelnen Betriebsphasen und die Prozeduren zur Beherr-

schung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb herangezogen werden. Betreiber können die Kataloge als Anhaltspunkte für die Erstellung von Prozeduren oder administrativen Vorgaben nutzen.

Tabelle 5-1: Anforderungen zur Beherrschung von ausgewählten Ereignissen in DWR-Anlagen

1. Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL	Zahlreiche Signale auf der Reaktorschutztafel (Anregung der Notkühlkriterien), u. a.: – Primärkreisabschluss – Flutsignal – Zuschaltsignal für Zusatzborierpumpen Anstieg Temperatur und Druck im Primärkühlmittel	Prozedur muss enthalten: – Hinweis, dass durch den Primärkreisabschluss die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung von Kühlmitteldruck und Kühlmitteltemperatur
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
– Rücksetzen der Reaktorschutzsignale – Abschalten des Flutbetriebes – Abschalten der Zusatzborierpumpen		Prozedur muss enthalten: – Ursache für die Fehlauflösung der 2 von 3 HD-Kriterien ermitteln und beseitigen – Rücksetzen der Reaktorschutzsignale – Abschalten des Flutbetriebes, Abschalten der Zusatzborierpumpen – Hinweis, dass innerhalb von 40 min die Zusatzborierpumpen abgeschaltet werden müssen, sonst überschreitet der Druck im RKL 37 bar und die Wiederinbetriebnahme der Nachkühlstränge wird blockiert
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Nachwärmeabfuhr	– Nach Rücksetzen der Reaktorschutzsignale muss mindestens ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein gefüllter Dampferzeuger mit zugehörigen Abblaseeinrichtungen und Notbespeisung in Bereitschaft. Kann die Nachwärmeabfuhr durch das Nachkühlsystem nicht eingerichtet werden (z. B. Druck im RKL >37 bar), kann der Dampferzeuger die Nachwärmeabfuhr übernehmen.	Wurden die Reaktorschutzsignale innerhalb von 40 min nicht zurückgesetzt und die Zusatzborierpumpen nicht abgeschaltet, so überschreitet der Druck im RKL 37 bar und die Wiederinbetriebnahme der Nachkühlsystems wird blockiert. Die Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass in diesem Fall die Nachwärmeabfuhr über den bereitzuhaltenden Dampferzeuger erfolgen soll.

2.1 Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL, Füllstandsüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 - RDB-Füllstandssonden - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur und Druck im Primärkühlmittel 	Prozedur zum Vorgehen bei der Absenkung des Füllstandes muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur - Mengenabschätzung, Protokollieren der ausgespeisten Kühlmittelmenge - Kontrolle der RDB-Füllstandssonden, MIN1 und MIN2 sprechen beim Absenken des Füllstandes an
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden der Kühlmittelentnahme	Können die ND-Red. und die nachfolgende Absperrarmatur nicht geschlossen werden, kann die Kühlmittelentnahme durch Schließen folgender Armaturen beendet werden: <ul style="list-style-type: none"> - Erstabsperung - Zweitabsperung - Absperrarmatur des Nachkühlstrangs vor der ND-Red. 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um die Kühlmittelentnahme zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft - Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit - Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass bei Nachwärmeabfuhr über den Dampferzeuger der RKL innerhalb von 2 Stunden bis in den Druckhalter (3 m) aufgefüllt werden muss. Anderenfalls führt der Reflux-Condenser-Betrieb zu einer Deborierung des Kühlmittels in den kalten Strängen des RKL.

2.1 Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein gefüllter Dampferzeuger mit zugehörigen Abblaseeinrichtungen und Notbespeisung in Bereitschaft – Schutzabgeschaltete Nachkühlstränge können entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden. 	<p>Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vorgehen zum Entlüften der nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstränge, – Bei Ausfall Dampferzeuger muss die Inbetriebnahme der primärseitigen Wärmeabfuhr erfolgen bevor im RKL die Temperatur 180° C oder der Druck 37 bar übersteigt.

2.2 Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen, Phase D		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL, Füllstandsüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur im Primärkühlmittel 	Prozedur zum Vorgehen bei abgesenktem Füllstand muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur - Mengenabschätzung, Protokollieren der ausgespeisten Kühlmittelmenge
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden der Kühlmittelentnahme	Können die ND-Red. und die nachfolgende Absperrarmatur nicht geschlossen werden, kann die Kühlmittelentnahme durch Schließen folgender Armaturen beendet werden: <ul style="list-style-type: none"> - Erstabsperrung - Zweitabsperung - Absperrarmatur des Nachkühlstrangs vor der ND-Red. 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um die Kühlmittelentnahme zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft - Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit - Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis, dass bei geöffnetem RDB innerhalb von 40 min der Füllstand bis auf Oberkante Kern abfällt - Hinweis, dass in dieser Phase nur bis zum Ausgangsfüllstand (¾-Loop) aufgefüllt werden muss.
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden - Schutzabgeschaltete Nachkühlstränge können entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden 	Die Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss das Vorgehen zum Entlüften der nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstränge enthalten

Anmerkung: Die folgenden Punkte 3.1 - 3.3 behandeln den Ausfall der Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem. Dieser Ereignisablauf wird auch durch das Ereignis „Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette (E3-14)“ in /GRS 06a/ beschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass durch das auslösende Ereignis ein Nachkühlstrang ausfällt. Der zweite laufende Nachkühlstrang fällt als Folge des auf der Sicherheitsebene 3 zu unterstellenden Einzelfehlers aus. Dadurch ist die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem zunächst ausgefallen.

3.1 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Schalterfall der Nachkühlpumpen – Anstieg Temperatur und Druck im Primärkühlmittel 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch den Schalterfall der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung von Kühlmitteldruck und Kühlmitteltemperatur
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang in Reserve (Flutbereitschaft) – Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit 	Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass bei Nachwärmeabfuhr über den Dampferzeuger der RKL innerhalb von 2 Stunden bis in den Druckhalter (3 m) aufgefüllt werden muss. Anderenfalls führt der Reflux-Condenser-Betrieb zu einer Deborierung des Kühlmittels in den kalten Strängen des RKL.
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein gefüllter Dampferzeuger mit zugehörigen Abblaseeinrichtungen und Notbespeisung in Bereitschaft 	Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass bei Ausfall des Dampferzeugers die Inbetriebnahme der primärseitigen Wärmeabfuhr erfolgen muss bevor im RKL die Temperatur 180° C oder der Druck 37 bar übersteigt.

3.2 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase D		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Schalterfall der Nachkühlpumpen – Anstieg der Temperatur im Primärkühlmittel 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch den Schalterfall der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung der Kühlmitteltemperatur
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Gegebenenfalls ersetzen von Verdampfungsverlusten	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang in Reserve (Flutbereitschaft) – Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit, Einspeisung mit Druckspeicher im Tipp-Betrieb 	Hinweis, dass ggf. Verdampfungsverluste durch intermittierendes Füllstandanheben mit dem Reservestrang oder durch Einspeisung mit Druckspeichern im Tipp-Betrieb zu ersetzen sind.
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. 	

3.3 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase E		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Schalterfall der Nachkühlpumpen – Anstieg der Temperatur im Primärkühlmittel 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch den Schalterfall der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung der Kühlmitteltemperatur
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Nachwärmeabfuhr		Bei Ausfall der 2. laufenden Nachkühlkette durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können. Die dazu verfügbare Zeit hängt vom Kühlmittelinventar und von der Nachzerfallsleistung ab. Benötigte Ersatzteile müssen vorrätig sein.

5.1 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL/SHB-Sumpf	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 (KMA-Meldung "L HKML tief" und „Schutz-ZU“ der ND-Red. bei 0,48 m (2v4 Auswahl)) - RDB-Füllstandssonde - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur im Primärkühlmittel - Eventuell Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf 	<p>Prozedur zum Vorgehen beim Füllstandsabfall im Loop muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühl-system ausgefallen ist - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur - Kontrolle der RDB-Füllstandssonden (MIN3 spricht bei ungewolltem Füllstandsabfall an) - Bei Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf: Kontrolle der Sumpffüllstände
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	<p>Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstabspernung - Zweitabspernung <p>Bei Leck an einer Zweitabspernung und Nichtschließen der zugehörigen Erstabspernung (Einzelfehler) kann der Kühl-mittelverlust nicht beendet werden.</p>	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um die Kühlmit-telentnahme zu beenden - Druck/Temperatur im RKL überwachen (muss für primär-seitige Wärmeabfuhr < 37 bar und 180° C sein)

5.1 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft – Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit – Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	<p>Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass bei Nachwärmeabfuhr über den Dampferzeuger der RKL innerhalb von 2 Stunden bis in den Druckhalter (3 m) aufgefüllt werden muss. Anderenfalls führt der Reflux-Condenser-Betrieb zu einer Deborierung des Kühlmittels in den kalten Strängen des RKL.</p> <p>Konnte das Leck nicht abgesperrt werden, so ist nach Einspeisung eines Flutbehälters auf Sumpfumwälzbetrieb umzuschalten.</p>
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein gefüllter Dampferzeuger mit zugehörigen Abblaseeinrichtungen und Notbespeisung in Bereitschaft – Ein schutzabgeschalteter Nachkühlstrang kann entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vorgehen zum Entlüften der nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstränge, – Bei Ausfall Dampferzeuger muss die Inbetriebnahme der primärseitigen Wärmeabfuhr erfolgen bevor im RKL die Temperatur 180° C oder der Druck 37 bar übersteigt (Druckaufbau nach Leckabspernung).

5.2 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase D		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL/SHB-Sumpf	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 (KMA-Meldung "L HKML tief" und „Schutz-ZU“ der ND-Red. bei 0,48 m) - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur im Primärkühlmittel - Eventuell Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf 	<p>Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühl-system ausgefallen ist - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur - Bei Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf: Kontrolle der Sumpffüllstände
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	<p>Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstabspernung - Zweitabspernung 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittel-verlust zu beenden <p>Bei Leck an einer Zweitabspernung und Nichtschließen der zugehörigen Erstabspernung kann der Kühlmittelverlust nicht beendet werden.</p>

5.2 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase D		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft – Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit – Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	<p>Prozedur sollte einen Hinweis enthalten, dass in dieser Phase nur bis zum Ausgangsfüllstand ($\frac{3}{4}$-Loop) aufgefüllt werden muss.</p> <p>Konnte das Leck nicht abgesperrt werden, so ist nach Einspeisung eines Flutbehälters auf Sumpfumwälzbetrieb umzuschalten.</p> <p>Eventuell geöffnete/demontierte Sicherheitsbehälterdurchführungen (Sumpfansaugarmaturen) müssen verschlossen werden, um die Sumpffunktion aufrecht zu erhalten.</p>
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein schutzabgeschalteter Nachkühlstrang kann entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vorgehen zum Entlüften eines nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstranges

5.3 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase E		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL, SHB-Sumpf	<ul style="list-style-type: none"> – Füllstandsabfall im Flutraum / BE-Lagerbecken – Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall in Flutraum/Becken muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen in Flutraum und BE-Lagerbecken und der Kühlmitteltemperatur – Bei Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf: Kontrolle der Sumpffüllstände
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	Schließen von: <ul style="list-style-type: none"> – Erstabspernung – Zweitabspernung 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittelverlust zu beenden Bei Leck an einer Zweitabspernung und Nichtschließen der zugehörigen Erstabspernung kann der Kühlmittelverlust nicht beendet werden.
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des Flutraumes/BE-Beckens	<ul style="list-style-type: none"> – 2. laufender Nachkühlstrang – Hilfsmaßnahme: Bereitstellung von Kühlmittel aus der Kühlmittellagerung um Flutraum / BE-Lagerbecken wieder so weit aufzufüllen, dass das BE-Beckenschütz gesetzt werden kann und ggf. die Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb genommen werden kann 	Wiederauffüllen bis über das Niveau der Saugleitungen des BE-Lagerbeckens. Konnte das Leck nicht abgesperrt werden, so muss auf Sumpfumwälzbetrieb umgeschaltet werden, nachdem sich genügend Kühlmittel im SHB-Sumpf gesammelt hat. Eventuell geöffnete/demontierte Sicherheitsbehälterdurchführungen (Sumpfansaugarmaturen) müssen verschlossen werden, um die Sumpffunktion aufrecht zu erhalten.

5.3 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf, Phase E		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr aus dem RDB	– 2. laufender Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette)	Bei Ausfall der 2. laufenden Nachkühlkette durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können. Die dazu verfügbare Zeit hängt vom Kühlmittelinventar und von der Nachzerfallsleistung ab. Benötigte Ersatzteile müssen vorrätig sein.
Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken	– BE-Beckenkühlsystem	Konnte das Leck nicht abgesperrt werden, oder ist der Füllstand stark abgefallen, so ist der Füllstand im Flutraum und BE-Lagerbecken so weit anzuheben, dass das BE-Beckenschütz gesetzt werden kann. Die eventuell ausgefallene Lagerbeckenkühlung ist wieder in Betrieb zu nehmen.

6.1 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL/Ringraum	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 (KMA-Meldung "L HKML tief" und „Schutz-ZU“ der ND-Red. bei 0,48 m) - RDB-Füllstandssonden - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur und im Primärkühlmittel - Meldung „Ringraum Quad X L*hoch > 0,26 m“ - Ringraum Niveau Messstellen an der RS-Tafel 	<p>Prozedur zum Vorgehen beim Füllstandsabfall im Loop muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühl-system ausgefallen ist - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur - Kontrolle der RDB-Füllstandssonden (MIN3 spricht bei ungewolltem Absinken des Füllstandes an) <p>Bei Meldung über Wassereinfall im Ringraum: Kontrolle der Sumpffüllstände</p>
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	<p>Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstabspernung - Zweitabspernung 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittel-verlust zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft - Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit - Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	<p>Prozedur muss einen Hinweis enthalten, dass bei Nachwärmeabfuhr über den Dampferzeuger der RKL innerhalb von 2 Stunden bis in den Druckhalter (3 m) aufgefüllt werden muss. Anderenfalls führt der Reflux-Condenser-Betrieb zu einer Deborierung des Kühlmittels in den kalten Strängen des RKL.</p>

6.1 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs, Phase C		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärmeabfuhr umgeschaltet werden. – Ein gefüllter Dampferzeuger mit zugehörigen Abblaseeinrichtungen und Notbespeisung in Bereitschaft – Ein schutzabgeschalteter Nachkühlstrang kann entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vorgehen zum Entlüften eines nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstranges, – Bei Ausfall Dampferzeuger muss die Inbetriebnahme der primärseitigen Wärmeabfuhr erfolgen bevor im RKL die Temperatur 180° C oder der Druck 37 bar übersteigt (Druckaufbau nach Leckabspernung).

6.2 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs, Phase D		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Parameter RKL/Ringraum	<ul style="list-style-type: none"> - 4 Loopmessungen vorhanden, d. h. 2 Messumformer an je einer Wirkdruckleitung am Loop 1 und am Loop 3 (KMA-Meldung "L HKML tief" und „Schutz-ZU“ der ND-Red. bei 0,48 m (2v4 Auswahl)) - KMA-Meldung über Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen über zu geringe Mindestmenge - Anstieg Temperatur im Primärkühlmittel - Meldung „Ringraum Quad X L*hoch > 0,26 m“ - Ringraum Niveau Messstellen an der RS-Tafel 	<p>Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im Loop muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühl-pumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühl-system ausgefallen ist - Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen und der Kühlmitteltemperatur <p>Bei Meldung über Wasseranfall im SHB-Sumpf: Kontrolle der Sumpffüllstände</p>
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	<p>Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstabspernung - Zweitabspernung 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln - Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittel-verlust zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RKL	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft - Mindestens 2 Druckspeicher einspeisebereit - Fluten mit einem schutzabgeschalteten Nachkühlstrang 	<p>Prozedur sollte einen Hinweis enthalten, dass in dieser Phase nur bis zum Ausgangsfüllstand (¾-Loop) aufgefüllt werden muss.</p>
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Flutbereitschaft, dieser kann nach dem Fluten auf Nachwärme-abfuhr umgeschaltet werden. - Ein schutzabgeschalteter Nachkühlstrang kann entlüftet und anschließend für die Nachwärmeabfuhr in Betrieb genommen werden 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vorgehen zum Entlüften eines nach Stickstoffansaugen schutzabgeschalteten Nachkühlstranges

6.3 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs, Phase E		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Füllstandsüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> – Füllstandsabfall im Flutraum / BE-Lagerbecken – Meldung „Ringraum Quad X L*hoch > 0,26 m“ – Ringraum Niveau Messstellen an der RS-Tafel 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall in Flutraum/Becken muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Kontinuierliche Beobachtung aller Füllstandsmessungen in Flutraum und BE-Lagerbecken und der Kühlmitteltemperatur – Bei Meldung über Wasseranfall im Ringraum: Kontrolle der Sumpffüllstände
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden des Kühlmittelverlustes	Schließen von: <ul style="list-style-type: none"> – Erstabsperung – Zweitabsperung 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittelverlust zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des Flutraumes/BE-Beckens	<ul style="list-style-type: none"> – 2. laufender Nachkühlstrang – Hilfsmaßnahme: Bereitstellung von Kühlmittel aus der Kühlmittellagerung um Flutraum / BE-Lagerbecken wieder so weit aufzufüllen, dass das BE-Beckenschütz gesetzt werden kann und ggf. die Lagerbeckenkühlung ist wieder in Betrieb genommen werden kann 	Wiederauffüllen bis über das Niveau der Saugleitungen des BE-Lagerbeckens.
Nachwärmeabfuhr aus dem RDB	<ul style="list-style-type: none"> – 2. laufender Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) 	Bei Ausfall der 2. laufenden Nachkühlkette durch einen Einzelfehler sind Reparaturmaßnahmen erforderlich, um die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb nehmen zu können. Die dazu verfügbare Zeit hängt vom Kühlmittelinventar und von der Nachzerfallsleistung ab. Benötigte Ersatzteile müssen vorrätig sein.

6.3 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachkühlbetriebs, Phase E		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken	– BE-Beckenkühlsystem	Bei starkem Füllstandsabfall, ist der Füllstand im Flutraum und BE-Lagerbecken so weit anzuheben, dass das BE-Beckenschütz gesetzt werden kann. Dazu muss ggf. Kühlmittel aus der Kühlmittellagerung bereitgestellt werden. Die eventuell ausgefallene Lagerbeckenkühlung ist wieder in Betrieb zu nehmen.

Tabelle 5-2: Anforderungen zur Beherrschung von ausgewählten Ereignissen in SWR-Anlagen

1.1 Fehlerhafter Anstieg des Füllstands im Reaktordruckbehälter, Phase C, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Betriebsparameter RDB	Signale/Messungen: – Füllstand im RDB – Druck im RDB	Prozedur muss enthalten: – Kontinuierliche Beobachtung von Kühlmitteldruck und Kühlmitteltemperatur
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden der Fehleinspeisung	– Einspeisearmaturen schließen, – Einspeisende Pumpe außer Betrieb nehmen	Prozedur muss enthalten: – Liste der zu schließenden Armaturen – Pumpe ggf. vor Ort (Schaltanlage) außer Betrieb nehmen
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Druckabbau/ Druckbegrenzung	– Öffnen von S+E-Ventilen von Hand, bevor der Druck 19 bar überschritten hat – Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile, nachdem der Druck 19 bar überschritten hat	– Druckabbau vorzugsweise durch Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile Hinweis: Falls das Entlastungsventil durch Abblasen von Wasser bei einem Druck > 19 bar beschädigt wurde, kann ein Leck am RKL im Sicherheitsbehälter auftreten. Das Kühlmittel muss aus dem SHB-Sumpf in den RKL zurückgefördert werden (siehe Fortsetzung nächste Seite).
Fluten / Wiederauffüllen des RDB	– 1 Nachkühlstrang in Reserve – Kernflutsystem – notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve	Prozedur muss enthalten: – Hinweis, dass nach der Druckentlastung der Füllstand im RDB wieder bis über das Niveau der FD-Leitungen angehoben werden muss
Nachwärmeabfuhr	– 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve	Prozedur muss enthalten: – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Abfahrkühlen, nach Anheben des Füllstandes – Oder Nachwärmeabfuhr über die KOKA, Kreislauf: KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB → offenes S+E-Ventil → KOKA

1.1 Fehlerhafter Anstieg des Füllstands im Reaktordruckbehälter, Phase C, SWR69, Fortsetzung – Falls Leck durch beschädigtes S+E-Ventil		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, Hinweis: Bei größeren Lecks ist davon auszugehen, dass die Bodenluke nicht geschlossen werden kann. Dann läuft das Kühlmittel in das Reaktorgebäude aus, und muss von dort zurückgefördert werden.
Rückfördern aus dem Reaktorgebäudesumpf	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Strang Rückfördersystem 	Rückfördern mit der Rückförderpumpe aus dem Reaktorgebäudesumpf in die KOKA
Nachwärmeabfuhr über Verdampfung (Bei großem Leck durch abgerissenes S+E-Ventil und falls Rückfördersystem nicht verfügbar)	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang in Reserve – Kernflutssystem – notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve – Steuerstabspülwassersystem – Pumpensperrwassersystem 	Ersetzen von Verdampfungsverlusten durch Nachspeisen

2.1 Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen, Phase C, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Diagnose/ Überwachung Meldeanlage/ Überwachung Betriebsparameter RDB	Signale/Messungen: – Füllstand im RDB – Druck, Temperatur im RDB – Schutzabschaltung der laufenden Nachkühlpumpe	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im RDB muss enthalten: – Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung von Füllstand, Temperatur und Druck im RDB
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden der Kühlmittelentnahme	Schließen von: – Erstabsperung – Zweitabsperung	Prozedur muss enthalten: – Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittelverlust zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Druckabbau/ Druckbegrenzung	– Öffnen von S+E-Ventilen von Hand, bevor der Druck 19 bar überschritten hat – Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile, nachdem der Druck 19 bar überschritten hat	– Druckabbau vorzugsweise durch Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile
Fluten / Wiederauffüllen des RDB	– 1 Nachkühlstrang in Reserve – Kernflutsystem – notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve	– Füllstand im RDB wieder bis über das Niveau der FD-Leitungen anheben

2.1 Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen, Phase C, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Abfahrkühlen, nach Anheben des Füllstandes – Oder Nachwärmeabfuhr über die KOKA, Kreislauf: KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB → offenes S+E-Ventil → KOKA <p>Es ist derzeit nicht bekannt, ob die nach Kavitation schutzabgeschaltete Nachkühlpumpe vor dem Wiedereinrichten des Abfahrkühlens entlüftet werden muss (nur relevant bei Ausfall der Schutzabschaltung durch niedrigen RDB-Füllstand).</p>

2.2 Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruckbehälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühlpumpen, Phase D, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Füllstands- /Temperaturüberwachung	Signale/Messungen: – Füllstand im RDB – Temperatur im RDB Schutzabschaltung der laufenden Nachkühlpumpe	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im RDB muss enthalten: – Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Kontinuierliche Beobachtung von Füllstand, und Temperatur im RDB
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Beenden der Kühlmittelentnahme	Schließen von: – Erstabsperung – Zweitabsperung	Prozedur muss enthalten: – Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln Liste der zu schließenden Armaturen um den Kühlmittelverlust zu beenden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten / Wiederauffüllen des RDB	– 1 Nachkühlstrang in Reserve notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve	– Füllstand im RDB wieder bis über das Niveau der FD-Leitungen anheben
Nachwärmeabfuhr	– 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve	Prozedur muss enthalten: – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Abfahrkühlen, nach Anheben des Füllstandes – Oder Nachwärmeabfuhr über die KOKA, Kreislauf: KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB → offenes S+E-Ventil → KOKA Es ist derzeit nicht bekannt, ob die nach Kavitation schutzabgeschaltete Nachkühlpumpe vor dem Wiedereinrichten des Abfahrkühlens entlüftet werden muss (nur relevant bei Ausfall der Schutzabschaltung durch niedrigen RDB-Füllstand).

