

**Vertiefte Untersuchungen  
von Betriebserfahrungen  
aus Kernreaktoren**

**Jahresbericht 2018/2019**  
(Oktober 2018 – September 2019)

## **Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren**

**Jahresbericht 2018/2019**  
(Oktober 2018 – September 2019)

Zusammengestellt von  
Oliver Mildenberger

Juni 2020

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) unter dem Kennzeichen 4718R01311 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

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

**Deskriptoren**

Betriebserfahrung, Kernkraftwerke, meldepflichtige Ereignisse, Übertragbarkeit

## **Kurzfassung**

Die kontinuierliche Auswertung von Ereignissen in den Kernkraftwerken des In- und Auslands im Auftrag des BMU gehört zu den zentralen Aufgaben der GRS. Die GRS wertet die meldepflichtigen Ereignisse aus deutschen Anlagen sowie sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse aus ausländischen Kernkraftwerken aus. Ziel ist die Gewinnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Informationen zur Erweiterung der Wissensbasis der GRS. Das Lernen aus der Betriebserfahrung ist ein wichtiger Bestandteil zum Erhalt und zur Verbesserung des Sicherheitsniveaus von Kernkraftwerken. Die Erkenntnisse, die aus diesen vertieften Auswertungen gewonnen werden, bilden die wissenschaftliche Grundlage für Stellungnahmen, Weiterleitungsnachrichten oder generische Berichte im Auftrag des BMU.

Der Bericht führt wesentliche Ergebnisse ereignis- bzw. anlagenübergreifender vertiefter Untersuchungen aus dem Berichtszeitraum zu sicherheitsrelevanten Aspekten auf, die im Rahmen des ingenieurtechnischen Screenings von Quellen der Betriebserfahrung erkannt wurden.

Auch die Ergebnisse der Precursor-Analysen und der generischen Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten werden dargestellt.

Darüber hinaus werden die Ergebnisse zusätzlicher weiterführender Arbeiten im Zusammenhang mit der Auswertung von Betriebserfahrung zusammengefasst, die der Ermittlung und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik dienen:

- Schadens- und Versagensmechanismen von Brandschutzklappen.



## **Abstract**

A central task of GRS is the continuous evaluation of events in nuclear power plants in Germany and abroad on behalf of BMU. GRS evaluates all reportable events from German plants as well as safety-relevant events in foreign nuclear power plants. It aims for the extraction of scientific insights and information to extend the knowledge base of GRS. Learning from operating experience is an important element for preserving and improving the safety level of nuclear power plants. Insights obtained from these in-depth evaluations form the scientific basis for expert statements, information notices or generic reports on behalf of BMU.

This report presents major results of generic in-depth investigations on safety-relevant aspects detected during the screening of operating experience from all available sources in the reporting period.

Also the results of precursor analyses and the generic evaluation of the feedback on information notices are described.

Moreover, the results of additional further works to determine and advance the state of the art in science and technology related to the evaluation of operating experience are summarized:

- Damage and failure mechanisms of fire dampers.



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>I</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise zur Auswertung von Betriebserfahrung.....</b>	<b>3</b>
2.1	Hintergrund.....	3
2.2	Ziele.....	5
2.3	Informationsfluss und Quellen.....	5
2.4	Vorgehen.....	6
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung.....</b>	<b>11</b>
3.1	Anlagen- und Systemtechnik .....	11
3.1.1	Schäden durch Wasserhämmer im Bereich der Frischdampf- Sicherheits-Armaturen-Station einer ausländischen DWR-Anlage .....	11
3.1.2	Anstieg des Unterdrucks im Reaktorsicherheitsbehälter auf 80 mbar im Rahmen einer betrieblichen Schalthandlung in einer DWR-Anlage.....	13
3.1.3	Befunde bei der Befestigung von Haltesegmenten der Klappenblattdichtung von Absperrklappen in einer DWR-Anlage.....	14
3.1.4	Notfallmaßnahmen zur Beherrschung eines gemeinsam verursachten Ausfalls der Frischdampf-Abblase-Regelventile bei un verfügbarer Hauptwärmesenke.....	16
3.1.5	Interne Kühlwasserleckage an einem Abgasturbolader an einem Notstromdieselmotor in einer DWR-Anlage.....	17
3.1.6	Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung in einer SWR-Anlage.....	17
3.2	Elektro- und Leittechnik .....	18
3.2.1	Messumformer in einer DWR-Anlage entspricht nicht der Spezifikation...	18