3.1 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase C, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Temperatur- /Drucküberwachung	<ul style="list-style-type: none"> – Meldung über Pumpenabschaltung/-ausfall in der laufenden Nachkühlkette – Temperatur und Druck im RDB 	<p>Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im RDB muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist – Hinweis, dass 20 Minuten nach Ausfall des Abfahrkühlens durch das Aufheizen des Kühlmittels von 120 °C auf 140°C der RKL-Druck 0,4 MPa überschreiten kann. Bei 0,4 MPa erhalten die Abfahrkühlleitungen einen Schutz-Zu-Befehl. Danach ist eine Druckentlastung erforderlich, um das Abfahrkühlen wieder einrichten zu können. – Kontinuierliche Beobachtung von Temperatur und Druck im RDB
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Druckabbau/ Druckbegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> – Öffnen von S+E-Ventilen von Hand, bevor der Druck 19 bar überschritten hat – Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile, nachdem der Druck 19 bar überschritten hat 	<ul style="list-style-type: none"> – Druckabbau vorzugsweise durch Öffnen der diversitären Druckentlastungsventile
Fluten / Wiederauffüllen des RDB	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang in Reserve – notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve 	<ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im RDB wieder bis über das Niveau der FD-Leitungen anheben
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve 	<p>Prozedur muss enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Abfahrkühlen, nach Anheben des Füllstandes – Oder Nachwärmeabfuhr über die KOKA, Kreislauf: KOKA → Nachkühlpumpe → Nachkühler → RDB → offenes S+E-Ventil → KOKA

3.2 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase D, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Temperaturüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> – Meldung über Pumpenabschaltung/-ausfall in der laufenden Nachkühlkette – Anstieg Temperatur im RDB 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im RDB muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist. Bei Ausfall des laufenden Nachkühlstrangs vergehen ca. 3,5 h, ehe es durch die Kühlmittelverdampfung zur Freilegung der Frischdampfleitungen kommt – Kontinuierliche Beobachtung der Temperatur im RDB
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Fluten/ Gegebenenfalls ersetzen von Verdampfungsverlusten	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang in Reserve – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang in Reserve 	<ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im RDB wieder bis über das Niveau der FD-Leitungen anheben
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Abfahrkühlen, nach Anheben des Füllstandes

3.3 Ausfall eines Nachkühlstranges, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Überwachung Meldeanlage/ Temperaturüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> – Meldung über Pumpenabschaltung/-ausfall in der laufenden Nachkühlkette – Anstieg Temperatur im RDB 	Prozedur zum Vorgehen bei Füllstandsabfall im RDB muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, dass durch die Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ausgefallen ist. Bei Ausfall des laufenden Nachkühlstrangs vergehen ca. 8 Stunden bis die Auslegungstemperatur von 80°C für die Flutraumauskleidung erreicht ist. – Kontinuierliche Beobachtung der Temperatur im Flutraum/RDB
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 1 Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) in Reserve 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Wiedereinrichten der Nachwärmeabfuhr durch Stillstandskühlen

5.1 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Hinweis, dass die Nachkühlpumpen überflutet werden, wenn der Füllstand im Reaktorgebäude 0,8 m übersteigt. – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Verschließen der Leckstelle nach Leerlaufen		<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Leckstelle, ein entsprechender Blinddeckel muss im Lager vorgehalten werden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters – Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind Hinweis: Bei großen Lecks ist davon auszugehen, dass die Bodenluke nicht geschlossen werden kann.
Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens	<ul style="list-style-type: none"> – Gebäuderückförderpumpe (nur in KKP-1) – Deionatsystem – Bereitstellung von Kühlmittel zum Wiederauffüllen (Hilfsmaßnahme) 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens
Nachwärmeabfuhr/ Stopfen ausdrücken	<ul style="list-style-type: none"> – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) (KKB, KKP-1) – Nachkühlpumpe (KKI-1) 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Ausdrücken eines Stopfens aus einer FD-Leitung – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten, falls Nachkühlstränge überflutet wurden, Notstandsnachkühlsystem verwenden

5.1 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Wiederinbetriebnahme der BE-Lagerbeckenkühlung	– Beckenkühlstrang	– Nach Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens ist die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb zu nehmen

5.1 Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem, Phase E, SWR72		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf	– Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/RGB
Schließen des Sicherheitsbehälters	– Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters – Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind	Prozedur muss enthalten: – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind Hinweis im Stillstands-BHB und in der relevanten Arbeitsaufträgen, dass die Schleusen nicht blockiert werden dürfen (z. B. durch Kabel oder Werkzeuge)
Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache:		
Verschließen der Leckstelle nach Leerlaufen		– Anweisung zum Schließen der Leckstelle, ein entsprechender Blinddeckel muss im Lager vorgehalten werden
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens	– 2 Nachkühlstränge, Wiederauffüllen mit dem in der KOKA verbliebenen Kühlmittel – SHB-Rückförderpumpe TZ16	– Anweisung zum Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens mit Kühlmittel aus der KOKA oder aus dem SHB – Hilfsmaßnahme zu Auffüllen der KOKA falls diese freigeschaltet und entleert war
Nachwärmeabfuhr/ Stopfen ausdrücken	– 2 Nachkühlstränge	– Anweisung zum Ausdrücken eines Stopfens aus einer FD-Leitung – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten
Wiederinbetriebnahme der BE-Lagerbeckenkühlung	– Beckenkühlstrang	– Nach Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens ist die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb zu nehmen

6.1 Leck am Flutkompensator, Phase D, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters – Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind <p>Hinweis im Stillstands-BHB und in der relevanten Arbeitsaufträgen, dass die Schleusen nicht blockiert werden dürfen (z. B. durch Kabel oder Werkzeuge)</p> <p>Hinweis, dass bei größeren Leckagen die Materialschleuse (SHB-Bodenluke) nicht geschlossen werden kann und Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausläuft.</p>
Überflutung der Nachkühlpumpen verhindern	<ul style="list-style-type: none"> – Gebäuderückförderpumpe (KKP-1) – Klappen zum Maschinenhaus (KKI-1, KKB) 	Hinweis, dass die Nachkühlpumpen überflutet werden, wenn der Füllstand im Reaktorgebäude einen bestimmten Grenzwert überschreitet.
Nachwärmeabfuhr/ Stopfen ausdrücken	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge (inkl. Nachkühlketten) – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, das NWA über die Stillstandskühlleitung ausfallen wird, wenn der Füllstand im Flutraum absinkt Falls bereits auf Stillstandskühlen umgeschaltet wurde: <ul style="list-style-type: none"> – Stopfen aus einer FD-Leitung ausdrücken – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten, dazu sind ggf. die Nachkühlpumpe zu entlüften, die durch Luftansaugen ausgefallen ist.

6.2 Leck am Flutkompensator, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters – Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind <p>Hinweis im Stillstands-BHB und in der relevanten Arbeitsaufträgen, dass die Schleusen nicht blockiert werden dürfen (z. B. durch Kabel oder Werkzeuge)</p> <p>Hinweis, dass bei größeren Leckagen die Materialschleuse (SHB-Bodenluke) nicht geschlossen werden kann und Kühlmittel in das Reaktorgebäude ausläuft.</p>
Schließen des BE-Beckenschützes		<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen des BE-Beckenschützes um Ausfall der BE-Beckenkühlung zu verhindern
Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens	<ul style="list-style-type: none"> – Deionatsystem 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens, falls der Füllstand bis auf die Ansaugleitungen abgefallen ist
Überflutung der Nachkühlpumpen verhindern	<ul style="list-style-type: none"> – Gebäuderückförderpumpe (KKP-1) – Klappen zum Maschinenhaus (KKI-1, KKB) 	Hinweis, dass die Nachkühlpumpen überflutet werden, wenn der Füllstand im Reaktorgebäude einen bestimmten Grenzwert überschreitet.

6.2 Leck am Flutkompensator, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Nachwärmeabfuhr/ Stopfen ausdrücken	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge (inkl. Nachkühlketten) – 1 notstandssicherer Nachkühlstrang (inkl. Nachkühlkette) 	<ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, das NWA über die Stillstandskühlleitung ausfallen wird, wenn der Füllstand im Flutraum absinkt – Anweisung zum Ausdrücken eines Stopfens aus einer FD-Leitung – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten, falls Nachkühlstränge überflutet wurden, Notstandsnachkühlsystem verwenden

6.1 Leck am Flutkompensator, Phase D, SWR72		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen der Schleusen des Sicherheitsbehälters – Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind Hinweis im Stillstands-BHB und in der relevanten Arbeitsaufträgen, dass die Schleusen nicht blockiert werden dürfen (z. B. durch Kabel oder Werkzeuge)
Fluten/Leck überspeisen	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge, Fluten mit dem in der KOKA verbliebenen Kühlmittel 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des Flutraumes mit Kühlmittel aus der KOKA – Hilfsmaßnahme zu Auffüllen der KOKA falls diese freigeschaltet und entleert wurde
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge verfügbar 	Prozedur muss enthalten: <ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, das NWA über die Stillstandskühlleitung ausfallen wird, wenn der Füllstand im Flutraum absinkt Falls bereits auf Stillstandskühlen umgeschaltet wurde: <ul style="list-style-type: none"> – Stopfen aus einer FD-Leitung ausdrücken – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten, dazu sind ggf. die Nachkühlpumpe zu entlüften, die durch Luftansaugen ausgefallen ist.

6.2 Leck am Flutkompensator, Phase E, SWR72		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im BE-Lagerbecken – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schleusen des Sicherheitsbehälters – Anschlüsse an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind müssen sich verschließen lassen 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Schließen der Schleusen, – Anweisung zum Schließen von Anschlüssen an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind Hinweis im Stillstands-BHB und in der relevanten Arbeitsaufträgen, dass die Schleusen nicht blockiert werden dürfen (z. B. durch Kabel oder Werkzeuge)
Fluten/Leck überspeisen	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge, Fluten mit dem in der KOKA verbliebenen Kühlmittel 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des Flutraumes mit Kühlmittel aus der KOKA – Hilfsmaßnahme zu Auffüllen der KOKA falls diese freigeschaltet und entleert wurde
Nachwärmeabfuhr/Stopfen ausdrücken	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> – Hinweis, das NWA über die Stillstandskühlleitung ausfallen wird – Anweisung zum Ausdrücken eines Stopfens aus einer FD-Leitung – Nachkühlbetrieb über die FD-Leitung einrichten, dazu sind ggf. die Nachkühlpumpe zu entlüften, die durch Luftansaugen ausgefallen ist.
Wiederauffüllen Flutraum/BE-Lagerbeckens	<ul style="list-style-type: none"> – Deionatsystem 	<ul style="list-style-type: none"> – Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens, falls der Füllstand bis auf die Ansaugleitungen abgefallen ist
Schließen des BE-Beckenschützes	<ul style="list-style-type: none"> – Schwenkschütz 	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen des BE-Beckenschützes nach dem Wiederauffüllen um Ausfall der BE-Beckenkühlung zu verhindern

6.2 Leck am Flutkompensator, Phase E, SWR72		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Wiederinbetriebnahme der BE-Lagerbeckenkühlung	– Beckenkühlstrang	– Nach Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens ist die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb zu nehmen

7.1 Leck am RDB-Boden beim Ziehen einer Zwangsumwälzpumpenwelle, Phase E, SWR69		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose:		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf – Füllstand im Reaktorgebäudesumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schleusen des Sicherheitsbehälters betriebsbereit – Anschlüsse an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind müssen bei Arbeiten zum Ziehen einer ZUP-Welle geschlossen sein 	Im BHB-Teil „Anforderungen an den Stillstand“ muss festgelegt werden, dass bei Arbeiten zum Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle die Schleusen (mindestens eine Tür geschlossen) und die Kondensationskammer betriebsbereit sind.
Rückfördern aus dem SHB in den RDB	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge 	
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge, Nachwärmeabfuhr durch Rückfördern aus dem SHB in den RDB über einen Nachkühler 	
Schließen des BE-Beckenschützes	<ul style="list-style-type: none"> – BE-Lagerbeckenschütz 	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen des BE-Beckenschützes ist nur unter Inkaufnahme einer erheblichen Strahlenbelastung möglich, da Dampftrockner und Wasserabscheider freigelegt wurden. Die Förderleistung der 2 Nachkühlpumpen reicht nicht aus um den Flutraum wiederaufzufüllen.
Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens	<ul style="list-style-type: none"> – Deionatsystem 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens
Wiederinbetriebnahme der BE-Lagerbeckenkühlung	<ul style="list-style-type: none"> – Beckenkühlstrang 	<ul style="list-style-type: none"> – Nach Wiederauffüllen des BE-Lagerbeckens ist die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb zu nehmen (In KKP-1 kann die Lagerbeckenkühlung über die Resistentleerungsleitung eingerichtet werden, auch ohne das zuvor das BE-Lagerbecken wiederaufgefüllt wurde)

7.1 Leck am RDB-Boden beim Ziehen einer Kühlmittelumwälzpumpenwelle, Phase E, SWR72		
Erforderliche Systemfunktionen / Personalhandlungen	Notwendige Systeme / Redundanzen	Anforderungen an Prozeduren
Diagnose		
Füllstandsüberwachung	Signale: <ul style="list-style-type: none"> – Füllstand im Flutraum – Füllstand im BE-Lagerbecken – Füllstand im Sicherheitsbehältersumpf 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zur Leckortung / Ursache des Füllstandsabfalls ermitteln – Kontinuierliche Beobachtung der Füllstände in Flutraum/SHB/Reaktorgebäude
Maßnahmen zur Einhaltung von Nachweiskriterien:		
Schließen des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> – Schleusen des Sicherheitsbehälters betriebsbereit – Anschlüsse an die Kondensationskammer, die für Revisionsarbeiten geöffnet sind müssen bei Arbeiten zum Ziehen einer KUP-Welle geschlossen sein 	Im BHB-Teil „Anforderungen an den Stillstand“ muss festgelegt werden, dass bei Arbeiten zum Ziehen einer Zwangsumwälzpumpen-Welle die Schleusen (mindestens eine Tür geschlossen) und die Kondensationskammer betriebsbereit sind.
Fluten aus der KOKA in den RDB	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge, Fluten mit dem in der KOKA verbliebenen und dem in die KOKA überlaufenden Kühlmittel 	<ul style="list-style-type: none"> – Anweisung zum Wiederauffüllen des Flutraumes mit Kühlmittel aus der KOKA – Hilfsmaßnahme zu Auffüllen der KOKA falls diese freigeschaltet und entleert wurde
Nachwärmeabfuhr	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Nachkühlstränge, Nachwärmeabfuhr durch Flutbetrieb aus der KOKA in den RDB über einen Nachkühler 	
Wiederauffüllen KOKA / Flutraum / BE-Lagerbecken	<ul style="list-style-type: none"> – Deionatsystem 	<ul style="list-style-type: none"> – Wiederauffüllen der KOKA, falls diese zuvor für andere Arbeiten entleert wurde
Schließen des BE-Beckenschützes	<ul style="list-style-type: none"> – Schwenkschütz 	<ul style="list-style-type: none"> – Schließen des BE-Beckenschützes nach dem Wiederauffüllen
Wiederinbetriebnahme der BE-Lagerbeckenkühlung	<ul style="list-style-type: none"> – Beckenkühlstrang 	<ul style="list-style-type: none"> – Nach Wiederauffüllen des Flutraumes und des BE-Lagerbeckens ist die BE-Lagerbeckenkühlung wieder in Betrieb zu nehmen

6 Zusammenfassung

Ziel dieses Vorhabens war die Untersuchung und Ermittlung generischer Mindestanforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren zur Störfallbeherrschung während der verschiedenen Betriebsphasen des Nichtleistungsbetriebes. Dabei sollte überprüft werden, ob die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen, die ursprünglich für Störfälle im Leistungsbetrieb konzipiert wurden, auch für den Nichtleistungsbetrieb gelten oder ggf. andere Anforderungen speziell für den Nichtleistungsbetrieb zu entwickeln sind. Des Weiteren sollten für DWR- und SWR-Anlagen Anforderungskataloge mit Mustercharakter erarbeitet werden.

Die GRS hat in verschiedenen Vorhaben Ereignisabläufe ausgehend vom Nichtleistungsbetrieb untersucht und damit den Stand von Wissenschaft und Technik auf diesem Gebiet weiterentwickelt /GRS 99, GRS 03, GRS 06/. Als ein Ergebnis dieser Untersuchungen wurde die detaillierte probabilistische Analyse von Ereignisabläufen ausgehend vom Nichtleistungsbetrieb in den Umfang der periodischen Sicherheitsüberprüfung aufgenommen.

Dieser weiterentwickelte Stand von Wissenschaft und Technik sollte bezüglich einer systematischen Berücksichtigung des Nichtleistungsbetriebes in die Betriebshandbücher der deutschen Kernkraftwerke einfließen. Ziel sollte es sein, Ereignisse des Nichtleistungsbetriebes im gleichen Umfang wie Ereignisse des Leistungsbetriebes in den Betriebshandbüchern zu berücksichtigen. Dazu wären entsprechende Prozeduren zu erstellen und in die Betriebshandbücher aufzunehmen. Als Beitrag dazu wurden im Rahmen dieses Vorhabens die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen für die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebes sowie die Anforderungen an Prozeduren zur Beherrschung von ausgewählten Ereignissen im Nichtleistungsbetrieb untersucht und ermittelt. Ferner wurden Anforderungskataloge erstellt, welche Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für wichtige Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb beinhalten.

Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Untersuchungen und die gezogenen Schlussfolgerungen werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

6.1 Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb

Die Untersuchungen in diesem Vorhaben konzentrierten sich auf die Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums und des 30-Minuten-Kriterium. Es zeigte sich, dass diese wesentlichen Anforderungen an Sicherheitssysteme prinzipiell auch für die im Nichtleistungsbetrieb zu untersuchenden Ereignisse anwendbar sind.

In einzelnen Fällen sind zur Beherrschung des Einzelfehlers zusätzliche Maßnahmen erforderlich, da nicht genügend Redundanzen verfügbar sind. Solche zusätzlichen Maßnahmen können Hilfsmaßnahmen (Prozeduren des Notfallhandbuches), Reparaturen oder die kurzfristige Wiederinbetriebnahme einer freigeschalteten Redundanz beinhalten. KTA3301, Abs. 5.2.1 e) und die Sicherheitskriterien /SIK 09/, Modul 10, Abs. 1.1.2 (2) lassen eine Unterschreitung des erforderlichen Redundanzgrades in bestimmten Betriebsphasen zu, wenn eine ausreichende Karenzzeit bis zur Erreichung von Nachweiskriterien zur Verfügung steht. Im Gegensatz zur KTA3301 wird in /SIK 09/ eine Karenzzeit von 10-Stunden gefordert; Hilfsmaßnahmen werden dort nicht erwähnt.

Wie in den Ereignisablaufanalysen in den Abschnitten 3.3 und 3.4 dargestellt, können einige Ereignisabläufe nicht ohne Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen beherrscht werden. Das betrifft insbesondere große Lecks. Hier sind Ersatzmaßnahmen erforderlich – und auch teilweise bereits in den BHB-Prozeduren vorgesehen – um verlorengegangenes Kühlmittel zu ersetzen und den Flutraum, das BE-Lagerbecken oder die KOKA wieder aufzufüllen. Hilfs- bzw. Ersatzmaßnahmen zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb sollten die in Abschnitt 3.5.2 genannten Anforderungen erfüllen.

Die Ereignisablaufanalysen zeigten, dass detaillierte Prozeduren für Störfälle im Nichtleistungsbetrieb erforderlich sind. Bei einigen Ereignissen (insbesondere im $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb) sind Personalhandlungen innerhalb der ersten 40 Minuten erforderlich, um den Störfall zu beherrschen. Bei anderen Ereignissen führt die Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums zu komplexeren Ereignisabläufen. Daher sollten detaillierte Prozeduren für die Beherrschung von Störfällen im Nichtleistungsbetrieb vorgeplant werden. Diese Prozeduren sollten auch berücksichtigen, dass Personalhandlungen in den ersten 30 Minuten nach Störfalleintritt nicht durchgeführt werden. Generell zeigte sich, dass das 30-Minuten-Kriterium auch im Nichtleistungsbetrieb eingehalten werden kann.

Bezüglich der Nachweiskriterien ergab sich aus den durchgeführten Ereignisablaufanalysen, dass die in /SIK 09/ vorgeschlagenen Nachweiskriterien (Kühlbarkeit des Kerns bei geschlossenem RDB, Kernbedeckung bei offenen RDB) unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen eingehalten werden können. Dabei ist in der Phase E (Flutraum gefüllt) zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Flutraumauskleidung in den deutschen Anlagen nur für Temperaturen bis maximal 80°C ausgelegt ist. Bei Berücksichtigung von Sieden wären weitere Betrachtungen zur Integrität der Flutraum- bzw. Absetzbeckenauskleidung erforderlich. Alternativ wäre eine weitere Redundanz bereitzuhalten, um den zulässigen Redundanzgrad nicht zu unterschreiten.

6.2 Anforderungen an Prozeduren und administrative Regelungen

In diesem Abschnitt werden die Erkenntnisse aus den Arbeiten zu Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren und der administrativen Regelungen des Betriebshandbuchs für den Nichtleistungsbetrieb zusammenfassend dargestellt. Administrative Regelungen wurden nur insoweit untersucht, als dass sie zur Bereitstellung der Prozeduren erforderlich sind. Weitergehende organisatorische Aspekte, wie z. B. Qualifikation, Kooperation und Kommunikation des handelnden Personals konnten im Rahmen dieses Vorhabens nicht untersucht werden.

Die Untersuchungen sind im Kapitel 4 sowie in den Anhängen A und B dieses Berichtes dokumentiert. Die Arbeitsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- Es gibt keine Regel oder Richtlinie, die als Ganzes oder in einem eigenen Teil Anforderungen zum Nichtleistungsbetrieb umfassend und geschlossen darstellt. Der Bestand einschlägiger Anforderungen verteilt sich auf unterschiedliche Regeln und Richtlinien.
- Viele Anforderungen und administrative Festlegungen sind so allgemein formuliert, dass sie auch für den Nichtleistungsbetrieb gelten, ohne ihn eigens zu nennen. Die neue KTA 1201 (Fassung 11/2009) geht erheblich spezifischer auf die Erfordernisse des Nichtleistungsbetriebs ein.
- Im Bereich administrativer Regelungen sind sowohl hinsichtlich der regulatorischen Vorgaben als auch hinsichtlich der Umsetzung in den Referenzanlagen große Fortschritte erzielt worden. Bei Einzelaspekten besteht allerdings noch Weiterentwicklungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die Vorsorgemaßnahmen bei sicherheitsrelevanten Revisionsarbeiten sowie die Prozeduren für ggf. erforderliche Sys-

temrückstellungen und dem sicherheitsgerichteten Abbruch laufender Revisionsarbeiten.

- Die regulatorischen Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren sollten weiterentwickelt werden. Die im Rahmen dieses Vorhabens entwickelten Gestaltungsanforderungen sind so allgemein gehalten, dass sie in das bestehende Regelwerk integriert werden können und auch mit den verschiedenen Konzepten vereinbar sind, nach denen Betreiber deutscher Anlagen ihre Betriebshandbücher gestalten.

6.3 Anforderungskataloge

Für die im Kapitel 3 untersuchten Ereignisse wurden Anforderungskataloge erstellt. Diese enthalten die aus unserer Sicht wesentlichen Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren für die ausgewählten Ereignisabläufe. Grundlage dafür sind die Untersuchungen der GRS /GRS 99, GRS 03, GRS 06/ sowie die Ereignisablaufanalysen im Kapitel 3.

Die Kataloge dokumentieren den fortentwickelten Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb. Sie können u. a. von Behörden oder Sachverständigen genutzt werden, um die Erfüllung der Nachweiskriterien des kerntechnischen Regelwerks bzw. der im Rahmen der PSÜ durchgeführten anlagenspezifischen Analysen für Ereignisse im Nichtleistungsbetrieb zu überprüfen. Ferner können die Kataloge zur Bewertung von bestehenden bzw. neu zu erstellenden administrativen Vorgaben für die einzelnen Betriebsphasen und die Prozeduren zur Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb herangezogen werden. Betreiber können die Kataloge als Anhaltspunkte für die Erstellung von Prozeduren oder administrativen Vorgaben nutzen.

6.4 Schlussfolgerungen

Die im Vorhaben durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die wesentlichen Anforderungen an Sicherheitssysteme prinzipiell auch für die im Nichtleistungsbetrieb zu untersuchenden Ereignisse anwendbar sind. Für einige Ereignisabläufe sind zusätzliche administrative Vorkehrungen erforderlich, um notwendige Randbedingungen zur Beherrschung des Ereignisablaufes sicherzustellen. Des Weiteren sind für einige Ereignisse in bestimmten Phasen zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um einen Einzelfeh-

ler zu beherrschen. Solche zusätzlichen Maßnahmen können Hilfsmaßnahmen (Prozeduren des Notfallhandbuches), Reparaturen oder die kurzfristige Wiederinbetriebnahme freigeschalteter Redundanz beinhalten. Kriterien für die Berücksichtigung von Hilfsmaßnahmen wurden in Kapitel 3.5.2 Kriterien aufgestellt.

Bezüglich der Anforderungen an Prozeduren zeigten die durchgeführten Untersuchungen, dass viele Anforderungen und administrative Festlegungen im Regelwerk so allgemein formuliert sind, dass sie sowohl für den Leistungsbetrieb als auch für den Nichtleistungsbetrieb gelten, ohne letzteren eigens zu nennen. Die Weiterentwicklung der KTA 1201 (Fassung 11/2009) geht spezifischer auf die Erfordernisse des Nichtleistungsbetriebs ein.

Aus den Untersuchungen ergab sich ein Bedarf für die Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik bezüglich organisatorischer Einflussfaktoren und der Berücksichtigung von Rückschaltungen. Organisatorische Einflussfaktoren auf die Beherrschung von Ereignisabläufen im Nichtleistungsbetrieb wurden bisher nicht untersucht. Es wäre daher zukünftig noch zu untersuchen, ob phasenspezifische Regelungen bzw. Anforderungen an die Organisation zu stellen sind und wie bei Übergangsprozessen zu verfahren ist. Insbesondere ist zu klären wie sichergestellt werden kann, dass Arbeiten sicherheitsgerichtet unterbrochen werden, bevor das Personal für Maßnahmen zur Störfallbeherrschung abgezogen wird.

Eine weitere Fragestellung betrifft die Berücksichtigung der Wiederinbetriebnahme freigeschalteter oder ausgefallener Systeme. In einigen Phasen ist die verfügbare Redundanz nicht ausreichend um den Einzelfehler zu beherrschen, so dass von Wiederinbetriebnahmen Kredit genommen werden muss. Daher ist es aus unserer Sicht erforderlich, Anforderungen für die Berücksichtigung solcher Wiederinbetriebnahmen zu formulieren.

7 Literatur

- /BAN 05/ Bundesanzeiger 207a: Bekanntmachung des Leitfadens zur Durchführung der „Sicherheitsüberprüfung gemäß §19a des Atomgesetzes – Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse -“ für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland, BAnz-Nr. 207a, 03.11.2005
- /BMI 77/ Der Bundesminister des Inneren:
Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, verabschiedet im Länderausschuss für Atomkernenergie am 12. Oktober 1977
- /EPS 1300/Electricité de France:
Etude Probabiliste de Sûreté d'une tranche du Centre de Production Nucléaire de Paluel (1300 MWe)
EPS1300 Rapport de Synthèse, 31. Mai 1990
- /EPS 900/ Electricité de France:
A Probabilistic Safety Assessment of the Standard French 900 MWe Pressurized Water Reactor, Main Report, April 1990
- /FAK 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05, Oktober 2005
- /GRS 97/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Einfluss des Menschen auf die Sicherheit von Kernkraftwerken -
technische, organisatorische und personenbezogene Anforderungen im
Rahmen des anlageninternen Notfallschutzes, Teil1 und 2,
GRS-A-2492, April 1997
- /GRS 99/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit:
SWR-Sicherheitsanalyse, Phase II, Abschlussbericht, Band 2
Untersuchungen von Ereignissen außerhalb des Leistungsbetriebs
GRS-A-2713, September 1999

- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-
Leistungsbetrieb eines DWR
GRS-A-3114, Mai 2003
- /GRS 06/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Methodenentwicklung zur Bewertung von auslösenden Ereignissen bei
Nichtleistungsbetrieb für SWR der Baulinie 69
GRS-A-3328, Dezember 2006
- /GRS 06a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Öko-Institut
e.V., Physikerbüro Bremen:
Aktualisierung des Kerntechnischen Regelwerks, Module 1 – 11, Revisi-
on B, Entwurf Stand: September 2006, BMU-Vorhaben SR 2475
- /KTA 12/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
KTA 1201: Anforderungen an das Betriebshandbuch
Fassung 06/1998, (Bundesanzeiger Nr. 172a vom 15. September 1998
- /KTA 12N/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
KTA 1201: Anforderungen an das Betriebshandbuch
Fassung 11/2009
- /KTA 33/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
KTA 3301: Nachwärmeabfuhrsysteme in Leichtwasserreaktoren,
Fassung 11/1984
- /KTA 39/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
KTA 3904: Warte, Notsteuerstelle und örtliche Leitstände in Kernkraftwer-
ken, Fassung 11/2007
- /MPA 76/ Merkpostenaufstellung mit Gliederung für einen Standardsicherheitsbericht
für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor oder Siedewasserreaktor,
Bekanntmachung des BMI vom 26.07.1976

- /NUR 94/ NUREG/CR-6143
Evaluation of Potential Severe Accidents During Low Power and Shutdown Operations at Grand Gulf, Unit 1, Main Report, June 1994
- /NUR 95/ NUREG/CR-6144
Evaluation of Potential Severe Accidents During Low Power and Shutdown Operations at Surry, Unit 1, Main Report, May 1995
- /RSK LL/ Reaktor-Sicherheitskommission:
RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren,
Fassung 01/97
- /SIK 09/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Revision D, April 2009,
<http://regelwerk.grs.de/>
- /SIM 96/ Simon, M., Pertz, M., Rodriguez, J.:
Untersuchung von Ereignisabläufen bei abgeschalteter Anlage (DWR)
GRS-A-2336, Juni 1996
- /SLL 83/ Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung – Störfall-Leitlinien – vom 18. Oktober 1983,
Bundesanzeiger Nr. 245a vom 31.12.1983
- /SSA LF/ Bekanntmachung der Leitfäden zur Durchführung von Periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland vom 18. August 1997, - Leitfaden Sicherheitsstatusanalyse -
Dezember 1996
- /WIE 90/ Weidner, B.:
Organisation in der Unternehmung,
München, Hanser-Verlag, 3. Auflage 1990

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 3-1: Mögliche Vorgehensweise bei der Berücksichtigung von Ereignisabläufen im BHB	69
Abbildung 4-1: Schutzziele bei Stillstand der Anlage (Beispiel)	81
Abbildung 4-2: Zustandsorientiertes Vorgehen bei Stillstand der Anlage, Kühlmittelinventar	82
Abbildung 4-3: Entscheidungslogik zur Auswahl von Maßnahmen (Beispiel)	83

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 5-1: Anforderungen zur Beherrschung von ausgewählten Ereignissen in DWR-Anlagen	90
Tabelle 5-2: Anforderungen zur Beherrschung von ausgewählten Ereignissen in SWR-Anlagen	108

Abkürzungsverzeichnis

AST	Abschaltsicherheitstest
ATWS	Anticipated Transient Without SCRAM
BE	Brennelement
BHB	Betriebshandbuch
BP	Betriebsphase
DE	Dampferzeuger
DH	Druckhalter
DWR	Druckwasserreaktor
EIKO	Einspeisekonzentrationsüberwachung
FAK	BE-Lagerbeckenkühlsystem
FD	Frischdampf
FLUKO	Flutkompensator
FUP	Funktions- und Unterkritikalitätsprüfung
GBA	Gebäudeabschluss
GHC	Deionatsystem
GVA	Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache (Common Cause Failure)
HD	Hochdruck
JDH	Zusatzboriersystem
JNA	Nachkühlsystem
KBC	Borsäureeinspeisesystem
KMV	Kühlmittelverluststörfall
KOKA	Kondensationskammer
MADTEB	Kühlmittel-Massen-, -Druck- und -Temperaturgradienten-Begrenzung
ND	Niederdruck
NHB	Notfallhandbuch
NLB	Nichtleistungsbetrieb
PKL	Primärkreislauf
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
RDB	Reaktordruckbehälter
RESA	Reaktorschnellabschaltung
RKL	Reaktorkühlkreislauf
RS	Steuerstabspülwasser
STAFAB	Steuerstab-Einfahrbegrenzung
TC	Reaktorreinigungssystem
TE	Sperrwasser für die Zwangsumwälzpumpen
TF	Nachkühlsystem im unabhängigen Sabotage- und Störfallschutzsystem
TG	Lagerbeckenkühlsystem
TH	Nachkühlsystem
TK	Kernsprühsystem
TUSA	Turbinenschnellabschaltung
S+E-Ventil	Sicherheits- und Entlastungsventil
SHB	Sicherheitsbehälter
SWR	Siedewasserreaktor
UJB	Reaktorgebäude-Ringraum
USUS	Unabhängiges Sabotage- und Störfallschutzsystem
VM	Vorsorgemaßnahmen
WKP	Wiederkehrende Prüfung
ZUP	Zwangsumwälzpumpe

ANHANG A

Regeln und Richtlinien bezüglich der Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und Prozeduren im Nichtleistungsbetrieb

Inhalt:

1	Spektrum der für den Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse	A - 3
2	Nachweiskriterien für die im Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse	A - 22
2.1	Kontrolle der Reaktivität	A - 23
2.2	Kühlung der Brennelemente	A - 24
2.3	Einschluss der radioaktiven Stoffe	A - 27
2.4	Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele.....	A - 29
3	Anforderung an die Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb	A - 30
4	Anforderungen an die Prozeduren und administrativen Festlegungen im BHB für den Anlagenstillstand bzw. für die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs	A - 37
4.1	Umfang der Recherche	A - 37
4.2	Zusammenstellung der Rechercheergebnisse.....	A - 41
4.2.1	Prozeduren und administrative Festlegungen des Betriebshandbuchs	A - 41
4.2.2	Anforderungen an sonstige Bestandteile eines Arbeitssystems, soweit sie auf Stillstände und Nichtleistungsbetrieb eingehen	A - 50
4.3	Diskussion der Rechercheergebnisse.....	A - 61
5	Literatur zum Anhang A.....	A - 64

1 Spektrum der für den Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse

Die folgende Auflistung enthält eine Gegenüberstellung der für den Nichtleistungsbetrieb zu betrachtende Ereignisse. Als Quellen wurden herangezogen:

1. das aktualisierte untergesetzliche kerntechnische Regelwerk „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“, Revision D, Module 1 – 11, Stand: April 2009, /SIK 09/
2. Unterlagen des derzeit gültigen kerntechnischen Regelwerks, die Ereignisse des Nichtleistungsbetriebs enthalten /SLL 83, MPA 76, SSA LF/
3. sowie die Untersuchungen der GRS zum Nichtleistungsbetrieb /GRS 99, GRS 03, GRS 06/.

Eine internationale Auswertung zu Ereignissen des Nichtleistungsbetriebes wurde nicht durchgeführt, da dies bereits im Rahmen des Vorhaben SR2475 erfolgte.

Die Liste der zu betrachtenden Ereignisse ist auf die Phasen C-F beschränkt. D. h. es wird nur der Nachkühlbetrieb betrachtet, da gemäß BHB erst ab diesem Zeitpunkt Freischaltungen zu Arbeiten an mehr als einer Redundanz, bzw. Revisionsarbeiten zulässig sind.

Gemäß dem Projektumfang, werden nur Ereignisse mit Auswirkungen auf den Reaktorkern betrachtet. Auswirkungen auf das Brennelementlagerbecken werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Betriebsphasen, Definition aus /SIK 09/

Betriebsphase	Definition
A	Leistungsbetrieb über die Hauptwärmesenke. Die Betriebsphase umfasst alle Lastzustände der Anlage.
B	Anfahren bzw. Abfahren der Anlage mittels Haupt- oder Ersatzwärmesenke.
C	Nachkühlbetrieb mit dem nuklearen Nachkühlsystem bei druckdicht verschlossenem Primärkreislauf / Reaktorkühlsystem.
D	Nachkühlbetrieb mit dem nuklearen Nachkühlsystem bei nicht druckdicht verschlossenem Primärkreislauf / Reaktorkühlsystem. Flutraum / Absetzbecken nicht oder nur teilweise geflutet.
E	Nachkühlbetrieb bei vollständig geflutetem Flutraum / Absetzbecken.
F	Brennelementkühlung im Brennelement-Lagerbecken bei vollständig ausgeladenem Kern und vom Flutraum / Absetzbecken getrenntem Brennelement-Lagerbecken.

Abkürzungen:

Schutzziele /SIK 09/:

- R ... Kontrolle der Reaktivität
- K ... Kühlung der Brennelemente
- B ... Einschluss der radioaktiven Stoffe
- S ... Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele

Bei der Störfallanalyse zu betrachtende Gesichtspunkte /SLL 83/:

RA ...	Mit "RA" werden aus der Menge aller radiologisch relevanten Störfälle... nur die radiologisch repräsentativen Störfälle gekennzeichnet. Die radiologischen Auswirkungen sind zu berechnen.
AS ...	Die Analyse dieser Störfälle ist zur Auslegung von Sicherheitseinrichtungen oder von Gegenmaßnahmen durchzuführen.
SI ...	Die Analyse dieser Störfälle dient der Auslegung von Komponenten oder baulichen Anlagen auf Standsicherheit oder Integrität.
VO ...	Eine Störfallanalyse ist nicht erforderlich, wenn die ... genannten Vorsorgemaßnahmen als getroffen nachgewiesen werden. Der jeweilige Störfall wird durch diese Vorsorgemaßnahmen vermieden oder beherrscht. Werden andere Maßnahmen als die genannten Vorsorgemaßnahmen getroffen, so sind die betreffenden Störfälle auf eine Klassifizierung als RA, AS oder SI zu überprüfen.

Tabelle 2: DWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 2

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Druckänderung im Primärkreislauf					
E2-15	Druckanstieg durch fehlerhaftes Einschalten der Druckhalter-Heizung	B	A-C	5.2.6.2 Druckanstieg (z. B. durch fehlerhaftes Anschalten der Druckhalterheizung) /MPA 76/	
Zunahme Reaktorkühlmittelinventar					
E2-16	Fehlerhaftes Einspeisen bzw. Reduzierung der Entnahmeraten durch betriebliche Systeme oder Sicherheitssysteme	K, B	A-C		
Abnahme Reaktorkühlmittelinventar					
E2-17	Kurzzeitiges Fehlöffnen eines Druckhalter-Sicherheitsventils oder Druckhalter-Abblaseventils	K, B	A-C	5.2.6.1 Druckabfall (z. B. durch fehlerhaftes Öffnen von Armaturen) /MPA 76/	
E2-18	Leckagen an Dampferzeugerheizrohren	S	A-C		
E2-19	Fehler im Volumenregelsystem, die zu einer Verkleinerung des Kühlmittelinventars führen	K	A-C		
E2-20	Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb	K, B	C-D		T7.1 Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch fehlerhafte Füllstandsabsenkung
E2-21	Leckagen am Primärkreislauf und an Anschlussleitungen	B, S	A-E		
E2-22	Leckagen in Kühlern, die mit Primärkühlmittel beaufschlagt sind	B, S	A-E		
Ausfall der Nachwärmeabfuhr					
E2-23	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E		T7.2 Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen der Nachkühlketten
E2-24	Abschaltung aller Nachkühlstränge durch fehlerhaft ausgelöste Schutzsignale	K, B	C-E		T8 Fehlerhafte Anregung der Notkühlsignale

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Änderung der Reaktivität und der Leistungsverteilung					
E2-28	Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt (Externe Deborierung; homogen und heterogen)	R	A-E	5.2.7.1 Unbeabsichtigte Borsäurekonzentrationsveränderung im Kühlmittel /MPA 76/	D1 Lecks aus deionatführenden Systemen, D2 Fehlerhaft Deionat im Nachkühlsystem D3 Deborieren bei Dekontaminationsarbeiten D4 Deborieren beim Anheben des Füllstandes, D5 Fehler beim Borieren zum Abfahren D6/T1 Fehlerhaftes Entborieren beim Anfahren nach Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen
E2-29	Ungünstigste Fehlpositionierung eines Brennelementes	R, K	E, A	5.2.18.1 Einsetzen eines Brennelements in eine falsche Position /MPA 76/	K3 Beladefehler
Störung oder Leckage in nuklearen Hilfssystemen					
E2-32	Störung oder Leckage im Abgas- und Abwasseraufbereitungssystem oder in anderen nuklearen Hilfssystemen mit radiologischen Auswirkungen	S	A-F	5.2.19 Störungen im Abgassystem. 5.2.20 Störungen im Abwassersystem /MPA 76/	
E2-33	Fehlerhafter Spül- bzw. Evakuierungsbetrieb	S	C		
Ausfall in der Energieversorgung					
E2-34	Notstromfall kürzer als 2 Stunden	R, K, B, S	A-E	5.2.11 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) /MPA 76/	T1 Notstromfall (extern, intern)
Einwirkung von innen					
E2-35	Lüftungs- / Kühlungsausfall	- - -	A-E		

Tabelle 3: DWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 3

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Zunahme Reaktorkühlmittelinventar					
E3-10	Fehlerhaftes Einspeisen durch betriebliche Systeme oder von Sicherheitssystemen bei Unwirksamkeit vorgesehener Begrenzungsmaßnahmen	K, B	A-C		
Abnahme Reaktorkühlmittelinventar					
E3-11	Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen	R, K, B	C-D		T7.1 Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch fehlerhafte Füllstandsabsenkung
Ausfall der Nachwärmeabfuhr					
E3-12	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E		T7.2 Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen der Nachkühlketten
Änderung der Reaktivität und der Leistungsverteilung					
E3-15	Fehlbeladung des Reaktorkerns mit mehr als einem Brennelemente	R, VM	E		K3 Beladefehler
E3-16	Absturz eines Brennelements auf den Reaktorkern	R	E		
E3-17	Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt, mit Ausfall der Begrenzungen bzw. vorgelagerter Maßnahmen (Externe Deborierung; homogen und heterogen)	R, K, VM	A-E	5.2.7.1 Unbeabsichtigte Borsäurekonzentrationsveränderung im Kühlmittel /MPA 76/	D1 Lecks aus deionatführenden Systemen, D2 Fehlerhaft Deionat im Nachkühlsystem D3 Deborieren bei Dekontaminationsarbeiten D4 Deborieren beim Anheben des Füllstandes, D5 Fehler beim Borieren zum Abfahren D6/T1 Fehlerhaftes Entborieren beim Anfahren nach Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-18	Bildung unterborierter Bereiche im Primärkreislauf (Interne Deborierung)	R, K, VM	A-C		
Kühlmittelverlust innerhalb des Sicherheitsbehälters					
E3-26	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Primärkreislauf	K, B, S	C-E		S1 Kleines RKL-Leck < 25 cm ² S2 Kleines RKL-Leck 25 cm ² - 200 cm ² S4 Mittleres RKL-Leck 200 cm ² - 400 cm ² S5 Großes RKL-Leck > 500 cm ² S8.1 Leck im Nachkühlsystem im Sicherheitsbehälter
E3-27	Fehlöffnen und/oder Offenbleiben eines Druckhalter-Sicherheitsventils oder Druckhalter-Abblaseventils z.B. bei Funktionsprüfungen	K, B	B-C	Offenbleiben von Druckabsicherungseinrichtungen /SSA LF/	S3 Fehlöffnenes DH-Sicherheitsventil S6 Fehlöffnenes DH-Abblaseventil durch Wartungsfehler
Kühlmittelverlust außerhalb des Sicherheitsbehälters					
E3-29	Leck im Nachkühlsystem im Ringraum während des Nachwärmeabfuhrbetriebs	K, B, S	C-E	II.3 Leck im Nachkühlsystem an beliebigen Stellen außerhalb des Sicherheitsbehälters im Ringraum während des Nachwärmeabfuhrbetriebs (VO) /SLL 83/	S8.2 Leck im Nachkühlsystem im Ringraum
E3-30	Leck / Bruch in Primärkühlmittel führenden Wärmetauschern bei Anforderung	K, B, S	A-E		
E3-31	Kühlmittelverlust aus dem Sicherheitsbehälter über Systeme, die an die Druckführende Umschließung angeschlossen sind	K, B, S	A-C	Leckagen aus der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels und ... Fehlverhalten von Armaturen. /MPA 76/	S11 Leck in ein angeschlossenes System
E3-32	Lecks an Systemen mit Überflutungspotential im Ringraum	R, K, B, S	A-E	Bruch einer Reaktorkühlmittel führenden Leitung außerhalb des Sicherheitsbehälters /MPA 76/	
Freisetzung radioaktiver Stoffe aus nuklearen Hilfssystemen					
E3-33	Leck im Volumenregelsystem außerhalb des Sicherheitsbehälters	S	A-F	I.4.1 Leck im Volumenregelsystem außerhalb des Sicherheitsbehälters (AS) /SLL 83/	S9 Leck im Volumenregelsystem

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-34	Leck in einer Primärkühlmittel führenden Messleitung im Ringraum	S	A-F	I.4.2 Leck in einer primärkühlmittel-führenden Messleitung (RA) /SLL 83/ Bruch einer 30 min nicht absperbaren Messleitung im Ringraum /SSA LF/	
E3-35	Leck / Bruch in einer Rohrleitung oder Bruch eines Filters des Abgas- bzw. Gasaufbereitungssystems	S	A-F	I.5 Leck in einer Rohrleitung im Abgassystem (RA) /SLL 83/ Bruch einer Rohrleitung in der Abgasreinigungsablage /SSL LF/	
E3-36	Leck eines Behälters mit aktivem Medium	S	A-F	I.5 Leckage eines Behälters mit radioaktiv kontaminiertem Wasser (größte radiologische Auswirkungen) (RA) /SLL 83/ Versagen des Abwasserverdampferbehälters in der Kühlmittelaufbereitung /SSL LF/	
Ausfall in der Energieversorgung					
E3-37	Notstromfall länger als 2 Stunden	R, K, S	A-E	5.2.11 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) /MPA 76/ II.2 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung, Notstromfall (langzeitig) (AS) /SLL 83/, /SSA LF/	T1 Notstromfall (extern, intern)
Einwirkung von innen					
E3-38	Anlageninterner Brand mit redundanzübergreifenden Auswirkungen	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.22 Anlageninterne Brände und Explosionen /MPA 76/ II.7 Anlageninterne Brände und Explosionen (VO) /SLL 83/ Anlageninterne Brände /SSA LF/	
E3-39	Anlageninterner Brand einschließlich Filterbrand sowie Explosion	S	A-F	5.2.22 Anlageninterne Brände und Explosionen /MPA 76/ Anlageninterne Brände /SSA LF/	

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-40	Anlageninterne Überflutung	Ausle- gungsan- forderung	A-F	II.5 Überflutung innerhalb der sicher- heitstechnisch relevanten Gebäude (VO) /SLL 83/ Überflutung durch Leckagen von Rohrleitungen außerhalb der Kühl- mittelumschließung bis 0,1F bei Aus- führung in Bruchausschlussqualität, sonst 2F /SSA LF/ Sonstige anlageninterne Überflutun- gen /SSA LF/	
E3-41	Absturz und Anprall von Lasten mit potentieller Gefährdung sicherheitstechnisch wichtiger Ein- richtungen	Ausle- gungsan- forderung	A-F		S10 Leck am Flutraum/Absetzbecken
E3-43	Komponentenversagen mit potentiellen Auswir- kungen auf sicherheitstechnisch wichtige Ein- richtungen	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-44	Elektromagnetische Einwirkungen von innen (außer Blitz)	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-45	Kollision von Fahrzeugen mit sicherheitstech- nisch relevanten Systemen, Strukturen oder Komponenten auf dem Anlagengelände	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-46	Anlageninterne Explosionen, einschließlich Ra- diolysegasexplosionen in Systemen und Kom- ponenten	Ausle- gungsan- forderung	A-F	5.2.22 Anlageninterne Brände und Explosionen /MPA 76/ II.7 Anlageninterne Brände und Ex- plosionen (VO) /SLL 83/	