3.2.2	Ausfälle von leittechnischen Baugruppen durch defekte Tantal-Elektrolytkondensatoren in einer DWR-Anlage und einem Forschungsreaktor .....	20
3.2.3	Blockierung der Abschaltung einer Hauptkühlmittelpumpe aufgrund einer Fehlfunktion einer Taktgeberbaugruppe im Reaktorschutzsystem in einer ausländischen DWR-Anlage.....	21
3.3	Komponentenintegrität.....	23
3.3.1	Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen von Dampferzeugerheizrohren in einer DWR-Anlage.....	23
3.4	Mensch-Technik-Organisation .....	24
3.4.1	Fehlende Seiten im Betriebshandbuch in einer DWR-Anlage .....	24
3.4.2	Überströmventil öffnet nicht spezifikationsgemäß in einer DWR-Anlage ..	25
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Precursor-Analysen .....</b>	<b>27</b>
4.1	Einleitung.....	27
4.2	Vorauswahl von Ereignissen.....	28
4.3	Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen .....	30
4.4	Probabilistisch nicht bewertete Ereignisse .....	32
4.5	Untersuchungen hinsichtlich der Weiterentwicklung von Methoden für die Precursor-Analyse .....	32
4.6	Zusammenfassung .....	34
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der generischen Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse zusätzlicher weiterführender Arbeiten .....</b>	<b>37</b>
6.1	Schadens- und Versagensmechanismen von Brandschutzklappen .....	37
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>39</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>41</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>43</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>45</b>

# 1 Einleitung

Der Erfahrungsrückfluss aus dem Betrieb von Kernkraftwerken ist unverzichtbar für die Aufrechterhaltung eines hohen kerntechnischen Sicherheitsniveaus in der Bundesrepublik Deutschland. Die vertiefte interdisziplinäre Untersuchung der aufgetretenen Ereignisse in den Kernreaktoren des In- und Auslands, unter Einbeziehung der sonstigen sicherheitsrelevanten Erkenntnisse aus dem Anlagenbetrieb, bildet eine der wichtigsten technischen Grundlagen für diesen Erfahrungsrückfluss. Die innerhalb des Vorhabens 4718R01311 „Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren“ durchgeführten Arbeiten dienen der Beantwortung von grundlegenden wissenschaftlichen Fragestellungen, der zugehörigen wissenschaftlichen Datenaufbereitung und insbesondere als Grundlage für ereignis- und anlagenübergreifende generische Untersuchungen. Die Auswertung von Betriebserfahrung wird seit über 40 Jahren von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH im Auftrage des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und der vormals zuständigen Ministerien durchgeführt. Die Nutzung der vielfältigen Auswertungsergebnisse ist ein wesentlicher Bestandteil der Wissensbasis der GRS zur Weiterentwicklung von Methoden zur Verbesserung des Sicherheitsniveaus der in Betrieb bzw. im Nachbetrieb befindlichen Kernkraftwerke. Die umfangreiche Auswertung von Betriebserfahrung kann darüber hinaus auch der Bundesaufsicht nach Artikel 85 GG über den Vollzug des Atomgesetzes (AtG) durch die Bundesländer den Betrieb von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren betreffend als Grundlage bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben dienen.

Die Arbeiten der GRS innerhalb des Vorhabens konzentrieren sich im Wesentlichen auf

- die Auswertung von Betriebserfahrung mit ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Methoden und
- die fachlich interdisziplinäre Beurteilung der anlagenübergreifenden Bedeutung von gemeldeten nationalen und internationalen Ereignissen sowie
- den Austausch von Betriebserfahrung im Rahmen internationaler Projekte und Arbeitsgruppen.