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Einwirkung von außen					
E3-47	Erdbeben (einschließlich Folgewirkungen)	S, Auslegungsanforderung	A-F	5.2.23.1 Erdbeben /MPA 76/ 1.7 Erdbeben (einschl. Folgeschäden), Erdbebenauswirkungen auf - Reaktorgebäude - Notspeisegebäude - Schaltanlagegebäude - Notstromdieselgebäude - Nebenkühlwasserbauwerke (SI, AS) Erdbebenauswirkungen auf das Reaktorhilfsanlagegebäude (RA, SI) /SLL 83/ Standortspezifische naturbedingte äußere Einwirkungen /SSA LF/	
E3-48	Extreme standortabhängige Einwirkungen wie Umgebungstemperaturen, Hochwasser, Sturm, Schnee, Eis, Blitz, äußerer Brand und ggf. andere standortabhängig zu unterstellende Einwirkungen wie Bergschäden, Bodensetzungen, Schlammlawinen, Erdbeben, biologische Einwirkungen in Kühlwassereinläufen (bspw. Muschelbewuchs, Quallen)	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.23.4 Brand 5.2.23.5 Hochwasser 5.2.23.6 Sonstige äußere Einwirkungen (z. B. chemische Schadstoffe, Wirbelstürme, Blitzschlag, Bergschäden, Bodensetzungen) /MPA 76/ II.9 Hochwasser, Blitzschlag, Wind, Eis und Schnee, äußere Brände und andere standortabhängig zu unterstellende Einwirkungen von außen (VO) /SLL 83/ Standortspezifische naturbedingte äußere Einwirkungen /SSA LF/	
E3-49	Beeinträchtigung der Wärmeabfuhr durch Treibgut und Schiffsunfälle	Auslegungsanforderung	A-F		

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-54	Elektromagnetische äußere Einwirkung (außer Blitz)	Ausle- gungsan- forderung	A-F		

Tabelle 4: DWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 4

Sicherheitskriterien für KKW, DWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 03/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Einwirkung von außen					
E4a-09	Funktionsausfall der Warte	R, K, B	A-F		
E4a-10	Einwirkungen von Mehrblockanlagen oder von benachbarten Anlagen	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E4a-11	Flugzeugabsturz	Ausle- gungsan- forderung	A-F	5.2.23.2 Flugzeugabsturz /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisa- torische Einwirkungen /SSA LF/	
E4a-12	Anlagenexterne Explosion, anlagenexterner Brand	Ausle- gungsan- forderung	A-F	5.2.23.3 Explosionen /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisa- torische Einwirkungen /SSA LF/	
E4a-13	Eindringen gefährlicher Stoffe	Ausle- gungsan- forderung	A-F	5.2.23.6 Sonstige äußere Einwirkun- gen (z. B. chemische Schadstoffe, ...) /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisa- torische Einwirkungen /SSA LF/	

Tabelle 5: SWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 2

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Zunahme Reaktorkühlmittelinventar					
E2-10	Fehler in der Füllstandhaltung oder bei der Abfuhr von Überschusswasser oder fehlerhaftes Einspeisen durch betriebliche Systeme oder Sicherheitssysteme	R	A-C		T8 Überspeisen des RDB mit dem Nachkühlsystem
E2-11	Fehlerhaftes Einspeisen mit einem Strang der Flutsysteme (Überspeisung des RDB, Flutkompensator noch nicht gesetzt)	- - -	D		
Abnahme Reaktorkühlmittelinventar					
E2-15	Leckage in mit Reaktorkühlmittel beaufschlagten Kühlern	S	A-E		
E2-16	Leckage an Anschlussleitungen des Reaktorkühlsystems innerhalb des Sicherheitsbehälters	- - -	A-C		
E2-17	Leckage durch Instandhaltungsarbeiten am Reaktor-druckbehälter-Boden	K	E		
Ausfall der Nachwärmeabfuhr					
E2-18	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E		T9 Ausfall der Nachwärmeabfuhr
E2-19	Abschaltung aller Nachkühlstränge durch Druckanstieg oder Füllstandabfall	K, B	B-E		S4.1 Fehlöffnen der TC-Ablaufregelung S4.2 Öffnen eines S+E-Ventils im Nachkühlbetrieb
Änderung der Reaktivität und der Leistungsverteilung					
E2-25	Ungünstigste Fehlbeladung eines reaktivsten Brennelementes	R, K	E, A	5.2.18.1 Einsetzen eines Brennelements in eine falsche Position /MPA 76/	K3 Beladefehler

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Störung oder Leckage in nuklearen Hilfssystemen					
E2-27	Störung oder Leckage im Abgas- und Abwasseraufbereitungssystem und sonstigen nuklearen Hilfssystemen mit radiologischen Auswirkungen	S	A-F	5.2.19 Störungen im Abgassystem. 5.2.20 Störungen im Abwassersystem /MPA 76/	
E2-28	Fehlerhafter Spül- bzw. Evakuierungsbetrieb	S	C		
Ausfall in der Energieversorgung					
E2-29	Notstromfall kürzer als 2 Stunden	R, K, B, S	A-E	5.2.11 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) /MPA 76/	T7 Notstromfall
Einwirkung von innen					
E2-30	Lüftungs- / Kühlungsausfall	- - -	A-E		

Tabelle 6: SWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 3

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Zunahme Reaktorkühlmittelinventar					
E3-04	Fehlfunktion mit Anstieg des Füllstands im Reaktor-druckbehälter oder fehlerhaftes Einspeisen durch betriebliche Systeme oder durch Sicherheitssysteme und Unverfügbarkeit von Begrenzungseinrichtungen	R B	A-C		T8 Überspeisen des RDB mit dem Nachkühlsystem
Abnahme Reaktorkühlmittelinventar					
E3-05	Fehlerhafter Abfall des Füllstands im Reaktordruck-behälter mit Folge des Abschaltens der Nachkühl-pumpen	K	C-D		S4.1 Fehlöffnen der TC-Ablaufregelung S4.2 Öffnen eines S+E-Ventils im Nachkühlobetrieb
Ausfall der Nachwärmeabfuhr					
E3-06	Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Stranges des Nachwärmeabfuhrsystems inklusive Kühlkette	K, B	C-E		T9 Ausfall der Nachwärmeabfuhr
Änderung der Reaktivität und der Leistungsverteilung					
E3-11	Absturz eines Brennelements in den Reaktorkern während des Brennelementwechsels (SWR)	R, K VM	E		
E3-12	Absturz eines Brennelements auf den Reaktorkern	R	E		
E3-13	Fehlerhaftes Ausfahren von Steuerstäben während des Beladens	R, K VM	E	Begrenzter Ausfall des wirksamsten Steuerstabes /SSA LF/	K1 Fälschliches Herausfahren von Steuerstäben, K2 Fehlerhaft ausgebaute Steuerstäbe
E3-14	Fehlerhaftes Ausfahren eines Steuerstabs beim Abschaltsicherheitstest	R, K	E	Begrenzter Ausfall des wirksamsten Steuerstabes /SSA LF/	K1 Fälschliches Herausfahren von Steuerstäben
E3-15	Fehlbeladung des Reaktorkerns mit mehr als einem Brennelement	R VM	E		K3 Beladefehler

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Kühlmittelverlust innerhalb des Sicherheitsbehälters					
E3-21	Leck durch Instandhaltungs- oder Schaltungsfehler am Reaktorkühlsystem	K	C-E		Leck durch Fehlhandlungen bei: Arbeiten an Armaturen im FD-System (S1.2.1), Arbeiten an TC-, TK-Armaturen (S1.2.3), Arbeiten an Messlanzen (S1.2.5)
E3-22	Leck am Flutkompensator	K, S	D-E		S3 Leck am Flutkompensator
E3-23	Leck am Boden des Reaktordruckbehälters durch fehlerhaftes Ziehen einer Pumpenwelle oder durch Arbeiten an Steuerstabantrieben oder Messlanzen	K, S	E		Leck durch Fehlhandlungen bei: Ziehen einer ZUP-Welle (S1.2.3), Arbeiten an Steuerstabantrieben (S1.2.4), Arbeiten an Messlanzen (S1.2.5)
Kühlmittelverlust außerhalb des Sicherheitsbehälters					
E3-27	Leck / Bruch an einer Reaktorkühlmittel führenden Messleitung im Reaktorgebäude	S	A-C	Bruch einer 30 min nicht absperrbaren Reaktorwasser führenden Messleitung im Reaktorgebäude (R) /SSA LF/	
E3-28	Leck / Bruch im Reaktorwasserreinigungssystem im Reaktorgebäude	S	A-E		
E3-29	Leck / Bruch in mit Reaktorkühlmittel beaufschlagten Kühlern bei Anforderung	B, S	A-E		S4.3 Leck im Nachkühler
E3-33	Leck im Nachkühlsystem im Reaktorgebäude während des Nachwärmeabfuhrbetriebs	K, B, S	C-E	Leck / Bruch einer Nachkühlleitung im Reaktorgebäude unter Berücksichtigung der Schließzeit der Absperrarmatur (R) /SSA LF/	S2 Leck im Nachkühlsystem

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-34	Kühlmittelverlust aus dem Sicherheitsbehälter über die an die druckführende Umschließung angeschlossenen Systeme	B, S	A-C	Leckagen aus der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels und ... Fehlverhalten von Armaturen. /MPA 76/ Bruch einer Reaktorkühlmittel führenden Leitung außerhalb des Sicherheitsbehälters /MPA 76/	
Freisetzung radioaktiver Stoffe aus nuklearen Hilfssystemen					
E3-35	Leck/Bruch in einer Rohrleitung oder Bruch eines Filters des Abgas- bzw. Gasaufbereitungssystems	S	A-F	Bruch einer Rohrleitung in der Abgasreinigungsablage (R) /SSL LF/	
E3-36	Leck eines Behälters mit aktivem Medium	S	A-F	Versagen des Abwasserverdampferbehälters in der Kühlmittelaufbereitung (R) /SSL LF/	
Ausfall in der Energieversorgung					
E3-37	Notstromfall länger als 2 Stunden	R, K, S	A-E	5.2.11 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) /MPA 76/ Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) /SSA LF/	T7 Notstromfall
Einwirkung von innen					
E3-38	Anlageninterner Brand mit redundanzübergreifenden Auswirkungen	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.22 Anlageninterne Brände und Explosionen /MPA 76/ Anlageninterne Brände /SSA LF/	B1 Brand innerhalb des Sicherheitsbehälters B2 Brand außerhalb des Sicherheitsbehälters
E3-39	Anlageninterner Brand einschließlich Filterbrand sowie Explosion	S	A-F	5.2.22 Anlageninterne Brände und Explosionen /MPA 76/ Anlageninterne Brände /SSA LF/	B1 Brand innerhalb des Sicherheitsbehälters B2 Brand außerhalb des Sicherheitsbehälters

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-40	Anlageninterne Überflutung	Ausle- gungsan- forderung	A-F	Überflutung durch Leckagen von Rohrleitungen außerhalb der Kühlmittelumschließung bis 0,1F bei Ausführung in Bruchausschlussqualität, sonst 2F /SSA LF/ Sonstige anlageninterne Überflutungen /SSA LF/	IF Interne Überflutung
E3-41	Absturz und Anprall von Lasten mit potentieller Gefährdung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen	Ausle- gungsan- forderung	A-F		H2 Absturz schwerer Lasten
E3-43	Komponentenversagen mit potentiellen Auswirkungen auf sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-44	Elektromagnetische Einwirkungen von innen (außer Blitz)	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-45	Kollision von Fahrzeugen mit sicherheits-technisch wichtigen Systemen, Strukturen und Komponenten auf dem Anlagengelände	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
E3-46	Anlageninterne Explosionen, einschließlich Radiolysegasexplosionen in Systemen und Komponenten	Ausle- gungsan- forderung	A-F		
Einwirkung von außen					
E3-47	Erdbeben (einschließlich Folgeswirkungen)	S, Ausle- gungsan- forderung	A-F	5.2.23.1 Erdbeben /MPA 76/ Standortsspezifische naturbedingte äußere Einwirkungen /SSA LF/	

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
E3-48	Extreme standortabhängige Einwirkungen wie Umgebungstemperaturen, Hochwasser, Sturm, Schnee, Eis, Blitz, äußerer Brand und ggf. andere standortabhängig zu unterstellende Einwirkungen wie Bergschäden, Bodensetzungen, Schlammlawinen, Erdbeben, biologische Einwirkungen in Kühlwassereinläufen (bspw. Muschelbewuchs, Quallen)	Auslegungsforderung	A-F	5.2.23.4 Brand 5.2.23.5 Hochwasser 5.2.23.6 Sonstige äußere Einwirkungen (z. B. chemische Schadstoffe, Wirbelstürme, Blitzschlag, Bergschäden, Bodensetzungen) /MPA 76/ Standortspezifische naturbedingte äußere Einwirkungen /SSA LF/	
E3-49	Beeinträchtigung der Wärmeabfuhr durch Treibgut und Schiffsunfälle	Auslegungsforderung	A-F		
E3-50	Elektromagnetische äußere Einwirkung (außer Blitz)	Auslegungsforderung	A-F		

Tabelle 7: SWR-Ereignisse der Sicherheitsebene 4

Sicherheitskriterien für KKW, Modul3, SWR-Ereignisse				Gültiges Regelwerk	GRS Analysen /GRS 06/
Nr.	Ereignisbeschreibung	Schutzziel	Phase		
Einwirkung von außen					
E4a-11	Funktionsausfall der Warte	R, K, B	A-F		
E4a-12	Einwirkungen von Mehrblockanlagen oder von benachbarten Anlagen	Auslegungsanforderung	A-F		
E4a-13	Flugzeugabsturz	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.23.2 Flugzeugabsturz /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisatorische Einwirkungen /SSA LF/	
E4a-14	Anlagenexterne Explosion, anlagenexterner Brand	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.23.3 Explosionen /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisatorische Einwirkungen /SSA LF/	
E4a-15	Eindringen gefährlicher Stoffe	Auslegungsanforderung	A-F	5.2.23.6 Sonstige äußere Einwirkungen (z. B. chemische Schadstoffe, ...) /MPA 76/ Standortspezifische externe zivilisatorische Einwirkungen /SSA LF/	

2 Nachweiskriterien für die im Nichtleistungsbetrieb zu betrachtenden Ereignisse

Die folgende Auflistung von Nachweiskriterien für Ereignisabläufe im Nichtleistungsbetrieb wurden als Quellen herangezogen:

1. das aktualisierte untergesetzliche kerntechnische Regelwerk „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“, Revision D, Module 1 – 11, Stand: April 2009, /SIK 09/,
2. Unterlagen des derzeit gültigen kerntechnischen Regelwerks, insbesondere RSK-Leitlinien und KTA-Regeln,
3. sowie die Untersuchungen der GRS zum Nichtleistungsbetrieb /GRS 99, GRS 03, GRS 06/.

Die folgende Gliederung der Nachweiskriterien orientiert sich an den Schutzzielen /SIK 09, Modul 3/:

R ... Kontrolle der Reaktivität

K ... Kühlung der Brennelemente

B ... Einschluss der radioaktiven Stoffe

S ... Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele

2.1 Kontrolle der Reaktivität

Nachweiskriterien für das Schutzziel „Kontrolle der Reaktivität (R)“ im Nichtleistungsbetrieb /SIK 09 Modul 3/

	Sicherheitsebene 2	Sicherheitsebene 3	Sicherheitsebene 4
Betriebsphase	C – E	C – E	C – E
Nachweisziel	Reaktorabschaltung		
Nachweiskriterien	Siehe unter „Kühlung der Brennelemente“ sowie „Einschluss der radioaktiven Stoffe“		
Nachweisziel	Sicherstellung der Unterkritikalität		
Nachweiskriterium „Betrag der Abschaltreaktivität“	DWR: $\geq 5 \%$ SWR: $\geq 1 \%$	$\geq 1 \%$	$\geq 1 \%$

Derzeitiges Regelwerk:

RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und RSK-Leitlinien für Siedewasserreaktoren (Entwurf):

3.1.2. (9) Das mit den Steuerelementen arbeitende Abschaltssystem ist so auszulegen, dass die berechnete Abschaltreaktivität bei Nulllast im betriebswarmen Zustand und bei gezogenem, wirksamsten Steuerelement den Wert von **1 %** während der Kernlebensdauer nicht unterschreitet.

KTA3101.2 Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren:

5.2.2. (4) ... ist das Vergiftungssystem so auszulegen, dass ein rechnerischer Betrag der Abschaltreaktivität von **5 %** eingehalten wird.

KTA3103 Abschaltssysteme von Leichtwasserreaktoren

3.3 (2) Das weitere Abschaltssystem muss in der Lage sein, den Reaktor aus allen Zuständen des bestimmungsgemäßen Betriebs heraus, die keine schnellen Reaktivitätsänderungen erfordern, unterkritisch zu machen und unterkritisch zu halten.

2.2 Kühlung der Brennelemente

Nachweiskriterien für das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente (K)“ im Nichtleistungsbetrieb /SIK 09, Modul 3/

Betriebsphase	Sicherheitsebene 2		Sicherheitsebene 3		Sicherheitsebene 4a	
	C	D – E	C	D – E	C	D – E
Nachweisziele	Uneingeschränkte Weiterverwendbarkeit der Brennelemente ^a		Abschalt- und Kühlbarkeit des Reaktorkerns		Abschalt- und Kühlbarkeit des Reaktorkerns	
Nachweiskriterien	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{Brennstoff}} < T_{\text{Schmelz}}$^b - Kein kritischer Siedezustand am Hüllrohr oder Einhaltung eines geeigneten Temperatur-Zeit-Kriteriums für das Hüllrohr 	Kein unterkühltes Sieden am Hüllrohr	<u>Transiente:</u> Brennstabintegrität ^c <u>Reaktivitätsstörfall:</u> Brennstoff verbleibt innerhalb des Hüllrohrs ^d <u>Leckstörfall:</u> -Brennstabintegrität (sofern Leck $\leq 0,1$ F) -Hüllrohrtemperatur $< 1200^{\circ}\text{C}$ ^e -Hüllrohroxidationstiefe $< 17\%$ ^e -Begrenzung der Hüllrohrdehnung ^f	Aufrechterhaltung der Brennelementbedeckung ^g	<u>Transiente mit unterstelltem RESA Ausfall:</u> (Betriebsphase A) dauerhafte Abschaltbarkeit und Kühlbarkeit <u>Notstandsfälle:</u> (Betriebsphase A-C) mechanische Abschaltbarkeit (nur A) und Kühlbarkeit ^g	^g

^a Die zur Gewährleistung der uneingeschränkten Weiterverwendbarkeit im Rahmen der Auslegung von Brennelementen sowie von weiteren Kernbauteilen des weiteren heranzuziehenden Nachweiskriterien werden in „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke: Kriterien für die Auslegung und den Betrieb des Reaktorkerns“ (Modul 2), in der Nummer 5.2 (1) aufgeführt.

^b Kein Erreichen der Brennstoffschmelztemperatur im Heißstab unter Beachtung der radialen Leistungsverteilung im Pellet.

^c Kein kritischer Siedezustand an den Brennstabhüllrohren oder Einhaltung eines geeigneten Temperatur-Zeit-Kriteriums, das die Integrität des Hüllrohres sicherstellt.

^d Ein vorgelagertes Nachweiskriterium hierzu ist die Integrität des Hüllrohres. Die Integrität des Hüllrohres ist sichergestellt, wenn die maximale Enthalpiefreisetzung im Brennstoff (radial über den Pelletquerschnitt gemittelt) unterhalb einer werkstoffzustands- bzw. abbrandabhängigen Hüllrohr-Defektgrenze bleibt.

^e Durch Einhaltung der Nachweiskriterien wird gewährleistet:

- Erhaltung einer Restduktilität des Hüllrohrs, unter Berücksichtigung der transienten, ggf. auch beidseitig stattfindenden Sauerstoff- und Wasserstoffaufnahme in das Hüllrohr, so dass eine Fragmentierung des Hüllrohrs infolge des Ereignisablaufs bzw. der nachfolgenden Handhabungsvorgänge nicht eintritt. Definition Hüllrohroxidationstiefe: Äquivalenter Anteil der durch Oxidation verbrauchten Hüllrohrwand. Die Berechnung der verbrauchten Hüllrohrwand erfolgt dabei gemäß „L. Baker Jr., W. C. Just, Studies of Metal-Water-Reactions of High Temperatures III, Experimental and Theoretical Studies of the Zirconium-Water-Reaction, ANL-6548, 1962“.

- Verhinderung des Erreichens von Temperaturbedingungen, unter denen die Zirkon-Wasser-Reaktion autokatalytisch verläuft.

Die Gültigkeit dieser Kriterienkombination zur Erreichung dieser Nachweisziele für die jeweils verwendeten Hüllrohrwerkstoffe und die erwarteten anfänglichen Hüllrohrzustände ist nachgewiesen.

^f Erhaltung einer freien Strömungsfläche, die eine ausreichende Kühlung der Brennstäbe sicherstellt.

^g Sofern für die Aufrechterhaltung der Kühlung der Brennelemente die Begehbarkeit des Sicherheitsbehälters (SHB) bzw. des Reaktorgebäudes erforderlich ist, ist nachgewiesen, dass die Bedingungen für die Begehbarkeit eingehalten werden.

Derzeitiges Regelwerk:

RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und RSK-Leitlinien für Siedewasserreaktoren
(Entwurf):

22.1.1 Anforderungen

(1) Durch die Kernnotkühlung muss gewährleistet sein, dass:

1. die berechnete maximale Brennstabhüllentemperatur 1200 °C nicht überschreitet,
2. die berechnete Oxidationstiefe der Hülle an keiner Stelle den Wert von 17 % der tatsächlichen Hüllrohrwandstärke überschreitet,
3. bei der Zirkon-Wasser-Reaktion nicht mehr als 1 % des gesamten in den Hüllrohren enthaltenen Zirkoniums reagiert,
4. infolge von Hüllrohrschäden die in Kapitel 2.2 (4) unter Nr. 2 genannten Freisetzungen von Spaltprodukten nicht überschritten werden,
5. keine Änderungen in der Geometrie des Reaktorkerns auftreten, die eine ausreichende Kühlung des Reaktorkerns verhindern.

KTA 3101.2, Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren

4.1 Begrenzung der Leistungsdichte:

Die Leistungsdichte ist so zu begrenzen, dass

a) bei Ereignissen des anomalen Betriebs und bei Störfällen, die zu einer Erhöhung der Leistungsdichte oder einer Verschlechterung der Kühlung führen können, die als zulässig nachgewiesenen Brennstoff- und Hüllrohrzustände eingehalten werden ...

H i n w e i s:

Zu unzulässigen Belastungen der Brennstäbe können führen:

- Erreichen der Brennstoffschmelztemperatur,
- Auftreten von kritischen Siedezuständen nach KTA 3101.1,
- Zu hohe Änderung und Änderungsraten der lokalen Leistungsdichte oberhalb bestimmter Grenzwerte der Leistungsdichte im Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen Brennstoff und Hüllrohr.

GRS Untersuchungen:

Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR /GRS 03/:

Es wurde davon ausgegangen, dass ein Kernschaden mit Beginn der Kernfreilegung eintritt.

Methodenentwicklung zur Bewertung von auslösenden Ereignissen bei Nichtleistungsbetrieb für SWR der Baulinie 69 /GRS 06/:

Es wurde davon ausgegangen, dass ein Kernschaden eintritt, sobald das Steuerstab-schmelzen (ca. 1450 K) beginnt.

2.3 Einschluss der radioaktiven Stoffe

Nachweiskriterien für das Schutzziel „Einschluss der radioaktiven Stoffe (B)“ im Nichtleistungsbetrieb /SIK 09, Modul 3/

		Sicherheitsebene 2		Sicherheitsebene 3		Sicherheitsebene 4a	
Betriebsphase		C	D – E	C	D – E	C	D – E
Nachweisziel		Erhalt der Barrierenintegrität					
Nachweiskriterien	Brennstabhüllrohr:	Siehe unter „Kühlung der Brennelemente“					
	Druckführende Umschließung:	Zu den zugrunde zulegenden Beanspruchungsstufen für Systeme siehe /SIK 09, Modul 3/ Anhang A1					
	Äußere Systeme	Zu den zugrunde zulegenden Beanspruchungsstufen für Systeme siehe /SIK 09, Modul 3/ Anhang A1					
	Sicherheitsbehälter (SHB):	Druckanstieg im SHB < Ansprechkriterien Reaktorschutz	-	$P_{SHB} \leq P_{SHB-A}^b$	-	-	-
		SWR: Einhaltung spezifizierter Temperaturen in der Kondensationskammer	-	SWR: Einhaltung spezifizierter Temperaturen in der Kondensationskammer Begrenzung der -Zirkon-Wasser- Reaktion auf < 1 % des gesamten im Reaktorkern enthaltenen Zirkoniums -max. lokalen H ₂ -Konzentration im SHB auf Werte unterhalb der Zündgrenze	-	SWR: Einhaltung spezifizierter Temperaturen in der Kondensationskammer	-
		Zu den zugrunde zulegenden Beanspruchungsstufen siehe /SIK 09, Modul 3/ Anhang A1					
Nachweisziel		Aufrechterhaltung der Rückhaltefunktion von Einrichtungen					
Nachweiskriterien		siehe unter „Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele“ ^d		siehe unter „Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele“			

b Zur Bestimmung des Auslegungsdrucks des Sicherheitsbehälters siehe „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke: Kriterien für Nachweisführungen und Dokumentation“ (Modul 6), Anhang 2.

d unter Beachtung ggf. vorhandener vorgelagerter radiologischer oder technischer Vorgaben.

Derzeitiges Regelwerk:

RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren

5.1 Auslegungsgrundlagen

(2) Der Auslegungsdruck des Sicherheitsbehälters muss mindestens 15 % über dem so berechneten Störfalldruck liegen.

22.1.1 Anforderungen

(1) Durch die Kernnotkühlung muss gewährleistet sein, dass:

3. bei der Zirkon-Wasser-Reaktion nicht mehr als 1 % des gesamten in den Hüllrohren enthaltenen Zirkoniums reagiert,

24. Maßnahmen zur Begrenzung der Wasserstoffkonzentration

(1) Zur Verhinderung einer Explosionsgefahr (oder Brandgefahr) im Sicherheitsbehälter darf zu keiner Zeit weder integral noch lokal sowohl während des Betriebes als auch infolge eines Kühlmittelverluststörfalls die Zündgrenze des Wasserstoffs (4 % Wasserstoff in Luft) überschritten werden.

RSK-Leitlinien für Siedewasserreaktoren (Entwurf):

5. Sicherheitsbehälter, Druckabbau und Entlastungssysteme, 5.1 Auslegungsgrundlagen

(3) Für die Stahlauskleidung und die tragende Betonstrukturen der Druck- und Kondensationskammer sind die beim Störfall auftretende maximale Temperaturen der Atmosphäre in der Druck- und Kondensationskammer zugrunde zu legen.

2.4 Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele

Nachweiskriterien für das Schutzziel „Einhaltung radiologischer Sicherheitsziele (S)“ im Nichtleistungsbetrieb /SIK 09, Modul 3/

	Sicherheitsebene 2	Sicherheitsebene 3	Sicherheitsebene 4
Betriebsphase	C – E	C – E	C – E
Einhaltung der Vorgaben der Strahlenschutzver- ordnung (StrlSchV):	Einhaltung der Grenzwerte nach §§ 46, 47 StrlSchV	Einhaltung der Stör- fallplanungswerte nach §49 StrlSchV	-

3 Anforderung an die Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb

Zum nationalen Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen im Nichtleistungsbetrieb wurden die folgenden Dokumente ausgewertet:

- BMI-Sicherheitskriterien /BMI 77/
- Störfalleitlinien /SLL 83/
- RSK-Leitlinien für DWR /RSK LL/
- KTA-Regel 3301 /KTA 33/ und
- Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D) /SIK 09/

In den ersten vier Unterlagen werden vor allem generelle Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen gestellt, während in den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke in den Modulen 1 und 10 auf die einzelnen Ebenen des gestaffelten Sicherheitskonzeptes sowie auf die besonderen Anforderungen des Nichtleistungsbetriebes an die Sicherheitseinrichtungen eingegangen wird.

Die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen in den oben aufgeführten Unterlagen, die auch für den Nichtleistungsbetrieb relevant sind, betreffen im Wesentlichen:

- Die räumliche Trennung redundanter Teilsysteme
- Das Einzelfehlerkonzept sowie Redundanzanforderungen in den verschiedenen Sicherheitsebenen
- Die Beherrschung von unterstellten Zusatzausfällen und
- Das 30-Minuten-Kriterium

Die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen werden in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle: Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen in den verschiedenen Regelwerken

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
Einzelfehlerkriterium			
<p>Kriterium 4.2: Nachwärmeabfuhr im bestimmungsgemäßen Betrieb</p> <p>Ein zuverlässiges, redundantes System zur Nachwärmeabfuhr im bestimmungsgemäßen Betrieb muss vorhanden und so beschaffen sein, dass auch nach Unterbrechung der Wärmeabfuhr vom Reaktor zur Hauptwärmesenke auch bei Auftreten eines Einzelfehlers im Nachwärmeabfuhrsystem die jeweils spezifizierten Grenzwerte für die Brennelemente, für die druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels sowie für den Sicherheitseinschluss nicht überschritten werden.</p> <p>Kriterium 4.3: Nachwärmeabfuhr nach Kühlmittelverlusten</p> <p>Ein zuverlässiges, redundantes System für die Notkühlung (Notkühlsystem) des Reaktorkerns bei Kühlmittelverlusten muss vorhanden und so beschaffen sein, dass für die in Betracht kommenden Bruchgrößen, Bruchlagen, Betriebszustände und Transienten im Reaktorkühlsystem</p> <p>1. das Notkühlsystem auch während</p>	<p>22.1 Kernnot- und Nachkühlsystem (3) Das Kernnotkühlsystem muss bei Auftreten eines Einzelfehlers seine sicherheitstechnische Aufgabe mit ausreichender Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erfüllen. Dies muss auch während Prüfungen und Reparaturen gewährleistet sein. Wenn bei kurzzeitigen Reparaturen die Gesamtverfügbarkeit des Kernnotkühlsystems nicht wesentlich verschlechtert wird, braucht ein zusätzlicher Einzelfehler bei passiven Systemen nicht vorausgesetzt zu werden.</p>	<p>Systemkonzept 5.2 Versagensannahmen und Redundanzforderungen 5.2.1 Einzelfehlerkonzept Für die NWA-Systeme gelten die „Interpretationen zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Einzelfehlerkonzept Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums“. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Anforderungen enthalten eine Konkretisierung des Einzelfehlerkonzepts im Hinblick auf die NWA-Systeme. c) Ein Einzelfehler an einer beliebigen Komponente der NWA-Systeme, jedoch unter Beachtung von Abschnitt 5.2.2.2.: Zur Beherrschung des Einzelfehlers ergibt sich als Anforderung an NWA-Systeme eine einfach redundante Auslegung (n + 1) der Systeme bezogen auf den jeweiligen Einsatzfall. Eine Redundante, mit deren Unwirksamkeit als Folge eines auslösenden Störfalles zu rechnen ist, zählt bei der Bestimmung der Redundanz nicht mit.</p> <p>H i n w e i s : n ist die Anzahl der zur Beherrschung des Einsatzfalles notwendigen Redundanten. d) Folgeausfälle des Einzelfehlers</p>	<p>Modul 1, 3.1 (4) Der erforderliche Redundanzgrad von Einrichtungen zur Sicherstellung von Sicherheitsfunktionen ist abhängig von deren sicherheitstechnischen Bedeutung im gestaffelten Sicherheitskonzept. Sicherheitseinrichtungen sind so redundant vorhanden und entmascht ausgeführt, dass die zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Sicherheitsfunktionen auch dann ausreichend wirksam sind, wenn postuliert wird, dass im Anforderungsfall</p> <ul style="list-style-type: none"> – ein ungünstigst wirkender Einzelfehler in einer Sicherheitseinrichtung infolge eines zufälligen Ausfalls auftritt und – grundsätzlich gleichzeitig eine in Kombination mit dem Einzelfehler ungünstigst wirkende Unverfügbarkeit in einer Sicherheitseinrichtung infolge von Instandhaltungsmaßnahmen (Instandhaltungsfall) vorliegt.

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
<p>Instandhaltungsvorgängen bei gleichzeitigem Auftreten eines Einzelfehlers im System seine sicherheitstechnische Aufgabe erfüllen kann,.....</p> <p>Kriterium 8.5: Wärmeabfuhr aus dem Sicherheitseinschluss Ein zuverlässiges, redundantes System zur Abfuhr der Wärme aus dem Sicherheitseinschluss muss vorhanden und so ausgelegt und beschaffen sein, dass auch bei Auftreten eines Einzelfehlers im System bei Störfällen Temperatur und Druck im Sicherheitseinschluss abgesenkt werden können.</p>		<p>Folgeausfälle eines Einzelfehlers sollen auf diejenige Redundante beschränkt bleiben, in der der Einzelfehler auftritt (strangweise Trennung gemäß Abschnitt 5.2.2.4).</p> <p>e) Instandhaltungsmaßnahmen Auch während Instandhaltungsmaßnahmen muss das Einzelfehlerkriterium grundsätzlich erfüllt sein. Deshalb muss für Systeme, bei denen während des Leistungsbetriebs Instandsetzungs- oder Wartungsmaßnahmen mit Unterbrechung der Funktionsbereitschaft eines Strangs möglich sein sollen, grundsätzlich (nach Maßgabe von Abschnitt 5.2.2.2) eine zweifach redundante Auslegung (n + 2), bezogen auf den jeweiligen Einsatzfall, vorgesehen werden. Für die Berücksichtigung einer Funktionsprüfung in einem weiteren Strang braucht keine zusätzliche Redundanz vorgesehen zu werden, wenn die Funktionsbereitschaft des Strangs im Einsatzfall rechtzeitig wieder hergestellt werden kann. Bei der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen bei abgefahrener Reaktoranlage sind grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu erfüllen. Es darf jedoch, unter Berücksichtigung des Zeitverhaltens der Reaktoranlage, auf die Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums verzichtet werden, wenn bei einem zusätzlichen Ausfall die Systemfunktion rechtzeitig wieder hergestellt oder die NWA auf andere Weise sichergestellt werden kann, wobei auch Hilfsmaßnahmen zulässig sind.</p>	<p>Modul 10 1.1.2 Allgemeine Redundanzanforderungen für die Betriebsphasen C bis F 1.1.2 (1) Für die Zeiträume planmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen in den Betriebsphasen C bis F an für diese Betriebsphasen notwendigen Einrichtungen der Sicherheitsebene 3 ist ein Einzelfehler, jedoch kein weiterer Instandhaltungsfall unterstellt (Redundanzgrad n+1). 1.1.2 (2) Ein Redundanzgrad n+0 ist in den Betriebsphasen E und F dann zulässig, wenn bei Ausfall der Sicherheitseinrichtung die Zeit bis zur Nichteinhaltung von Nachweiskriterien mehr als 10 Stunden beträgt und die ausgefallenen oder in Instandhaltung befindlichen aktiven sicherheitsrelevanten Einrichtungen zuverlässig innerhalb dieses Zeitraums verfügbar sind.</p>

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
Beherrschung von Zusatzereignissen			
		<p>5.2.2.1 Ereigniskombination und Redundanz (1) Für die Auslegung der zur NWA angeforderten Systeme sind unter Einschluss der Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme folgende Ereignisse zugrunde zu legen, die – gleichzeitig oder auch zeitlich versetzt - auftreten können: a) Der zu beherrschende Einsatzfall Es müssen fest umrissene Einsatzfälle mit definierten Schutz oder Wirksamkeitszielen vorgegeben sein (siehe Abschnitt 3). Der Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall) ist dann zu unterstellen, wenn er in den "Störfall-Leitlinien gefordert wird. b) Störfallbedingte Folgeausfälle: Störfallfolgen und Folgeausfälle in denjenigen NWA-Systemen, welche für die Störfallbeherrschung vorgesehen sind, sind so zu beschränken, dass die Beherrschung von Einzelfehler und Instandhaltungsmaßnahmen sichergestellt bleibt.</p>	<p>Modul 1 3.1 (7) Die Zuverlässigkeit und Wirksamkeit der Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 3, einschließlich der Hilfs- und Versorgungssysteme, ist bei Anforderung auch sichergestellt</p> <ul style="list-style-type: none"> – bei allen bei den Ereignisabläufen zu unterstellenden Bedingungen, – bei störfallbedingten Folgeausfällen, – bei gleichzeitigem oder zeitlich versetztem Ausfall der Eigenbedarfsversorgung sowie – bei den Ausfällen gemäß dem Einzelfehlerkonzept nach der Nummer 3.1 (4).

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
Räumliche Trennung redundanter Teilsysteme			
	<p>Als zweiter Grundsatz sind darüber hinaus Maßnahmen zur Beherrschung von Störfällen zu treffen. Hierfür sind ausreichend zuverlässige 1) technische Sicherheitseinrichtungen vorzusehen.</p> <p>Diese Sicherheitseinrichtungen sind so auszulegen, dass sie das Personal und die Bevölkerung vor den Auswirkungen von Störfällen schützen. Dazu sind folgende Auslegungsgrundsätze anzuwenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Redundanz, Diversität, weitgehende Entmaschung von Teilsystemen, räumliche Trennung redundanter Teilsysteme; - sicherheitsgerichtetes Systemverhalten bei Fehlfunktion von Teilsystemen oder Anlagenteilen; - Bevorzugung passiver gegenüber aktiven Sicherheitsfunktionen. 	<p>5.2.2.4 Strangtrennung</p> <p>(1) Die bei anlageninternen Störfällen zum Einsatz vorgesehenen NWA-Systeme, einschließlich der zugehörigen Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme, sind grundsätzlich strangweise getrennt aufzubauen. Diese Stränge sind so auszuführen, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> a) jeder Strang seine sicherheitstechnischen Funktionen unabhängig von Ausfällen in anderen Strängen erfüllen kann, oder b) Ausfälle von Komponenten, die den Ausfall von mehr als einem Strang bewirken würden, sicher beherrscht werden. <p>(2) Unter Beachtung des unter (1) formulierten Grundsatzes sind Verbindungen von redundanten Strängen und die Benutzung gemeinsamer Komponenten nur dann zulässig, wenn alle zu betrachtenden Versagensmöglichkeiten die sicherheitstechnischen</p>	<p>Modul 1</p> <p>3.1 (3)</p> <p>Auf Einrichtungen der Sicherheitsebene 3 (Sicherheitseinrichtungen) werden zur Sicherstellung einer ausreichenden Zuverlässigkeit zusätzlich zu der Nummer 3.1 (2) folgende Auslegungsgrundsätze angewendet:</p> <p>.....</p> <p>d) räumliche Trennung redundanter Teilsysteme;</p> <p>3.7 (3)</p> <p>Das Kernkraftwerk ist mit zuverlässigen leittechnischen Einrichtungen mit Funktionen auf der Sicherheitsebene 3 ausgerüstet (Reaktorschutzsystem), deren Leittechnikfunktionen bei Erreichen festgelegter Ansprechwerte Schutzaktionen auslösen. Diese Einrichtungen sind nach folgenden Grundsätzen ausgelegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - redundante Auslegung von Komponenten, Baugruppen und Teilsystemen, - räumlich getrennte Installation entsprechend dem Wirkungsbereich möglicher versagensauslösender Ereignisse, <p>....</p> <p>4.1 (9)</p> <p>Die zueinander redundanten Teilsysteme von Sicherheitseinrichtungen sind räumlich getrennt aufgestellt oder so geschützt, dass bei Einwirkungen von außen bzw. von innen (wie Brand oder Überflutung) ein redundanzübergreifender Funktionsausfall nicht zu unterstellen ist.</p>

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
		<p>Funktionen nicht beeinträchtigen. Verbindungen von redundanten Strängen über Rohrleitungen sollen in der Bereitschaftsstellung geschlossen und müssen bei sicherheitstechnisch relevanten Einsatzfällen sicher absperrbar sein.</p>	<p>Modul 5 6 (3) Zum Schutz gegen redundanzübergreifende versagensauslösende Ereignisse innerhalb der leittechnischen Einrichtungen und innerhalb der Anlage sind Redundanten grundsätzlich räumlich getrennt angeordnet.</p> <p>Modul 10 1.3 (3) Redundante Einrichtungen sind räumlich oder baulich so getrennt, dass potentiell übergreifende Einwirkungen von innen und von außen auf eine Redundante der zur Beherrschung von postulierten Störfällen gemäß den „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke: Bei Druck- und Siedewasserreaktoren zu berücksichtigende Ereignisse“ (Modul 3) erforderlichen Einrichtungen beschränkt bleiben. Bei Notstandsfällen ist für Einrichtungen der Sicherheitsebene 4a sichergestellt, dass im Ereignisfall eine Redundante erhalten bleibt. Dabei sind jeweils auch Folgewirkungen berücksichtigt.</p>

Sicherheitskriterien für KKW 12/98 /Störfall-Leitlinien	RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren	KTA 3301	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Revision D)
30-Minuten-Kriterium			
<p>Störfalleitlinien: 4.9: Handmaßnahmen des Betriebspersonals zur Minimierung der Störfallfolgen sind im Allgemeinen erst 30 Min. nach Störfalleintritt als wirksam anzunehmen.</p>	<p>(11) Die Sicherheitsleittechnik soll Schutzaktionen zur Beherrschung von Störfällen automatisch auslösen. Das Sicherheitssystem ist so auszuliegen, dass notwendige von Hand auszulösende Schutzaktionen zur Beherrschung von Störfällen nicht vor Ablauf von 30 Minuten erforderlich werden.</p>		<p>Modul 1 3.1 (3) i) Automatisierung (von Hand auszulösende Einrichtungen werden in der Störfallanalyse grundsätzlich nicht vor Ablauf von 30 Minuten berücksichtigt).</p> <p>Modul 5 3.2 (6) Die leittechnischen Einrichtungen, die Leittechnik-Funktionen der Kategorie A ausführen, sind so ausgelegt, dass Schutzaktionen grundsätzlich automatisch ausgeführt werden. Nur wenn sichergestellt ist, dass vom Zeitpunkt des Erkennens eines Ereignisses der Sicherheitsebene 3 bis zur Auslösung der zur Beherrschung notwendigen Schutzaktion ausreichend Zeit für die Entscheidungsfindung und für die Durchführung der Schutzaktion durch das Personal zur Verfügung steht, dürfen notwendige Schutzaktionen auch von Hand ausgelöst werden. Der Auslegungsrichtwert für die Zeitspanne, innerhalb derer keine Handmaßnahmen erforderlich sind, beträgt 30 Minuten.</p>

4 Anforderungen an die Prozeduren und administrativen Festlegungen im BHB für den Anlagenstillstand bzw. für die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs

Die Aufbereitung des Standes von Wissenschaft und Technik berücksichtigt auch die Anforderungen an Prozeduren und die administrativen Festlegungen des Betriebshandbuchs, soweit sie den Anlagenstillstand und die verschiedenen Phasen des Nichtleistungsbetriebs betreffen. Um diesen Stand von Wissenschaft und Technik zu ermitteln, sind einschlägige Anforderungen und Festlegungen (1) zu recherchieren, (2) zusammenzufassen und (3) zu diskutieren. Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte sind Gegenstand der folgenden Gliederungspunkte.

4.1 Umfang der Recherche

Der Umfang der Recherche hängt von der näheren Bestimmung der betrachteten Themenfelder, der genutzten Quellen und der genauen Kriterien ab, nach denen Anforderungen und Festlegungen in die Darstellung und Diskussion einzubeziehen sind.

Die Themenfelder der Recherche ergeben sich aus den nachstehenden Überlegungen:

- Prozeduren und administrative Festlegungen des Betriebshandbuchs sollten nicht isoliert betrachtet werden, weil sie zu Arbeitssystemen gehören, die noch weitere Bestandteile umfassen.

Unter einem Arbeitssystem versteht man ganz allgemein die Gesamtheit der Faktoren aus den Bereichen Technik, Umgebung und Organisation, die sich auf die Leistung des Menschen bei der Bearbeitung von Aufgaben in einem Unternehmen auswirken (/KOS 76/, 235 ff., /APA 07/, 1007). Diese sehr allgemeine Bestimmung bedarf einiger Erläuterungen:

- Im vorliegenden Projekt besteht die Leistung aus der zuverlässigern Erfüllung anstehender Aufgaben in allen Phasen des Nichtleistungsbetriebes.
- Technische Bestandteile eines Arbeitssystems sind alle Einrichtungen, die Objekt oder Mittel menschlicher Arbeitshandlungen sind. Zu den Arbeitsmitteln

zählen unter anderem die Anzeigen und Bedieneinrichtungen der Benutzungsoberflächen, Werkzeuge sowie die technische Dokumentation in papierener oder elektronischer Form und damit auch das Betriebshandbuch.

- Die Umgebung umfasst alle physikalisch-chemischen Faktoren wie zum Beispiel Beleuchtung, Lärm, Temperatur oder Vibrationen, denen das Personal bei der Aufgabendurchführung ausgesetzt ist. Umgebungsfaktoren bilden Begleitumstände, nicht aber Objekte oder Mittel von Arbeitshandlungen.
- Unter der Organisation versteht man die vorgesehenen Regelungen des Unternehmens zu Zahl, Qualifikation, Rechten und Pflichten der Ausführenden sowie zu den Arbeitsabläufen und zu den Anreizen für die korrekte Aufgabenerfüllung. Dazu zählen auch alle administrativen Festlegungen des Betriebshandbuchs.

Im Weiteren dienen „Bestandteil“ und „Faktor“ eines Arbeitssystems als austauschbare Bezeichnungen.

- Zuverlässige, menschliche Leistung hängt wesentlich davon ab, dass die Bestandteile eines Arbeitssystems möglichst so ausgelegt und aufeinander abgestimmt sind, dass sie in ihrer Kombination die zuverlässige Aufgabenerfüllung durch den Menschen wirksam unterstützen. Beispielsweise setzt die korrekte und rechtzeitige Ausführung von Prozeduranweisungen auch voraus, dass die Benutzungsoberfläche alle erforderlichen Informations- und Bedieneinrichtungen bereitstellt.
- Die vorliegende Untersuchung bezieht deshalb über Anforderungen an Prozeduren und Festlegungen des Betriebshandbuchs hinaus auch Anforderungen an weitere Bestandteile eines Arbeitssystems ein, soweit letztere die zuverlässige Ausführung von Prozeduren und die Umsetzung administrativer Festlegungen unterstützen. Im Einzelnen erstreckt sich die Recherche auf folgende Bestandteile eines Arbeitssystems:

- Unterlagen zu den Aufgaben, Arbeitsabläufen und Vorgehensweisen

Dazu gehört unter anderem das Betriebshandbuch als papierenes oder eventuell auch elektronisches Dokument mit seinen Prozeduren und administrativen Festlegungen.

– Organisation

Organisation besteht nach einschlägiger Begriffsbestimmung aus Regelungen, die sich auf die Arbeitsteilung sowie die Aufgabenerfüllungsprozesse und damit auf Zuständigkeiten, Arbeitsabläufe, Kooperation, Kommunikation und Kontrollen beziehen (z. B. /FRE 98/, 41). Die vorliegende Untersuchung fasst unter den Begriff der Organisation ferner alle Vorkehrungen, die auf eine sichere Ausführung von Aktionen abzielen, auch wenn die zugehörige Regelung offen lässt, ob die betreffende Aktion automatisch, von Hand oder durch eine Kombination beider erfolgen soll. Dieses umfassende Verständnis der Organisation entspricht fachwissenschaftlichen Begriffsbestimmungen, denn letztere rechnen zur Organisation auch alle Festlegungen, wie die bauliche und technische Infrastruktur für die Aufgabenerfüllung auszugestaltet ist (z. B. KOS 76/, a. a. O.).

– Fachkunde

Zuverlässiges Handeln hängt wesentlich davon ab, dass das Personal die erforderliche Qualifikation besitzt, um Prozeduren und administrativen Festlegungen richtig verstehen und anwenden zu können.

– Arbeitsmittel in der Warte, in der Notsteuerstelle und vor Ort

Art und Auslegung der Arbeitsmittel können die Ausführung anstehender Prozeduren und Anweisungen mehr oder weniger wirksam unterstützen. Wichtige Gesichtspunkte sind unter anderem die Ausstattung mit erforderlichen Informations- und Bedieneinrichtungen, die ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel und der verfügbare Platz für absehbare Arbeitshandlungen.