In diesem Bericht werden nach einer allgemeinen Darstellung der Vorgehensweise zur Auswertung von Betriebserfahrung (Kapitel 2) für den Zeitraum Oktober 2018 bis Sep-

tember 2019 wichtige Ergebnisse der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung (Kapitel 3), der Precursor-Analysen (Kapitel 4), der generischen Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten (Kapitel 5) sowie zusätzlicher weiterführender Arbeiten vorgestellt (Kapitel 6) vorgestellt.

## 2 Vorgehensweise zur Auswertung von Betriebserfahrung

### 2.1 Hintergrund

Die Auswertung von Betriebserfahrung von Kernkraftwerken ist ein international gefordertes und etabliertes Vorgehen, um durch die Verfolgung und Bewertung von Ereignissen einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der kerntechnischen Sicherheit von laufenden und abgeschalteten Anlagen zu leisten. Einen umfassenden Überblick des Standes von Wissenschaft und Technik zur Erhebung des Erfahrungsrückflusses durch die Auswertung von Ereignissen bietet der Safety Guide der IAEA „A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations“ /IAEA 06/, der in wesentlichen Punkten nachfolgend dargestellt wird.

Die systematische Untersuchung und Bewertung von Ereignissen, die in kerntechnischen Anlagen auftreten, die Überprüfung auf eine mögliche anlagenübergreifende Relevanz sowie die Verbreitung und der Austausch der erarbeiteten Ergebnisse tragen zur Verbesserung der nuklearen Sicherheit bei. Für ein effektives nationales System zur Auswertung und Nutzung von Betriebserfahrung sollen nach /IAEA 06/ folgende Schwerpunkte abgedeckt werden:

- Auswahl der gemeldeten Ereignisse mit sicherheitstechnischer Bedeutung und deren Untersuchung und Bewertung hinsichtlich anlagenübergreifender Relevanz,
- Detailanalysen zu sicherheitsrelevanten Ereignissen und die Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen aufgrund der erarbeiteten Untersuchungsergebnisse,
- systematische Verfolgung sicherheitsrelevanter Ereignismerkmale,
- Verbreitung und Austausch von Ergebnissen, auch unter Nutzung internationaler Systeme,
- kontinuierliche Aktualisierung der Programme zur Verfolgung und Verbesserung der Auswertung von Betriebserfahrung zur Erhöhung der kerntechnischen Sicherheit sowie
- Bereitstellung eines Systems zur Archivierung, Abrufung und Dokumentation der zur Auswertung von Betriebserfahrung zugehörigen Daten.

Diese in /IAEA 06/ geforderten Schwerpunkte werden im Rahmen des diesem Bericht zugrunde liegenden Vorhabens wie folgt umgesetzt:

Der Auswahlprozess der Ereignisse (Screening) dient dazu, sicherheitsrelevante Ereignisse, die anlagenübergreifende Relevanz haben, für weitere Untersuchungen auszuwählen. Das Screening basiert dabei im Wesentlichen auf einer ingenieurmäßigen Bewertung der Ereignisse und wird von interdisziplinären Arbeitsgruppen durchgeführt.

Precursor-Analysen bewerten gemeldete Ereignisse hinsichtlich ihres probabilistischen Beitrags zur Häufigkeit von auslegungsüberschreitenden Ereignisabläufen. Im Rahmen des Vorhabens werden solche Precursor-Ereignisse identifiziert und analysiert. Durch die Weiterentwicklung der Precursor-Analysemethoden wird der Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickelt.

Für ausgewählte sicherheitsrelevante Ereignisse werden weitergehende detaillierte Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die Ursachen für das zu untersuchende Ereignis zu klären.

Die systematische Verfolgung sicherheitsrelevanter Ereignismerkmale, die dokumentiert und in Datenbanken abgelegt werden, stellt die Auswertung von Ereignissen der Vergangenheit dar und hat zum Ziel, frühzeitig die Erkennung von negativen Abweichungen von ausgewählten Sicherheitsaspekten aufzuzeigen, sodass rechtzeitig Untersuchungen und Abhilfemaßnahmen ergriffen werden können, um signifikante Ereignisse präventiv zu verhindern.