– Arbeitsumgebungen

Faktoren der Arbeitsumgebung, können in zweierlei Hinsicht für Prozeduren und administrative Festlegung wichtig sein (1). Umgebungsbedingungen können den Gegenstand von Anweisungen und Hinweisen in Prozeduren bilden, um geeignete Vorkehrungen auf Seiten des Personals zu veranlassen. Man denke etwa an Strahlenbelastung und Strahlenschutz (2). Arbeitsumgebungsfaktoren können sich ferner auf die Zuverlässigkeit auswirken, mit der das Personal Prozeduren ausführt. So hängt die Lesbarkeit eines Dokuments zum

Beispiel wesentlich davon ab, die Größe, in der Texte und sonstige Informationen dargeboten werden, auf die absehbaren Lichtverhältnisse am Arbeitsort abzustimmen und umgekehrt.

Damit sind die wesentlichen Themenfelder der Untersuchung abgesteckt. Als Quelle nutzt die Recherche einschlägiger Anforderungen die Regeln und Richtlinien, die das „Handbuch Reaktorsicherheit“ enthält (/BFS 09/). Dazu gehören auch die „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Revision D“ (/SIK 09/).

Im Einzelnen kommen folgende Kriterien zur Anwendung, um diejenigen Anforderungen und Festlegungen zu bestimmen, die im vorliegenden Projekt näher zu betrachten sind:

- Anforderungen zu Prozeduren bzw. Festlegungen des Betriebshandbuchs nehmen ausdrücklich auf Stillstände, Phasen des Nichtleistungsbetriebs, An- und Abfahren Brennelementwechsel, Kraftwerksrevisionen usw. Bezug.
- Anforderungen zu Prozeduren bzw. Festlegungen des Betriebshandbuchs gelten für Betriebszustände, die durch Aufzählung von Beispielen näher charakterisiert werden, wobei als Beispiele auch Stillstände, Phasen des Nichtleistungsbetriebs etc. genannt werden.
- Anforderungen und Festlegungen zu sonstigen Bestandteilen eines Arbeitssystems werden näher betrachtet, wenn sie explizit auf Betriebszustände Bezug nehmen, zu denen auch Stillstände, Nichtleistungsbetrieb usw. gehören.

Die Recherche nach diesen drei Kriterien orientiert sich also am Auftreten bestimmter Schlüsselbegriffe in Anforderungen bzw. administrativen Festlegungen.

- Darüber hinaus berücksichtigt die Recherche die Instandhaltungsordnung und die Strahlenschutzordnung. Das hat folgende Gründe: Die Instandhaltungsordnung dient unter anderem dazu, Arbeiten vorzubereiten, die zu einem erheblichen Teil während einer Kraftwerksrevision anstehen. Zur Vorbereitung der Arbeiten zählt auch die Festlegung der Arbeitsabläufe und die Ausfertigung der zugehörigen Arbeitsunterlagen, die, wie auch die Prozeduren des Betriebshandbuchs, schriftliche Anleitungen für die Durchführung von Personalaufgaben an bzw. mit der technischen Einrichtung darstellen. Regelungen der Strahlenschutzordnung greifen unter

anderem bei Brennelementwechseln, die sich dem Anlagenstillstand zuordnen und damit Thema des vorliegenden Projektes sind.

Anforderungen und administrative Festlegungen können umfassende Geltung besitzen und sich auch auf Stillstände bzw. Phasen des Nichtleistungsbetriebs. beziehen, ohne diese ausdrücklich zu erwähnen. Ein Beispiel stellt die Brandschutzordnung im Betriebshandbuch dar. Das vorliegende Dokument begnügt sich mit Referenzen auf diese Regelungen. Es konzentriert sich in der detaillierten Darstellung somit auf Anforderungen und Festlegungen, die den eben formulierten Auswahlgesichtspunkten entsprechen.

4.2 Zusammenstellung der Rechercheergebnisse

Die Ergebnisdarstellung gliedert sich in die zwei Punkte „Prozeduren und administrative Festlegungen des Betriebshandbuchs“ sowie „Sonstige Bestandteile des Arbeitssystems“. Der erste Gliederungspunkt geht auf die Faktoren „Unterlagen“ und „administrative Festlegungen“ eines Arbeitssystems ein, der zweite behandelt die Faktoren „Qualifikation“, „organisatorische Aspekte“, „Arbeitsmittel“ und „Arbeitsumgebungen“. Die Ergebnisdarstellung enthält Kommentare, die diesen Bezug explizit herstellen.

4.2.1 Prozeduren und administrative Festlegungen des Betriebshandbuchs

Zu betrachten sind (1) die Betriebsordnungen (2) Anforderungen an die Prozeduren des Betriebshandbuchs und (3) sonstige Anforderungen des Betriebshandbuchs mit einem expliziten Bezug auf Stillstände, Nichtleistungsbetrieb, Revisionen oder Brennelementwechsel.

4.2.1.1 Betriebsordnungen

Das Betriebshandbuch hat laut Regel KTA 1201 in Teil 1 alle Betriebsordnungen mit Geltung für das gesamte Kraftwerk zu enthalten (KTA 1201, „Anforderungen an das Betriebshandbuch“, 3 (1)). Dazu zählen (1) die personelle Betriebsorganisation, (2) die Warten- und Schichtordnung, (3) die Instandhaltungsordnung, (4) die Strahlenschutzordnung, (5) die Wach- und Zugangsordnung, (6) die Alarmordnung, (7) die Brandschutzordnung und (8) die Erste-Hilfe-Ordnung (KTA 1201, 6).

Kommentar: Die aufgezählten Betriebsordnungen sind wegen ihrer umfassenden und dauerhaften Gültigkeit auch in Phasen des Anlagenstillstands bzw. des Nichtleistungsbetriebs einzuhalten.

Die genauere Betrachtung konzentriert sich auf die Strahlenschutzordnung und die Instandhaltungsordnung.

- In der Strahlenschutzordnung sind unter anderem zu regeln,
 - welche Aufgaben die Festlegung und Überwachung des Strahlenschutzbereiches der Anlage stellt.
 - welche Zutrittsberechtigungen für Kontroll-, Sperr- und betriebliche Überwachungsbereiche bestehen, wie sich Betreten und Verlassen dieser Bereiche zu gestalten haben und wie man sich in diesen Bereichen zu verhalten hat.
 - welche Aufgaben der Strahlenschutzüberwachung bei Personen anstehen, die Zutritt zum Kontrollbereich haben.
 - wie bei der Handhabung und Lagerung von radioaktiven Stoffen, Brennelementen und kontaminierten Gegenständen zu verfahren ist.
 - welche organisatorischen und technischen Schritte der Umgang mit radioaktiven Abfällen und Reststoffen in der Anlage umfasst.

Kommentar: Administrative Festlegungen der Strahlenschutzordnung nehmen direkten Bezug unter anderem auf die Handhabung von Brennelementen, die eine zentrale Aufgabe des Nichtleistungsbetriebes darstellt. Zur Handhabung gehören Überwachungsaufgaben, die auch das Schichtpersonal in der Warte betreffen.

- Die Instandhaltungsordnung hat Verfahren für die Planung, Durchführung und Dokumentation von Instandhaltungen vorzusehen (KTA 1201, 6.3). Als Grundlage dient eine entsprechende Richtlinie mit einem Verfahrensschema, das Art und Abfolge der verschiedenen Teilaufgaben von der Veranlassung einer Instandhaltung durch einen Komponentenausfall oder durch eine anstehende Änderung an der Anlage bis zur Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft betroffener Systeme festlegt („Richtlinie für die Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken“).

Kommentar: Das Verfahren der Vorbereitung und Durchführung einer Instandhaltung ist aus zwei Gründen für den Nichtleistungsbetrieb wichtig: Erstens finden dabei zahlreiche Instandhaltungsarbeiten statt. Zweitens können im Nichtleistungsbetrieb Störungen, Störfälle oder auch Ereignisabläufe mit Überschreitung der Auslegungsgrenzen auftreten, die ausreichend viel Zeit lassen, um zur Beherrschung Reparaturen und (oder) Rückschaltungen vornehmen und diese Arbeiten wie gefordert nach dem Verfahren der Instandhaltungsordnung vorbereiten zu können.

4.2.1.2 Prozeduren des Betriebshandbuchs

Zum Inhalt des Betriebshandbuchs zählen laut Regel KTA 1201 alle betriebs- und sicherheitstechnischen Anweisungen an das Betriebspersonal für

- den bestimmungsgemäßen Betrieb der gesamten Anlage.
- die Beherrschung anomaler Betriebsfälle.
- die Beherrschung von Störfällen und
- den bestimmungsgemäßen Betrieb der Systeme (KTA 1201, 3 (1)).

Diese betriebs- und sicherheitstechnischen Anweisungen heißen im Folgenden auch „Prozeduren“. Anweisungen für den bestimmungsgemäßen und den anomalen Betrieb sind in Teil zwei des Betriebshandbuchs aufzunehmen, während Teil drei die Störfallprozeduren und Teil vier die Anweisungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb von Systemen zu enthalten hat. Stör- und Gefahrmeldungen bilden den Inhalt des fünften Teils (KTA 1201, 3 (4)). Im Einzelnen gilt:

- Prozeduren für den bestimmungsgemäßen Betrieb haben bei funktionsfähigem Zustand der Systeme das Anfahren, das Abfahren und die Betriebsvorgänge der Anlage sowie das Zusammenwirken der Systeme und Teilsysteme zu behandeln. Für jede Anweisung müssen eindeutige Ausgangsbedingungen festgelegt sein (KTA 1201, 7.4).
- Prozeduren für den anomalen Betrieb haben zur Beherrschung anomaler Betriebsfälle, die über die Grenzen eines Systems hinausgehen, übersichtlich und möglichst kurz aufzuführen:
 - Erkennungskriterien für die einzelnen Fälle.

- sicherheitstechnisch wichtige automatische Aktionen.
- wesentliche Personalhandlungen.
- das Ziel der Personalhandlungen.
- der Sollzustand der Anlage, den automatische und manuelle Aktionen herbeiführen sollen und aufrechterhalten können.

Die kurz gefasste Darstellung ist bei Bedarf durch eine Langfassung zu ergänzen.

Es sind alle anomalen Betriebsfälle aus dem atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen (KTA 1201, 7.5).

- Das Betriebshandbuch hat ereignis- und zustandsorientierte Prozeduren zur Beherrschung von Störfällen sowie ein Verfahren zu enthalten, um bei einem gegebenen Störfall zwischen ereignisorientiertem und schutzzielorientiertem Vorgehen entscheiden zu können (sog. „Störfalleitschema“). Das Betriebshandbuch muss die Kriterien nennen, bei denen davon auszugehen ist, dass Systeme wichtige Sicherheitsfunktionen auslegungsgemäß nicht mehr erfüllen und anlageninterne Notfallmaßnahmen erforderlich sind (KTA 1201, 8 (1)). Übergangsmöglichkeiten zu Notfallmaßnahmen sind im Störfalleitschema und für jedes Schutzziel bzw., bei entsprechender Unterscheidung, Unterschutzziel des Betriebshandbuchs deutlich zu bezeichnen (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 244. Sitzung der RSK (24. 05. 1989)). Notfallmaßnahmen sind im Notfallhandbuch zu beschreiben (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 244. Sitzung der RSK (24. 05. 1989)).

Zu den betrachteten Ereignissen bzw. Anlagenzuständen sind übersichtlich und möglichst kurz aufzuführen:

- Erkennungskriterien für das Ereignis bzw. den Anlagenzustand.
- sicherheitstechnisch wichtige automatische Aktionen.
- wesentliche Personalhandlungen.
- das Ziel der Personalhandlungen.
- der Sollzustand der Anlage, den automatische und manuelle Aktionen herbeiführen sollen und aufrechterhalten können.

- Anlagenparameter, deren Einhaltung das Personal gesondert zu überwachen hat.

Bei Bedarf ist diese kurz gefasste Darstellung durch eine Langfassung zu ergänzen.

Es sind alle Störfälle aus dem atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen behandelt (KTA 1201, 8).

- Das Betriebshandbuch hat die Prozeduren für die Betriebsvorgänge aller Systeme durch das Schichtpersonal zu enthalten. Zu diesen Betriebsvorgängen gehören Anfahren, Betrieb, Abfahren und Umschalten. Für jede Prozedur sind eindeutige Ausgangsbedingungen wie z. B. Komponentengrundstellungen festzulegen. In die Anweisungen sind für die sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten die Absicherungsschemata mit den Normalbetriebswerten, vorgelagerten Grenzwerten und auslösenden Grenzwerten aufzunehmen (KTA 1201, 9).
- Gefahr- und Störmeldungen sowie Gegenaktionen sind in Teil fünf des Betriebshandbuchs systembezogen aufzuführen. Ferner sind die Meldesysteme und die Leitstände zu bezeichnen, auf denen die Meldungen auflaufen (KTA 1201, 10). Teil zwei des Betriebshandbuchs hat zudem in einem eigenen Abschnitt sicherheitstechnisch wichtige Grenzwerte sowie Personalhandlungen bei Gefahrmeldungen der Klassen S (Störfälle) und I (Störungen im Sicherheitssystem) zu enthalten (KTA 1201, 7.2).

Kommentar: Das Betriebshandbuch berücksichtigt Phasen des Nichtleistungsbetriebes direkt über die Anweisungen zum An- und Abfahren sowohl der Gesamtanlage als auch der einzelnen Systeme im bestimmungsgemäßen Betrieb. Die Ausgangsbedingungen für An- und Abfahrvorgänge müssen eindeutig festgelegt sein. Ferner greifen die Anforderungen an Prozeduren zur Bewältigung von anomalen Betriebsfällen, Störungen und Störfällen, die Gegenstand des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens sind, sobald entsprechende Anweisungen für den Nichtleistungsbetrieb vorliegen.

4.2.1.3 Sonstige Anforderungen an das Betriebshandbuch

Teil zwei des Betriebshandbuchs hat neben den Betrieb für normalen und anomalen Betrieb (1) Voraussetzungen und Bedingungen für den Betrieb der gesamten Anlage, (2) sicherheitstechnisch wichtige Grenzwerte sowie (3) die Kriterien für die Meldung meldepflichtiger Ereignisse zu enthalten (KTA 1201, 3 (4), 7.1 bis 7.3).

Explizite Bezüge auf Stillstand, An- und Abfahren sowie die Handhabung von Brennelementen finden sich in den Voraussetzungen und Bedingungen für den Betrieb der Gesamtanlage und in den Kriterien für die Meldung meldepflichtiger Ereignisse:

- Die „Voraussetzungen und Bedingungen für den Betrieb der gesamten Anlage“ haben behördliche Anordnungen und Auflagen mit unbegrenzter Geltung zu enthalten, die (1) dem Bereich des Atomrechts und (2) den Bereichen des Wasser, Bau-, Immissions- und Arbeitsschutzrechts angehören, soweit die Bestimmungen unter (2) die kerntechnische Sicherheit berühren. Auflagen und Anordnungen sind in zwei Kategorien einzuteilen. Die erste Kategorie enthält Vorgaben, die unabhängig von spezifischen Betriebszuständen gelten. Die zweite Kategorie versammelt dagegen Auflagen und Anordnungen, die in Abhängigkeit von bestimmten Betriebszuständen gelten. Als Beispiele nennt die Regel den Leistungsbetrieb, das An- und Abfahren oder den Stillstand (KTA 1201, 7.1).

Kommentar: Liegen also Auflagen und Anforderungen mit unbegrenzt dauernder Geltung zu bestimmten Betriebszuständen wie dem An- und Abfahren oder weiteren Phasen des Nichtleistungsbetriebs vor, sind sie den Anforderungen an das Betriebshandbuch entsprechend zu berücksichtigen.

- Die Meldekriterien ordnen sich verschiedenen Gruppen zu: (1) Radiologie und Strahlenschutz, (2) Anlagentechnik, (3) Einwirkungen von außen oder anlageninterne Ereignisse sowie (4) Ereignisse vor Erteilung der Genehmigung zum Beladen des Reaktors („Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten und Meldeverordnung – AtSMV“).

Kommentar: Die Meldekriterien besitzen umfassende Geltung. Sie sind daher auch im Nichtleistungsbetrieb anzuwenden. Ein expliziter Bezug zu Phasen des Nichtleistungsbetriebs liegt in den folgenden Kriterien vor:

- Absturz von Lasten in das Brennelementlagerbecken oder in den Reaktorraum mit der Folge eines Verlustes der Unterkritikalität oder einer nicht abzusperrenden Leckage von mehr als 0,3 Litern pro Sekunde (Meldekriterium S 2.4.1).
- Absturz von Brennelementen in das Brennelementlagerbecken oder in den Reaktorraum. Absturz sonstiger Lasten in das Brennelementlagerbecken oder in den Reaktorraum mit der Folge einer Leckage von mehr als 0,3 Litern pro Sekunde, die sich absperren lässt, oder einer Leckage von weniger als 0,3 Litern pro Sekunde, die nicht abgesperrt werden kann (Meldekriterium E 2.4.1).
- Sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse bei Transport, Handhabung und Lagerung von Brennelementen auf dem Anlagengelände (Meldekriterium N 2.4.1).

Eine Meldepflicht liegt ferner vor, wenn die Erteilung der Genehmigung zum Beladen des Reaktors ansteht und eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- Befunde an sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen und Systemen weisen auf Auslegungsfehler oder Schwächen des Qualitätssicherungssystems hin (Meldekriterium V 4.1).
- Es treten Ereignisse an sicherheitstechnisch wichtigen Systemen und Anlagenteilen auf, die für den späteren sicheren Betrieb von Bedeutung sind (Meldekriterium V 4.2).

Darüber hinaus beziehen sich sonstige Anforderungen an das Betriebshandbuch auf das Layout des Betriebshandbuchs und der Prozeduren. Dabei geht es um gestalterische Aspekte, die einer schnellen und zuverlässigen Nutzung der Inhalte dienen, den Änderungsdienst unterstützen und Kopien ohne Verlust von Informationen gewährleisten sollen (KTA 1201, 4). Eine detaillierte Zusammenstellung findet sich in Tabelle 2-1.

Kommentar: Gestalterische Anforderungen beziehen sich auf alle Prozeduren. Sie greifen somit auch für vorliegende oder zukünftige Prozeduren des Betriebshandbuchs, die sich dem Nichtleistungsbetrieb zuordnen.

Tab. 4-1 Anforderung an die Gestaltung des Betriebshandbuches nach KTA 1201, Punkt 4

Das Betriebshandbuch als Ganzes	Die Gestaltung von Text und Anweisungen im Betriebshandbuch
<ul style="list-style-type: none"> • Bei Papierausführung ist das Betriebshandbuch in Ordnern als Loseblattsammlung mit Papiergröße A4 für das Schriftgut abzulegen, 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Lesbarkeit ist durch Schriftart und Schriftgröße sicherzustellen. Die Regel nennt beispielhaft geeignete Schriftarten und legt Schriftgrößen fest (KTA 1201, 3.2).
<ul style="list-style-type: none"> • Zeichnungen und Tabellen sollen ein Format von A4 hoch und ca. 90 cm Breite aufweisen. Reicht dies aus Gründen guter Lesbarkeit nicht aus, sind die betreffenden Dokumente zusätzlich in größeren Formaten zu realisieren und im Wartebereich bereitzustellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Texte sind nach logisch-inhaltlichen Gesichtspunkten in kurze Abschnitte mit Überschriften und Absätze zu gliedern. Absätze sind bei Bedarf zu nummerieren. Einschlägige DIN-Normen sind einzuhalten (DIN 14212-1, DIN 1422).
<ul style="list-style-type: none"> • Das Seitenformat ist so zu wählen, dass die Seiten sich ohne Verlust an Information und ohne Einbußen bei der Leserlichkeit lochen und kopieren lassen. Auf Kopien muss insbesondere auch die Zugehörigkeit kopierter Seiten zur Sicherheitsspezifikation erkennbar sein. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeilen von Listen und Tabellen sind nach Sinneinheiten zu gruppieren.
<ul style="list-style-type: none"> • Das Seitenformat ist so zu wählen, dass die Seiten sich ohne Verlust an Information und ohne Einbußen bei der Leserlichkeit lochen und kopieren lassen. Auf Kopien muss insbesondere auch die Zugehörigkeit kopierter Seiten zur Sicherheitsspezifikation erkennbar sein. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die optische Aufmachung von Texten, Listen und Tabellen muss das Auge des Lesers z. B. durch Abstände, Gruppierung oder Hilfslinien führen.
<ul style="list-style-type: none"> • Die einzelnen Ordner des Betriebshandbuchs sind inhaltlich eindeutig auf den Rücken zu beschriften. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fließtexte sind sparsam zu verwenden und verständlich zu formulieren. Die Regel empfiehlt verschiedene Mittel zur Gestaltung verständlicher Texte (KTA 1201, 4.3).
<ul style="list-style-type: none"> • Leichte Handhabung ist durch Umfang und Strukturierung der Unterlagen in den Ordnern zu gewährleisten 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Bedarfsfall soll die unterschiedliche Wichtigkeit einzelner Passagen vorzugsweise durch Hervorhebung mittels Schrift- und Druckbild zum Ausdruck kommen. Die Mittel zur Hervorhebung sind sparsam und konsistent anzuwenden. Die Regel nennt ver-

Das Betriebshandbuch als Ganzes	Die Gestaltung von Text und Anweisungen im Betriebshandbuch
	schiedene Mittel zur Gestaltung von Hervorhebungen (KTA 1201, 4.4).
<ul style="list-style-type: none"> • Unterlagen sind in Kapitel zu gliedern. Jedes Kapitel muss mit einem Titelblatt und einem Inhaltsverzeichnis beginnen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Benennungen und Bezeichnungen müssen unmissverständlich, möglichst kurz und ihr Bezug zum Bezeichneten eindeutig sein. Komponenten und Systeme sind im Klartext und zusätzlich mit dem Kennzeichen laut gültigem Kennzeichnungssystem der Anlage zu bezeichnen.
<ul style="list-style-type: none"> • Jede Seite ist eindeutig zu kennzeichnen 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Bezug zwischen Abkürzung und Abgekürztem muss eindeutig sein.
<ul style="list-style-type: none"> • Der Änderungsstand muss sich eindeutig erkennen lassen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Betriebshandbuch muss die gleichen Benennungen und Abkürzungen nutzen, die vor Ort in Gebrauch sind. • Handlungsanweisungen müssen Aktionen des Personals genau und eindeutig festlegen. • Der Leser muss Anweisungen aus sich heraus verstehen können, ohne Informationsquellen außerhalb des Betriebshandbuchs nutzen zu müssen. Eventuelle Referenzen auf andere Teile des Betriebshandbuchs müssen eindeutig und unmissverständlich sein. • Anweisungen sind generell imperativ zu formulieren. • Anweisungen insbesondere zum Betrieb der Anlage bzw. einzelner Systeme sind, wenn die Besonderheiten der Aufgabe keine andere Strukturierung erfordert, in Einzelschritte zu gliedern. Die Einzelschrittfolge ist dem Ablauf der Betriebsvorgänge anzupassen. • Schritte müssen Voraussetzungen, Objekt und Art der auszuführenden Tätigkeit nennen. Voraussetzungen müssen dem Schritt vorangestellt und so festgelegt sein, dass in Abhängigkeit von den Voraussetzungen nur eine einzige Schrittfolge vorgeschrieben ist.

4.2.2 Anforderungen an sonstige Bestandteile eines Arbeitssystems, soweit sie auf Stillstände und Nichtleistungsbetrieb eingehen

Einschlägige Anforderungen finden sich zu einzelnen Aspekten der Aufgaben und der Qualifikation des verantwortlichen Schichtpersonals sowie zu Warte, Notsteuerstellen und örtlichen Leitständen, sowie zu sonstigen Arbeitsmitteln und Arbeitsabläufen.

4.2.2.1 Qualifikation des verantwortlichen Schichtpersonals

Das verantwortliche Schichtpersonal hat die Aufgabe, das Kernkraftwerk im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen ununterbrochen zu bedienen, wie es bestehende Betriebsanweisungen und der aufgegebene Fahrplan vorsehen. Zum verantwortlichen Schichtpersonal gehören Schichtleiter, Schichtleitervertreter, Schichtbetriebsingenieur und Reaktorfahrer („Richtlinie für den Fachkundenachweis von Kernkraftwerkspersonal“, 1.3.3).

Kommentar: Die Aufgabe erstreckt sich auch auf Stillstände und Nichtleistungsbetrieb. Zu diesen Phasen bestehen speziell die folgenden Anforderungen an die Qualifikation:

- Die Fachkundeprüfung für das verantwortliche Schichtpersonal hat auch Fragen zu enthalten,
 - wie der Reaktor laut Betriebshandbuch aus verschiedenen Betriebszuständen heraus an- und abzufahren ist und
 - welche Aufgaben dem Schichtpersonal bei der Handhabung von Brennelementen und beim Brennelementwechsel obliegen („Richtlinie für den Inhalt der Fachkundeprüfung des verantwortlichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken“, 5.2.1).
- Zum Zweck des Fachkunderhalts ist unter anderem die „Durchführung von reaktivitätssteuernden Maßnahmen wie An- und Abfahren“ zu üben. Die Übungen haben während des Kernkraftwerkbetriebes oder, wenn der Betrieb nicht ausreichend viele Möglichkeiten der Übung bietet, am Simulator stattzufinden („Richtlinie für Programme zur Erhaltung der Fachkunde des verantwortlichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken“, 2.2.2).

4.2.2.2 Warte, Notsteuerstelle und örtliche Leitstände:

Warte, Notsteuerstelle und örtliche Leitstände müssen die Informations- und Betätigungseinrichtungen aufweisen, mit denen die ihnen zugeordneten Systeme bei allen Anlagenzuständen überwacht und geführt werden können, bei denen dies erforderlich ist (KTA 3904, „Warte, Notsteuerstelle und örtliche Leitstände in Kernkraftwerken“, 3.1 (2)).

- Die Warte dient der (1) Überwachung und Leitung des bestimmungsgemäßen Anlagenbetriebs, (2) Störungserkennung und Aufrechterhaltung eines sicheren Anlagenzustands bei Störungen, (3) Erkennung von Störfällen sowie Wiederherzustellen und Aufrechterhaltung eines sicheren Zustand bei Störfällen, (4) Erkennung und Beeinflussung von Ereignisabläufen, die zum Verlassen des bestimmungsgemäßen Betriebs geführt haben, und Verminderung der Auswirkungen solcher Ereignisabläufe (KTA 3904, 4.1 (1)).

Abschnitt 4.2 der Regel KTA 3904 fordert, die verschiedenen Arten der Betriebsführungsaufgaben in der Warte zu trennen, indem man die Warte in Funktionsbereiche einteilt und ihnen die einzelnen Aufgabenarten zuordnet. Für das vorliegende Projekt ist die Trennung von Haupt- und Systemleitbereich sowie die Einrichtung des Dokumentationsbereichs wichtig.

- Dem „Hauptleitbereich“ sind neben der Überwachung der Gesamtanlage die Aufgaben zuzuordnen, die Systeme anzufahren, abzufahren und zu betreiben, die leistungsabhängig zu führen sind. Für den Hauptleitbereich ist der Hauptleitstand mit allen erforderlichen Anzeigen und Bedieneinrichtungen einzurichten.
- Der „Systemleitbereich“ umfasst die Aufgaben, die Systeme zu überwachen und zu bedienen, die entweder nur bei bestimmten Anlagenzuständen benötigt werden oder die das Personal im Leistungsbetrieb nicht ständig beobachten und bedienen muss.
- Der Dokumentationsbereich dient dazu, erforderliche Unterlagen wie zum Beispiel das Betriebshandbuch vorzuhalten.
- Aufgabe der Notsteuerstelle ist es, im Anforderungsfall bei intaktem Reaktorkühlkreislauf (1) den Reaktor vom Leistungsbetrieb aus, bis zu einem sicheren, abgeschalteten Zustand hin, zu überwachen, abzufahren und in einem sicheren Zu-

stand zu halten sowie (2) die Nachwärmeabfuhr abgebrannter Brennelemente einzuleiten und zu überwachen (KTA 3904, 5.1 (2), /SIK 09/, Modul 1, 3.8(2)). Die Weiterentwicklung der Regelwerksanforderungen bezieht ausdrücklich auch Nebenräume der Warte mit Einrichtungen wie z. B. Rangierverteiler ein, die für eine bestimmungsgemäße Funktion der Warte erforderlich sind (/SIK 09/, Modul 1, 3.8(2)).

- Örtliche Leitstände dienen dazu, zugeordnete Systeme im bestimmungsgemäßen Betrieb und, falls erforderlich, bei Störfällen zu überwachen und zu betreiben (KTA 3904, 6.2).

Anhang B der Regel KTA 3904 enthält Beispiele für die personelle Besetzung der Warte, der Notsteuerstelle und örtlicher Leitstände in Anhängigkeit von verschiedenen Betriebsarten. Dazu gehören auch das An- und Abfahren sowie Revisionen. Tabelle 1-2 gibt die entsprechenden Zahlen wieder.

Kommentar: Die Regel KTA 3904 nimmt also explizit und implizit auf den Nichtleistungsbetrieb Bezug:

- Es besteht ein expliziter Bezug über die Anforderung, An- und Abfahren bei der Einrichtung des Hauptleitbereichs und seiner Ausstattung mit Informations- und Bedieneinrichtungen zu berücksichtigen. Die Regel fordert ferner eine Notsteuerstelle mit den notwendigen Einrichtungen für die Aufgabe, den Reaktor aus dem Leistungsbetrieb in einen sicheren abgeschalteten Zustand abzufahren und zu halten.
- Darüber hinaus sind Leitstände in der Warte, in der Notsteuerstelle und vor Ort mit den Informations- und Bedieneinrichtungen auszustatten, die das Personal braucht, um die zugeordneten Systeme bei allen Anlagenzuständen überwachen und führen zu können, bei denen dies notwendig ist. Die Anlagenzustände schließen neben dem bestimmungsgemäßen Betrieb auch Störungen, Störfälle und Ereignisabläufe mit einer Überschreitung von Auslegungsgrenzen ein. Die entsprechenden Anforderungen erstrecken sich auch auf alle Phasen des Nichtleistungsbetriebs, ohne darauf einen direkten Hinweis zu enthalten.

Tab. 4-2 Personelle Besetzung von Warte, Notsteuerstelle und örtlichen Leitständen nach Anhang B der Regel KTA 3904

Warte	An- und Abfahren	Ungestörter, bestimmungsgemäßer Betrieb	4 – 5
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit wiederkehrenden Prüfungen	6 - 7
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit Störung	6 – 7
		Störfall	6 – 7
	Revision bei Kraftwerksstillstand	Ungestörter, bestimmungsgemäßer Betrieb	2 – 5
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit wiederkehrenden Prüfungen	4 – 7
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit Störung	2 – 20
		Störfall	4 – 7
Notsteuerstelle	Revision bei Kraftwerksstillstand	---	0 – 2
Örtliche Leitstände	An- und Abfahren oder Revision	Ungestörter, bestimmungsgemäßer Betrieb	1 - 2
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit wiederkehrenden Prüfungen	1 – 2
		Bestimmungsgemäßer Betrieb mit Störung	1 – 2

4.2.2.3 Anforderungen an Arbeitsabläufe und Arbeitsmittel

In diesem Gliederungspunkt geht es um Festlegungen des Regelwerks zu Arbeiten mit erhöhten Anforderungen an Strahlenschutz und Sicherheit sowie um die Ausführungen zu Arbeiten bei Brennelementwechseln, die sich in den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke finden (/SIK 09/). Ferner wird noch auf Regeln und Richtlinien verwiesen, die Arbeitsabläufe, Arbeiten und oder Arbeitsmittel behandeln, die auch im Nichtleistungsbetrieb wichtig sind, ohne dass die betreffenden Anforderungen eigens darauf eingehen.

4.2.2.3.1 Arbeiten mit erhöhter Strahlenbelastung bzw. erhöhten Anforderungen an die Sicherheit

Die Leitlinien der RSK für Druckwasserreaktoren fordern in Abschnitt 13

- Arbeiten, die mit einer „nennenswerten“ Strahlenbelastung des Personals einhergehen, so zu planen, dass die Strahlenbelastung der Ausführenden möglichst gering bleibt. Entsprechende Anweisungen sind in geeigneter Form möglichst vollständig schriftlich festzuhalten.
- Arbeiten, bei denen sicherheitstechnisch wichtige Systeme eingeschränkt verfügbar sind, ebenfalls sorgfältig zu planen und in geeigneter Weise schriftlich festzulegen.
- schwierige Arbeiten, die eine hohe Strahlenbelastung erwarten lassen, möglichst weit zu mechanisieren sowie vorher zu üben und zu erproben, wenn dies die Strahlenbelastung vermindert. Dabei sollen „gegebenenfalls“ Modelle der Komponenten zum Einsatz kommen.

Vergleichbare Anforderungen finden sich auch in Regeln des Kentechnischen Ausschusses für den betrieblichen Strahlenschutz („Berücksichtigung des Strahlenschutzes der Beschäftigten bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken“, Teil 1 „Auslegung“ und Teil 2 „Betrieb“, KTA 1301.1 und KTA 1301.2). Diesen Anforderungen zufolge sollen die Unterlagen für umfangreichere oder schwierigere Instandhaltungsaufgaben im Kontrollbereich, die an stark strahlenbelasteten und schwer zugänglichen Stellen anstehen können, im erforderlichen Umfang durch weitere Materialien ergänzt wer-

den. Zu diesen Materialien gehören Fotografien und Fotodokumentationen mit Maßstabsangabe, audiovisuelle Aufzeichnungen zur Anleitung bei der Montage, Explosionszeichnungen und Modelle, KTA 1301.1 (8), KTA 1301.2, (6.2)). Die Regel KTA 1301.1 enthält eine Reihe von Anforderungen, Systeme so auszulegen, aufzustellen und abzuschirmen sowie Arbeitswege so zu gestalten und abzuschirmen, dass die Strahlenbelastung des Personals möglichst gering bleibt (KTA 1301.1, 3 und 4). Diese Anforderung betrifft auch Systeme, an denen im Nichtleistungsbetrieb zu arbeiten ist.

Kommentar: Dies Anforderungen kommen hier zur Darstellung, weil sie auch als Teil der Vorbereitung von Instandhaltungsarbeiten und des Strahlenschutzes anstehen können, die auch im Nichtleistungsbetrieb eine wichtige Rolle spielen.

4.2.2.3.2 Brennelementwechsel

Die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (/SIK 09/) widmen der Handhabung, dem Transport und der Lagerung von Brennelementen und anderen radioaktiven Materialien breiten Raum. Die Inhalte der Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen, soweit sie sich ausdrücklich auf den Brennelementwechsel beziehen oder mit diesen in direktem Zusammenhang stehen. Die Betrachtung spart Anforderungen aus, die sich auf die Qualitätsprüfung angelieferter Brennelemente sowie die Prüfung, Bestückung und Handhabung von Transportbehältern beziehen, da diese beiden Aufgaben nicht unmittelbar zum Be- und Entladen des Reaktors gehören. Im Einzelnen gilt:

- In der Anlage gibt es Einrichtungen, um bei Brennelementwechseln unter Berücksichtigung aller Betriebsbedingungen die Nachwärme und bei eventuell gleichzeitig erforderlicher Kühlung der Brennelemente im Brennelementlagerbecken zuverlässig und anforderungsgerecht abzuführen (/SIK 09/, Modul 1, 3.3(3), b)).
- Die Anlage sieht bei Brennelementwechseln Vorkehrungen des Strahlenschutzes vor. Dazu gehören insbesondere Abschirmungen, Gebäudelüftung und Gebäudeabschluss (/SIK 09/, Modul 11, 6.1).
- Es findet eine Überwachung der Füllstände des Reaktordruckbehälters und des Brennelementlagerbeckens statt. Diese Füllstände werden oberhalb des Mindestniveaus gehalten, die radiologisch und zur Kühlung notwendig sind (/SIK 09/, Modul 11, 6.2).

- In den Analgen gibt es „Maßnahmen und Einrichtungen“, die verhindern, dass lose Teile nicht in den Reaktordruckbehälter fallen oder bei Entleerung oder Flutung des Flutbehälters nicht in den Reaktordruckbehälter gespült werden können. Sollten lose Teile dennoch in den Reaktordruckbehälter gelangen, werden sie geborgen oder es wird nachgewiesen, dass ihr Verbleiben sicherheitstechnisch unbedenklich ist (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(3)).
- Die Anlage mit Siedewasserreaktoren sieht „Maßnahmen und Einrichtungen“ vor, um
 - während des Beladens den Absturz von Brennelementen in den gerade noch unterkritischen Kern nicht als Ereignis unterstellen zu müssen.
 - zu verhindern, dass der Absturz eines Brennelementes zur Kritikalität (/SIK 09/, Modul 10. 4.2.2 (1)) führt sowie (1) Steuerstäbe während des Beladens in den Kern einfahren und (2) der Kern bei eingefahrenen Steuerstäben zu beladen wird (/SIK 09/, Modul 10. 4.2.2 (2)).
- In der Anlage bestehen Vorkehrungen gegen eine Fehlbelegung des Reaktorkerns, des Brennelementlagerbeckens sowie der Transport- und Lagerbehälter oder Maßnahmen zur Einhaltung der Unterkritikalität, falls solche Fehlbelegungen auftreten sollten (/SIK 09/, Modul 10, 4.2.3).
- Im Normalbetrieb (Sicherheitsebene eins) gelten für die Handhabung und Lagerung bestrahlter und nicht bestrahlter Brennelemente Kerneinbauten sowie weiterer Komponenten, auf die das vorliegende Projekt nicht einzugehen hat, folgende Anforderungen. Die Liste umfasst auch Anforderungen an die zugehörigen Arbeitsmittel:
 - eindeutige Kennzeichnung jedes Brennelementes.
 - keine unzulässige Strahlenexposition durch Direktstrahlung bzw. Entweichen radioaktiver Stoffe aus Brennelementen.
 - Einhaltung der geforderten Unterkritikalität.
 - Erforderliche Kühlung.
 - Vorkehrungen und Einrichtungen zur Überwachung der Betriebsparameter für Unterkritikalität und Kühlung bei Handhabung und Lagerung.

- keine Einwirkungen mit der Folge, die anforderungsgerechte Funktionsfähigkeit, Handhabbarkeit und Lagerung zu beeinträchtigen.
- keine Beschädigung von Brennelementen und Kernbauteilen durch Verformung bei der Lagerung, Korrosion, Absturz von Lasten und sonstige Einwirkungen.
- keine Beschädigung von Einbauten in Lagereinrichtungen und Reaktordruckbehälter.
- Vorkehrungen und Einrichtungen, um Beschädigungen an Brennelementen und weiteren Kernbauteilen erkennen und beherrschen zu können.
- Lagerung der Brennelemente und Kernbauteile nur in den vorgesehen Positionen bzw. Bereichen der Lagereinrichtungen.
- Handhabung der Brennelemente und Kernbauteile nur nach einer qualitätsgesicherten Arbeitsanweisung.
- Dokumentation der Belegung des Lagerbeckens sowie des Aufbewahrungsortes, sicherheitsrelevanter Daten und Änderungen sicherheitsrelevanter Eigenschaften der Brennelemente auf dem jeweils aktuellen Stand (/SIK 09/, Modul 11, 3.1).
- Für die Sicherheitsebene zwei gelten die Anforderungen:
 - keine unzulässige Strahlenexposition durch Direktstrahlung bzw. Entweichen radioaktiver Stoffe aus Brennelementen.
 - Einhaltung der geforderten Unterkritikalität.
 - Erforderliche Kühlung.
 - Vorkehrungen und Einrichtungen zur Überwachung zugehöriger Betriebsparameter bei Handhabung und Lagerung.
 - Einhaltung der sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien, die für diese Ebene gelten.
- Zu Sicherheitsebene drei bestehen die Anforderungen:
 - Beherrschung der unterstellten Störfälle bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen.

- Einhaltung der sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien, die für diese Ebene gelten.
- Die Sicherheitsebene vier betreffend, fordert die Aktualisierung des kerntechnischen Regelwerks, die sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien, die für diese Ebene einzuhalten (/SIK 09/, Modul 11, 3.1 bis 3.4).
- Geeignete Vorkehrungen haben mit hoher Zuverlässigkeit zu verhindern, ein Brennelement fehlerhaft in eine Lagerbeckenzone umzusetzen, für die der Abbrand des Brennelements zu gering ist (/SIK 09/, Modul 11. 5.1(6) e)).
- Es findet eine zuverlässige Überwachung des Füllstands und der Temperatur des Kühlmittels im Lagerbecken statt (/SIK 09/, Modul 11, 5.1 (10), 5.1.(11)). Die Temperaturgrenzen erlauben es, die Räume um das Lagerbecken herum uneingeschränkt zu begehen. Auch bei voller Belegung des Beckens werden diese Grenzwerte eingehalten (/SIK 09/, Modul 11, 5.1(12)).
- Die Wasserqualität ist so beschaffen, dass Handhabungsvorgänge visuell ausreichend genau überwacht werden können (/SIK 09/, Modul 11, 5.1(13)).
- Für Brennelementwechsel bestehen darüber hinaus die folgenden Anforderungen mit Bezug auf die Sicherheitsebene eins (/SIK 09/, Modul 11, 6.1):
 - Vorkehrungen des Strahlenschutzes besonders in Bezug auf Abschirmung, Gebäudelüftung und Gebäudeabschluss.
 - Überwachung der Füllstände in Reaktordruckbehälter und Brennelementlagerbecken.
 - Überwachung und Einhaltung der radiologischen und temperaturbezogenen Grenzwerte für den Füllstand.
 - Mindestens ein Nachkühlstrang ist in Betrieb bzw. betriebsbereit, die Kühlmitteltemperatur wird überwacht (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(7)).
 - Es ist ein Schritfolgeplan für das Umsetzen, Ausladen und Einladen der Brennelemente zu erstellen, der jede Bewegung von Brennelementen, Steuerstäben und Steuerelementen sowie alle Umsetzungsvorgänge mit weiteren Kernbauteilen erfasst. Die Durchführung der Schritte ist zu protokollieren (/SIK 089, Modul 11, 6.1(8)). Für jeden Schritt ist die Einhaltung der geforderten Unterkritikalität nachzuweisen (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(9)).

- Brennelemente werden nur in die vorgesehenen Positionen eingesetzt (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(10)). Es bestehen Vorkehrungen und Einrichtungen, um Handlungsfehlern und Fehlpositionierungen von Brennelementen wirksam und zuverlässig zu vermeiden (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(11)). Es findet kein Schichtwechsel während der Handhabung eines Brennelementes statt (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(11)).
- Prüfungen schließen eine Beladung des Reaktorkerns mit Brennelementen aus, die verdreht, verbogen oder in der Länge unzulässig ausgedehnt sind (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(12)). Einrichtungen zur Inspektion und Dichtheitsprüfung der Brennelemente sind vorgesehen (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(12)).
- Tatsächliche und vorgesehene Beladung werden auf Übereinstimmung überprüft, bevor der Reaktordeckel verschlossen wird. Die Prüfung erstreckt sich auf Positionierung und Orientierung der Brennelemente und der Kerneinbauten (/SKI 09/, Modul 11, 6.1(13)).
- Speziell für Druckwasserreaktoren gelten, mit Bezug auf die Sicherheitsebene eins, folgende Anforderungen an Brennelementwechsel (/SIK 09/, Modul 11, 6.1(4) und (5)):
 - Die Borkonzentration in Beckenwasser und Reaktorraum entspricht vor Herstellung der Verbindung zwischen Reaktorraum und Lagerbecken mindestens derjenigen, die für Reaktor und Lagerbecken zur Sicherstellung der Unterkritikalität bei Brennelementwechseln festgelegt ist. Es gibt eine Überwachung der Borkonzentration mit hinreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung.
 - Armaturen sind abzusperren und vor Ort gegen Öffnen zu sichern, durch die größere Mengen Deionat in das Reaktorkühlsystem gelangen können.
 - Es ist jederzeit möglich, Bor in ausreichender Menge einzuspeisen, um die erforderliche Unterkritikalität aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen.
- An den Brennelementwechsel bei Siedewasserreaktoren richten sich die folgenden Anforderungen mit Bezug auf die Sicherheitsebene eins:
 - Während der Reaktor beladen wird, finden Prüfungen zur zuverlässigen Kontrolle der Unterkritikalität statt (/SIK 08/, Modul 11, 6.1(5)).

- Steuerstäbe sind außer für die Dauer der Prüfungen zu Unterkritikalität, Abschaltsicherheit und Steuerstabsfunktion eingefahren. Steuerstabantriebe sind elektrisch freigeschaltet (/SIK 08/, Modul 11, 6.1(6)).
- Mit Bezug auf Sicherheitsebene zwei bis vier gibt es folgende Anforderungen:
 - Sicherheitsebene zwei: (1) Es gibt Vorkehrungen des Strahlenschutzes besonders in Bezug auf Abschirmung, Gebäudelüftung und Gebäudeabschluss. (2) Zu den Vorkehrungen gehört die Überwachung der Füllstände in Reaktor-druckbehälter und Brennelementlagerbecken. (3) Bei Druckwasserreaktoren ist es jederzeit möglich, Bor in ausreichender Menge einzuspeisen, um die erforderliche Unterkritikalität aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen. Ferner gibt es eine Überwachung der Borkonzentration mit hinreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung. (4) Bei einem Siedewasserreaktor finden, während der Reaktor beladen wird, Prüfungen zur zuverlässigen Kontrolle der Unterkritikalität statt (/SIK 09/, Modul 11, 6.2).
 - Sicherheitsebene drei: Es gelten die Anforderungen (1) die unterstellten Störfälle bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen zu beherrschen sowie die der sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien für diese Ebene gelten einzuhalten (/SIK 09/, Modul 11, 6.3).
 - Sicherheitsebene vier: Es die sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien, die für diese Ebene einzuhalten (/SIK 09/, Modul 11, 6.4).

4.2.2.3.3 Sonstige Anforderungen

Die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke fordern:

- Brennelementkühlung und damit Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkern sind auf den Sicherheitsebenen eins bis vier a in allen Betriebszuständen sichergestellt (/SIK 09/, Modul 1, 3.3(1)).
- Die Anlage verfügt über Einrichtungen, um im bestimmungsgemäßen Betrieb den Reaktor zuverlässig und anforderungsgerecht an- und abzufahren (/SIK 09/, Modul 1, 3.3(2)).

Zur Vervollständigung sei ohne weitere Kommentierung noch auf Regeln und Richtlinien verwiesen, die Arbeitsabläufe, Arbeiten und (oder) Arbeitsmittel behandeln, die auch im Nichtleistungsbetrieb wichtig sind, ohne dass die betreffenden Anforderungen eigens auf ihn eingehen:

- Strahlenschutzverordnung (StSV),
- Grundlagen für Sicherheitsmanagementsysteme in Kernkraftwerken,
- Anforderungen an das Prüfhandbuch (KTA 1202),
- Anforderungen an das Notfallhandbuch (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 244. Sitzung der RSK (24. 05. 1989)) und an die Krisenorganisation von Kernkraftwerken, (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 244. Sitzung der RSK (24. 05. 1989)).
- Brandschutz in Kernkraftwerken, insbesondere Teil 1 (KTA 2101.1),
- Kommunikationseinrichtungen für Kernkraftwerke (KTA 3901),

Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken (KTA 3902).