Durch die Teilnahme an internationalen Systemen und Gremien zum Austausch von Betriebserfahrung wird eine Vielzahl von Ereignissen, weiterer Betriebserfahrung und bereits getroffener Abhilfemaßnahmen über die nationale Betriebserfahrung hinaus berücksichtigt. Hierdurch werden Wissens- und Datenbasis zur Auswertung und Nutzung von Betriebserfahrung erhöht. Die Nutzung internationaler Systeme ermöglicht zudem das Pflegen internationaler Kontakte, um auch zukünftig einen breit gefächerten Erfahrungsaustausch zu gewährleisten und um sicherheitstechnische Erkenntnisse frühzeitig zu gewinnen.

## **2.2 Ziele**

Übergeordnetes Ziel der vertieften Auswertung von Ereignissen, unter Nutzung der sonstigen sicherheitsrelevanten Betriebserfahrungen aus in- und ausländischen Kernkraftwerken, ist die Gewinnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Daten zur Erweiterung der Wissensbasis der GRS.

Konkret trägt die Auswertung von Betriebserfahrungen dazu bei,

- den im Rahmen der Genehmigungen nachgewiesenen Sicherheitsstand der Kernkraftwerke anhand der Kenntnisse aus dem aktuellen Anlagenbetrieb zu verfolgen und zu dokumentieren,
- sicherheitstechnische und organisatorische Schwachstellen in den Anlagen zu erkennen,
- sicherheitstechnische und organisatorische Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren sowie
- eine wissenschaftliche Basis für die Weiterentwicklung von Sicherheitsstandards zu schaffen.

Die Arbeitsergebnisse können auch als Grundlage für das BMU bei der Wahrnehmung seiner bundesaufsichtlichen Aufgaben dienen.

## **2.3 Informationsfluss und Quellen**

Die Meldung von sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen ist in Deutschland in der „Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen“ (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten und Meldeverordnung – AtSMV) geregelt.

Die Bereitstellung und Verbreitung internationaler Betriebserfahrung erfolgt über internationale Informationssysteme wie INES, IRS oder ECURIE.

Die GRS wertet verschiedene Quellen zur Betriebserfahrung aus Kernkraftwerken des In- und Auslandes aus. Im Einzelnen sind dies:

- meldepflichtige Ereignisse,
- Betriebsberichte (RSK-, Monats- und Jahresberichte),
- IRS-Meldungen,
- INES-Meldungen,
- Licensee Event Reports (LERs) der U.S. NRC (auf Basis eines Screenings der Kurzfassungen neu gemeldeter LERs)
- Informationen von Tagungen und aus sonstigem Erfahrungsaustausch mit anderen Institutionen (national, international),
- sonstige Informationen (Pressemitteilungen, Internet, etc.).

Der Informationsfluss bei der Auswertung nationaler und internationaler Betriebserfahrung wird in Abb. 2.1 schematisch dargestellt.



**Abb. 2.1** Informationsfluss bei der Auswertung nationaler und internationaler Betriebserfahrung

## 2.4 Vorgehen

Basis der Arbeiten ist die Auswertung nationaler und internationaler meldepflichtiger Ereignisse sowie sonstiger Betriebserfahrung, die im Rahmen eines ingenieurtechnischen Screenings erfolgt. Für jedes Ereignis erfolgt durch einen Bearbeiter des zuständigen Fachgebiets zunächst eine Recherche, die Datenbanken und weitere inhaltlich betroffene Fachgebiete innerhalb der GRS einbezieht, aber auch zugängliche oder auf Anfrage erhaltene Informationen von Behörden, Gutachtern, Betreibern oder Herstellern umfasst. Auf dieser Grundlage erfolgen regelmäßige Durchsprachen der Ereignisse in

einer interdisziplinären Arbeitsgruppe, die neben Anlagentechnik, Elektro- und Leittechnik und Komponentenintegrität auch Fachgebiete wie Human Factors und Managementsysteme abdeckt. Eine zentrale Frage ist bei diesen Untersuchungen die Übertragbarkeit auf deutsche Kernkraftwerke.

Für die Berücksichtigung eines auf breiter Grundlage zu ermittelnden Standes von Wissenschaft und Technik im Vorhaben bezieht die GRS auch externen Sachverstand mit ein. Deshalb werden das Öko-Institut e.V. und das Physikerbüro Bremen als Unterauftragnehmer hinzugezogen.