4.3 Diskussion der Rechercheergebnisse

Aus der Recherche ergeben sich folgende Erkenntnisse zu Anforderungen, die sich auf Prozeduren und administrative Festlegungen des Betriebshandbuchs sowie auf weitere Bestandteile eines Arbeitssystems beziehen und für den Nichtleistungsbetrieb relevant sind:

- Es gibt keine Regel oder Richtlinie, die als Ganzes oder in einem eigenen Teil Anforderungen zum Nichtleistungsbetrieb umfassend und geschlossen darstellt. Der Bestand einschlägiger Anforderungen verteilt sich auf unterschiedliche Regeln und Richtlinien.
- Verschiedene Regeln gehen in einzelnen Anforderungen explizit auf das An- und Abfahren ein. Diese Anforderungen behandeln Einzelaspekte unterschiedlicher Art aus den Bereichen Fachkunde, Inhalt des Betriebshandbuchs sowie Auslegung der Warte und der Notsteuerstelle:
 - Die zugehörigen Handlungen sind als Teil der Fachkunde des verantwortlichen Schichtpersonals zu prüfen und zu erhalten.
 - Das Betriebshandbuch muss die erforderlichen Prozeduren für die Gesamtanlage und die einzelnen Systeme bereitstellen.
 - An- und Abfahren sind bei der Auslegung der Warte zu berücksichtigen. Dabei geht es um die Ausstattung des Hauptleitstandes in der Warte mit Informations- und Bedieneinrichtungen, und um die Zahl der Personen, die in der Warte arbeiten können sollen. Bei der Personenzahl ist zu beachten, dass beim An- und Abfahren zusätzliche Prüfungen, Störungen oder Störfälle möglich sind.
 - Von der Notsteuerstelle aus muss der Reaktor im Bedarfsfall vom Leistungsbetrieb in einen sicheren abgeschalteten Zustand abgefahren und gehalten werden können.
- Verschiedene Anforderungen und administrative Festlegungen sind so allgemein formuliert, dass sie auch für den Nichtleistungsbetrieb gelten, ohne ihn eigens zu nennen. Dazu gehören die Inhalte aller Betriebsordnungen wie zum Beispiel die Instandhaltungsordnung. Ein weiteres Beispiel bildet die Anforderung, Prozeduren zur Bewältigung von Störungen und Störfällen, die Gegenstand des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens sind, in das Betriebshandbuch aufzunehmen. Diese Anforderung greift, sobald entsprechende Prozeduren für den Nichtleistungsbetrieb vorliegen. Ähnlich eigenen Charakter besitzt auch die Anforderung, Leitstände mit allen Informations- und Bedieneinrichtungen auszustatten, mit denen das Personal die zugeordneten Systeme bei allen Betriebszuständen führen kann, bei denen diese Aufgabe ansteht. Dazu gehört auch der Nichtleistungsbetrieb.

Im Regelwerk liegt also ein umfangreicher, aber nicht geschlossen dokumentierter Bestand relevanter Anforderungen vor, die (1) entweder so allgemeingültig sind, dass sie auch für Stillstände und Nichtleistungsbetrieb gelten, oder (2) auf bestimmte Einzelaspekte des Nichtleistungsbetriebs Bezug nehmen. Beide Aussagen gelten mit einer Einschränkung auch für die Anforderungen, die sich in den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (/SIK 09/) finden. Diese Einschränkung besteht darin, Arbeitsabläufe bei Brennelementwechseln in größerer Ausführlichkeit zu behandeln, als es das aktuell gültige kerntechnische Regelwerk tut.

5 **Literatur zum Anhang A**

- /APA 07/ American Psychological Association: APA Dictionary of Psychology, Washington (D.C.): American Psychological Association
- /BFS 08/ Bundesamt für Strahlenschutz: Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, <http://www.bfs.de/bfs/recht/rsh>
- /BMI 77/ Der Bundesminister des Inneren:
Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, verabschiedet im Länderausschuss für Atomkernenergie am 12. Oktober 1977
- /FRE 98/ Frese, E.: Grundlagen der Organisation, 7. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1998
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR
GRS-A-3114, Mai 2003
- /GRS 06/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Methodenentwicklung zur Bewertung von auslösenden Ereignissen bei Nichtleistungsbetrieb für SWR der Baulinie 69
GRS-A-3328, Dezember 2006
- /GRS 99/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit:
SWR-Sicherheitsanalyse, Phase II, Abschlußbericht, Band 2
Untersuchungen von Ereignissen außerhalb des Leistungsbetriebs
GRS-A-2713, September 1999
- /KOS 76/ Kosiol, E.: Organisation der Unternehmung, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1976

- /KTA 33/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
KTA 3301: Nachwärmeabfuhrsysteme in Leichtwasserreaktoren,
Fassung 11/84
- /MPA 76/ Merkpostenaufstellung mit Gliederung für einen Standardsicherheitsbericht
für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor oder Siedewasserreaktor,
Bekanntmachung des BMI vom 26.07.1976
- /RSK LL/ Reaktor-Sicherheitskommission:
RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren,
Fassung 01/97
- /SIK 09/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Revision D, April 2009,
<http://regelwerk.grs.de/>
- /SR 2475/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Öko-Institut
e.V., Physikerbüro Bremen:
Aktualisierung des Kerntechnischen Regelwerks, Module 1 – 11, Revisi-
on B, Entwurf Stand: September 2006, BMU-Vorhaben SR 2475
- /SLL 83/ Bundesanzeiger 245a: Bekanntmachung der Leitlinien zur Beurteilung der
Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle
im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung – Störfall-Leitlinien
– vom 18. Oktober 1983, Bundesanzeiger Nr. 245a vom 31.12.1983
- /SSA LF/ Bekanntmachung der Leitfäden zur Durchführung von Periodischen
Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik
Deutschland vom 18. August 1997, - Leitfaden Sicherheitsstatusanalyse -
Dezember 1996

ANHANG B

Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren im Nichtleistungs- tungsbetrieb

Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren

Die Untersuchung zu Anforderungen an die Gestaltung von Prozeduren konzentrierte sich auf gestalterische Aspekte der Dokumente, die in das Betriebshandbuch aufzunehmen sind, um die Operateure bei der Beherrschung von Störungen und Störfällen während des Nichtleistungsbetriebs zu unterstützen. Laut Arbeitsprogramm sind die beiden Fragen zu beantworten,

- ob sich die Anforderungen der Regel KTA 1201 /KTA 12/ für das Betriebshandbuch auf die Prozeduren und die phasenspezifischen Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb übertragen lassen.
- welche Anforderungen an die Gestaltung der Prozeduren und Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb zu formulieren sind, um Gestaltungsaspekte zu berücksichtigen, die in der Regel KTA 1201 (alte und neue Fassung) keine oder keine ausreichende Beachtung finden.

Die Ergebnisse zu diesen beiden Fragestellungen sind nachfolgend dargestellt.

1 Übertragbarkeit bestehender Anforderungen der Regel KTA 1201 für das Betriebshandbuch

Die Anforderungen der Regel KTA 1201 (Fassung 6/98) wurden im Anhang A (siehe auch Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zusammengestellt, sie müssen deshalb hier nicht wiederholt werden. Eine genaue Untersuchung der Anforderungsinhalte hat gezeigt, dass sie sich ohne weiteres auf die Prozeduren und die phasenspezifischen Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb übertragen lassen. Deshalb kann sich die weitere Untersuchung darauf konzentrieren, Gestaltungsaspekte für Prozeduren und phasenspezifische Regelungen des Nichtleistungsbetriebs herauszuarbeiten, die auch in Hinblick auf die neue Fassung der KTA 1201 /KTA 12N/ hinausgehen und diese ergänzen bzw. präzisieren.

2 Gestaltungsanforderungen an Prozeduren und phasen-spezifische Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb jenseits bestehender Regelwerksanforderungen

Die Gestaltung der Dokumente hat das Personal insbesondere in die Lage zu versetzen, schnell und zuverlässig

- zu erkennen, welche Teile des Betriebshandbuchs die Prozeduren und Regelungen für Störungen und Störfälle während des Nichtleistungsbetriebs enthalten.
- Prozeduren, Regelungen und sonstige Informationen für eine gegebene Situation des Nichtleistungsbetriebs
 - aufzufinden und
 - zu erkennen, welche anderen oder weiteren Prozeduren, Regelungen und (oder) Informationen heranzuziehen sind, um während der Bearbeitung einer Prozedur adäquat auf Veränderungen der gegebenen Situation zu reagieren.
- Prozeduren und Regelungen in einem Team korrekt abzuarbeiten. Das schließt die Aufgaben ein, anstehende Arbeiten anzuweisen, angewiesene Aktionen auszuführen sowie Bearbeitungsstand und Ergebnisse der Tätigkeiten zu melden und zu bewerten.

Die nachfolgenden detaillierten Gestaltungsanforderungen dienen dazu, Auffindung, Auswahl und Abarbeitung einschlägiger Dokumente wirksam zu unterstützen.

Inhaltlich ordnen sich die Gestaltungsanforderungen den nachfolgenden Kategorien zu:

- Umfang, Kennzeichnung und Bezeichnung der Unterlagen,
- Kriterien,
- Aufgabenbeschreibung durch eine Prozedur,
- Erledigungsvermerke sowie
- die Breitstellung und Gestaltung von Entnahme-Exemplaren.

Die Gestaltungsanforderungen sind so allgemein gehalten, dass sie mit den verschiedenen Konzepten vereinbar sind, nach denen Betreiber deutscher Anlagen ihre Betriebshandbücher gestalten.

2.1 Umfang, Kennzeichnung und Bezeichnung der Unterlagen

Gestaltungsanforderungen:

1. Das Personal muss zuverlässig und schnell die Teile des Betriebshandbuchs erkennen können, die für den Nichtleistungsbetrieb gelten. Der genaue Ort der Unterlagen im Betriebshandbuch hat aus
 - dem Gesamtinhaltsverzeichnis (KTA 1201, 3(4) und 5),
 - bei Ablage in Ordnern aus Bezeichnungen auf dem Ordnerrücken (KTA 1201, 4.1 (5), b)),
 - den Titelseiten und Inhaltsverzeichnissen der Kapitel (KTA 1201, 4.1 (5), c)),
 - aus den Titeln und Überschriften (KTA 1201, 4.3(1)) und aus
 - den sonstigen Mitteln hervorzugehen, die den Nutzer im Betriebshandbuch zu Prozeduren und phasenspezifischen Regelungen für den Nichtleistungsbetrieb führen.
2. Das Betriebshandbuch hat alle Prozeduren, phasenspezifischen Regelungen und sonstigen Informationsquellen zu enthalten, die das Personal im Nichtleistungsbetrieb zu nutzen hat.

Kommentare:

Die zweite Gestaltungsanforderung dehnt die Gültigkeit einer entsprechenden Regelwerksanforderung (KTA 1201,3 (1)) auf die Unterlagen für den Nichtleistungsbetrieb aus. Das Betriebshandbuch kann zum Beispiel um Unterlagen zum Wiedereinbau einer Komponente erweitert werden müssen, die im Nichtleistungsbetrieb zu Prüf- oder Wartungsarbeiten ausgebaut sein kann und folglich wieder eingebaut werden muss, wenn sie zur Beherrschung einer Störung oder eines Störfalls vorgesehen ist (sogenannte begrenzte Instandhaltung, d.h., z. B. Komponente wird Instand gehalten und muss im Anforderungsfall innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne wieder verfügbar sein). Alte und neue KTA 1201 decken diese Anforderung ab.

2.2 Formulierung und Gestaltung erforderlicher Kriterien

Gestaltungsanforderungen:

1. Das Betriebshandbuch hat Kriterien zu enthalten, aus denen die Geltungsbereiche der phasenspezifischen Regelungen eindeutig hervorgehen.
2. Ferner soll das Betriebshandbuch klare Kriterien für die Einleitung und die Beendigung einer Prozedur enthalten. Es sind zwei Arten der Beendigungskriterien bereitzustellen:
 - Eine Prozedur muss zum einen Erfolgskriterien enthalten, mit denen man entscheiden kann, dass das Prozedurziel erreicht ist.
 - Beendigungskriterien müssen zum anderen für den Fall vorliegen, dass die Bearbeitung der Prozedur abgebrochen werden muss, bevor das Ziel der Prozedur erreicht ist.

Sind Einleitung und Ausführung einer Prozedur auf bestimmte Phasen des Nichtleistungsbetriebs beschränkt, haben die Einleitungs- und Beendigungskriterien diese Einschränkung klar zum Ausdruck zu bringen.

Es muss genaue Anweisungen geben, wie das Personal weiter vorzugehen hat, wenn Beendigungskriterien erfüllt sind.

Als Kriterien sind nicht nur Grenzwerte, sondern auch eventuelle, weitere Erfordernisse wie zum Beispiel der Abschluss bestimmter Arbeiten und (oder) die Verfügbarkeit ausreichend vieler Personen mit bestimmten Qualifikationen zu berücksichtigen.

Alle diese Anforderungen gelten auch für Teile einer Prozedur bis hin zu einzelnen Prozeduranweisungen, deren Ausführung von Kriterien abhängt.

3. Kriterien haben im Betriebshandbuch eindeutig als solche erkennbar zu sein. Es soll klar ersichtlich sein, auf welche Anweisungen sie sich beziehen und auf welche nicht.
4. Gibt es für Einleitung, Erfolg oder Abbruch mehrere Kriterien, muss die Art der Verknüpfung („und“, „oder“, ...) unmissverständlich zum Ausdruck kommen.

5. Entscheidungsbäume, Entscheidungstabellen oder andere Mittel übersichtlicher Darstellung sollen die korrekte Auswertung verknüpfter Kriterien unterstützen.

Kommentare:

Kriterien erfüllen damit eine Schlüsselfunktion für die Einleitung und die Bearbeitung anstehender Aufgaben: (1) Sie ermöglichen die Entscheidung, welche Regelung(en) in einer gegebenen Situation greifen und welche Prozedur(en) einzuleiten bzw. zu beenden sind. (2) Ferner zeichnen Kriterien den Handlungsablauf bei der Bearbeitung einer Prozedur oder der Regelungen vor, wenn es von Kriterien abhängt, welche Teile einer Prozedur oder welche Anweisungen innerhalb einer Prozedur oder einer Regelung zur Ausführung zu kommen haben. Die hier genannten Gestaltungsanforderungen gehen über die gültige KTA 1201 hinaus, bzw. präzisieren allgemein gehaltene Vorgaben.

2.3 Aufgabenbeschreibung durch eine Prozedur

Gestaltungsanforderungen:

1. Das Betriebshandbuch soll für jede Störung bzw. für jeden Störfall im Nichtleistungsbetrieb, die bzw. der sich mit einem Vorgehen im Rahmen der Auslegungsgrenzen beherrschen lässt, eine Prozedur enthalten.
2. Die Gesamtaufgabe der Bearbeitung einer Prozedur soll in Teilaufgaben gegliedert sein. Teilaufgaben sollen
 - die Führung und Kontrolle der Prozedurbearbeitung durch den Schichtleiter oder einen Stellvertreter,
 - die fortlaufende Überwachung der Schutzziele und
 - die Wiederherstellung und (oder) Aufrechterhaltung der Zustände sein, die technische Einrichtungen aufweisen müssen, damit das Prozedurziel erreicht wird.
3. Die Teilaufgaben in einer Prozedur sollen mit Hilfe einer systematischen Aufgabenanalyse bestimmt werden.
 - Sie hat darin zu bestehen, die Gesamtaufgabe der Prozedur sukzessive in immer konkretere Teilaufgaben bis hin zu den einzelnen Handlungen zu zerle-

gen, deren Ausführung erforderlich ist, um die Prozedur erfolgreich zu bearbeiten.

- Zur Aufgabenanalyse hat (1) die Bestimmung denkbarer Fehler mit ihren Folgen für die Sicherheit des Menschen, der Umwelt und der Anlage sowie (2) die Festlegung möglicher Vorkehrungen zu gehören. Vorkehrungen sind unter anderem Warnungen und Anweisungen zur Erkennung, Meldung und Behebung der Fehler und zur Bewältigung ihrer Folgen.
- Die Erkenntnisse der Aufgabenanalyse sollen genutzt werden, um eine Prozedur soweit möglich nur in Teilaufgaben gliedern, die von der Beauftragung der Ausführenden bis zum Abschluss unabhängig von anderen Teilaufgaben bearbeitet werden können und deren Bearbeitung die Ausführenden keinen unangemessenen Beanspruchungen aussetzt.
- Das Personal ist am Gestaltungsprozess der Prozedur zu beteiligen, indem sein Bedarf an Informationen und Anweisungen sowie bevorzugte Formen der Gestaltung der Prozedur ermittelt und berücksichtigt wird.

Die zuverlässige Ausführbarkeit der Prozedur ist nachzuweisen. Dazu gehört, dass die späteren Nutzer die Prozedur unter realistischen Ausführungsbedingungen zum Beispiel am Simulator abarbeiten.

4. Aus der Prozedur hat eindeutig hervorzugehen, welche Anweisungen und welche sonstigen Informationen zu den einzelnen Teilaufgaben gehören.
5. Die Prozeduren haben zu jeder Teilaufgabe die Anweisungen und sonstigen Informationen zu enthalten, die das Personal zur Bearbeitung der Teilaufgabe benötigt. Zu nennen sind
 - die Kriterien für die Einleitung der Teilaufgabe, zu denen der vorherige Abschluss anderer Teilaufgaben gehören kann.
 - die Kriterien bzw. Ergebnisse, die mit der Bearbeitung der Teilaufgabe zu erreichen sind.
 - Zahl und Qualifikation der Personen, denen die Teilaufgabe zur Erfüllung übertragen ist.

- die Handlungen mit ihren eventuellen spezifischen Kriterien für die Handlungsausführung. Zu diesen Handlungen gehören auch solche, die zu vollziehen sind, wenn die Teilaufgabe nicht wie vorgesehen bearbeitet werden kann.
 - die technischen Einrichtungen, Geräte und sonstigen Objekte, an bzw. mit denen die Ausführenden handeln,
 - der Ort der Handlungsausführung mit seinen Umgebungsbedingungen, die besondere Schutzvorkehrungen und (oder) Ausrüstungen wie zum Beispiel Lampen erfordern.
 - Zeitpunkt und Zeitraum der Handlungs- bzw. Aufgabenausführung.
6. Prozeduren sollen für die Teilaufgabe der Führung und Kontrolle der Prozedurbearbeitung eine Unterlage zu enthalten, die in übersichtlicher Weise Art und Abfolge der Teilaufgaben dieser Prozedur darstellt. Die Darstellung soll auch alle Kriterien enthalten, die für Einleitung und Beendigung der Aufgabe gelten.

Kommentare:

Die Gliederung einer Prozedur in Teilaufgaben hat den Vorteil, dem Schichtleiter oder einer anderen, befugten Führungskraft, den Überblick über die Prozedur und ihren Bearbeitungsstand zu erleichtern. Der Überblick über Aufbau und Bearbeitungsstand einer Prozedur ist besonders dann wichtig, wenn letztere (1) aus vielen Teilaufgaben besteht, (2) die Bearbeitung der Prozedur lange Zeiten auch über Schichtwechsel hinweg in Anspruch nimmt und (oder) (3) der Ereignishergang es erfordert, mehr als eine Prozedur zu bearbeiten.

Die Regel KTA 1201 enthält Anforderungen an den formalen Aufbau der Prozedur aus Schritten und an die Darstellung der Reihenfolge, in der die Schritte abzuarbeiten sind (KTA 1201, 4.6 (5) und (6)). Mehrere Schritte können zu einem Tätigkeitsblock zusammengefasst werden (KTA 1201, 4.5, (6)). Der Zusammenhang mit der oben vorgesehenen Gliederung in Teilaufgaben ergibt sich, indem man eine Teilaufgabe durch einen Schritt oder einen Tätigkeitsblock darstellt. Weiterhin enthält die KTA 1201 (neue Fassung) überwiegend allgemein gehaltene Anforderungen zum Informationsgehalt einer Prozedur und teilweise sehr detaillierte Anforderungen zur Gestaltung von Text, Fließbildern, Kennzeichnungen und Hervorhebungen, die durch die hier aufgeführten Empfehlungen präzisiert bzw. vervollständigt werden.

Eine Aufgabenanalyse mit den aufgezählten Merkmalen ermöglicht eine vollständige Beschreibung der Teilaufgaben und Handlungen, mit denen eine Störung oder ein Störfall zu bewältigen ist (/WEI 90/, S. 30). Die Gliederung in möglichst eigenständige Teilaufgaben vermindert den Bedarf an Koordination und Kommunikation mit ihren Fehlermöglichkeiten. Der möglichst weitgehende Ausschluss unangemessener Beanspruchungen trägt dazu bei, dass das Personal die Prozeduren zuverlässig abarbeiten kann.

2.4 Erledigungsvermerke

Gestaltungsanforderungen:

1. Die Erledigung einer Anweisung hat nach ihrer Ausführung vermerkt zu werden.
2. Anweisung und Erledigungsvermerk haben einander eineindeutig zugeordnet zu sein, weshalb zu jeder Anweisung eine eigene und ausdrücklich für den Erledigungsvermerk vorgesehene Eintragungsmöglichkeit bestehen muss.
3. Erledigungsvermerke und zugehörige Eintragungsmöglichkeiten sind auch für die Übersichten vorzusehen, mit denen der Schichtleiter oder eine andere befugte Führungskraft die Art und die Abfolge der Teilaufgaben einer Prozedur ersehen, leiten und kontrollieren kann.

Kommentare:

Erledigungsvermerke unterstützen die Selbstkontrolle des Arbeitsfortschritts und der Vollständigkeit der Aufgabenerfüllung, die Fremdkontrolle dieser beiden Aspekte und eventuelle Berichte an den Schichtleiter und (oder) an weitere Personen über den Bearbeitungsstand einer Aufgabe.

Nach der Regel KTA 1201 sind Erledigungsvermerke nur vorzusehen sind, wenn die betreffenden Teile des Betriebshandbuchs als Checkliste verwendet werden sollen (KTA 1201, 4.6 (8)). Die obigen Forderungen dehnen diese Regelwerksanforderungen auf alle Anweisungen in einer Prozedur aus.

2.5 Entnahme-Exemplare

Gestaltungsanforderungen:

1. Zum Betriebshandbuch sollen für jede Teilaufgabe einer Prozedur Entnahme-Exemplare gehören, die an den Ort der Aufgabenausführung mitzunehmen sind. Solche Entnahme-Exemplare sollen für Aufgaben in der Warte und außerhalb der Warte bereitstehen.
2. Entnahme-Exemplare haben für die Teilaufgabe, deren Bearbeitung sie unterstützen, alle Anweisungen und sonstigen Informationen zu enthalten, die das Personal zur korrekten Erfüllung dieser Aufgabe benötigt.
3. Entnahme-Exemplare haben in der Warte griffbereit vorzuliegen.
4. Für jedes Entnahme-Exemplar muss klar ersichtlich sein, zu welcher Prozedur bzw. Teilaufgabe innerhalb einer Prozedur es gehört.
5. Zu jedem Entnahme-Exemplar soll es ein Duplikat geben, das auf der Warte verbleibt, um dort im Bedarfsfall die Anweisungen und Informationen für Arbeiten außerhalb der Warte nachsehen zu können.
6. Entnahme-Exemplare sollen Eintragungsmöglichkeiten vorsehen, um die Erledigung der Anweisungen vermerken zu können.

Kommentar:

In Gestalt der Entnahme-Exemplare verfügen die Ausführenden über eine schriftliche Unterlage mit den erforderlichen Anweisungen und sonstigen Informationen. Das Personal muss also nicht aus dem Gedächtnis heraus und (oder) nach Notizen arbeiten. Damit entfallen die Fehlermöglichkeiten, die mit der Erinnerung bzw. mit selbstverfertigten Notizen einhergehen. Die KTA-Regel 1201 (alte und neue Fassung) enthält keine Anforderungen zu Entnahmeexemplaren.

2.6 Zusammenfassung

Die vorgestellten Forderungen an die Gestaltung können für Weiterentwicklungen des Standes von Wissenschaft und Technik und insbesondere der Regel KTA 1201 genutzt werden.

Der überwiegende Teil präzisiert bereits vorhandene allgemein formulierte Vorgaben. Einige Forderungen werden jedoch noch nicht angesprochen (z. B. Forderungen zu Entnahmeexemplaren) und tragen somit zur Ergänzung des Regelwerks und damit zur Realisierung des eingangs genannten Grundsatzes, die Voraussetzungen für das sicherheitstechnisch erforderliche Verhalten des Personals zu schaffen, bei.

Soweit die Forderungen nicht ausdrücklich auf den Nichtleistungsbetrieb bezogen sind, lassen sie sich auf Prozeduren und Regelungen im Allgemeinen übertragen. Dieser umfassende Geltungsbereich sollte bei Übernahmen in das kerntechnische Regelwerk erhalten bleiben.

Verteiler

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

AG RS I 3 2 x

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Bereich SK 1 x

AG Forschungskordinierung 1 x

Ländergenehmigungs- und Aufsichtsbehörden 12 x

TÜV-Leitstelle Kerntechnik 1 x

VGB 1 x

GRS

Geschäftsführer wfp, stj je 1 x

Bereichsleiter rot, zip, erv, stc, ver, prg, paa je 1 x

Projektbetreuung hab je 1 x

Abteilungsleiter poi, sit, wil, kre je 1 x

Autoren bab, fas, mag, prw je 1 x

Informationsbearbeitung (TECDO) 1 x

Bibliothek 1 x

Gesamtauflage **38 x**

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1

50667 Köln

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum

85748 Garching b. München

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

10719 Berlin

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

38122 Braunschweig

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de