Jedes untersuchte Vorkommnis (meldepflichtiges Ereignis oder sonstige Betriebserfahrung) wird GRS-intern mit sicherheitsrelevanten Merkmalen dokumentiert und in Datenbanken abgelegt. Die dabei vorgenommene Kodierung dient zur Charakterisierung der sicherheitstechnischen Bedeutung eines Ereignisses in Kombination mit der beteiligten Anlagentechnik und der jeweiligen beim Ereignis vorliegenden betrieblichen Situation sowie menschlichen Einflussgrößen. Die statistische Auswertung sicherheitsrelevanter Merkmale mit Hilfe der Datenbanken wird zur Ermittlung von sicherheitsrelevanten Auffälligkeiten herangezogen. Dies stellt eine der Grundlagen für die Betrachtungen im Rahmen des Screening-Prozesses dar. Solche Analysen können somit als Initiator und Ausgangspunkt für ereignis- und anlagenübergreifende generische Untersuchungen dienen.

Bei einer aus der Auswertung der Betriebserfahrung im Rahmen des Screening-Prozesses abgeleiteten generischen Problemstellung (tatsächliche oder potentielle sicherheitstechnische Bedeutung für andere Anlagen) erfolgen detaillierte und umfassende Analysen der ereignis- und anlagenübergreifenden Aspekte. Sie können beispielsweise detaillierte Literaturrecherchen, Untersuchungen mit den anlagenspezifischen Analysesimulatoren der GRS oder Fachgespräche mit Behörden, Gutachtern, Betreibern oder Herstellern umfassen. Zum Teil erfolgen solche weiterführenden Arbeiten, z. B. die Erstellung einer Weiterleitungsnachricht im Auftrag des BMU, in anderen Vorhaben.

Tatsächlich oder potentiell sicherheitstechnisch bedeutsam sind Ereignisse, die Mängel hinsichtlich der mehrfachen Ausbildung der Barrieren oder in den Vorkehrungen zum Schutz der Barrieren auf den einzelnen Ebenen des gestaffelten Sicherheitskonzeptes aufzeigen. Darauf können insbesondere folgende Punkte hindeuten:

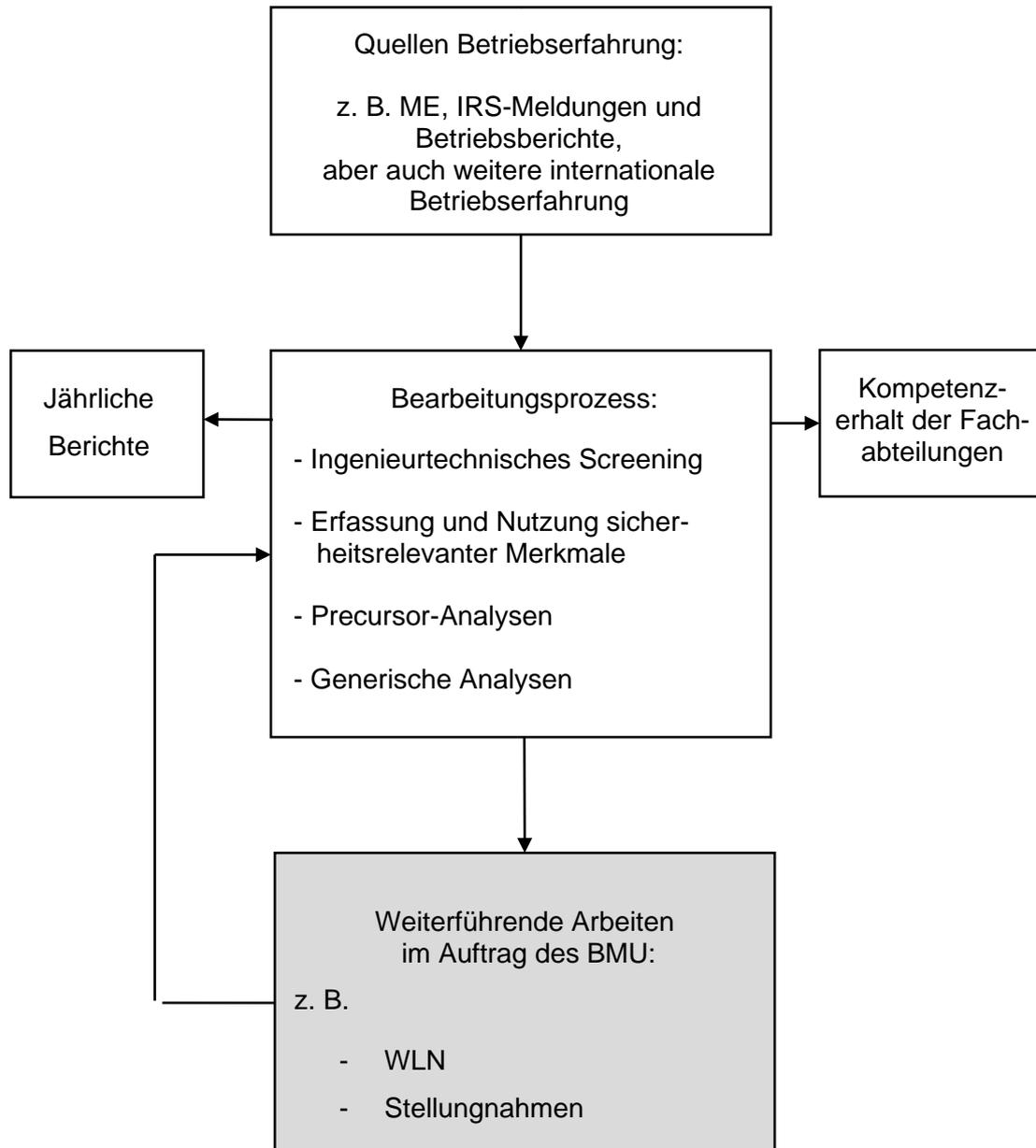
- Nichterfüllung von Auslegungsmerkmalen für einzelne Sicherheitsebenen,
- nicht auslegungs- bzw. erfahrungsgemäßes System- oder Komponentenverhalten,
- bedeutsame Erhöhung der Wahrscheinlichkeit störfallauslösender Ereignisse oder der Wahrscheinlichkeit für Schadenszustände des Sicherheitssystems,
- Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache oder systematische Fehler, die auf einer einzelnen, aber auch auf mehreren Ebenen gleichzeitig wirksam werden können,
- Mängel im administrativen Bereich, die alle Ebenen betreffen können, z. B. in Betriebsvorschriften, im Instandhaltungswesen, im Prüfkonzept und im Schulungswesen.

Die Ergebnisse des Screening-Prozesses werden GRS-intern dokumentiert und stellen eine zusätzliche Informationsquelle für die Auswertung zukünftiger Ereignisse dar. In einem jährlichen Bericht wie dem vorliegenden werden die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst (siehe Kapitel 3).

Vorkommnisse werden zudem auf eine Precursor-Relevanz hin vorselektiert. Für diese ausgewählten Vorkommnisse erfolgt anschließend eine detaillierte Precursor-Analyse, ggf. unter Weiterentwicklung der zur Bewertung notwendigen Methoden. Vorkommnisse, deren Precursor-Analyse eine bedingte Wahrscheinlichkeit für den Eintritt von Gefährdungszuständen  $> 10^{-6}$  ergibt, werden als Precursor eingestuft und dokumentiert (siehe Kapitel 4).

Durch die ebenfalls in dem diesem Bericht zugrunde liegenden Vorhaben durchgeführte Untersuchung ausgewählter aktueller Ereignisse in ausländischen Kernkraftwerken, die Beteiligung an internationalen Projekten und Arbeitsgruppen zum Thema Betriebserfahrung sowie die generische Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten (siehe Kapitel 5) werden zusätzliche Quellen für Betriebserfahrung erschlossen, die ggf. im Rahmen generischer Analysen weiterverfolgt werden.

Ein schematischer Überblick bezüglich der Vorgehensweise zur Auswertung von Betriebserfahrung findet sich in Abb. 2.2.



**Abb. 2.2** Überblick zur Auswertung von Betriebserfahrung (die grau hinterlegten Arbeiten sind nicht Gegenstand des Vorhabens 4718R01311)



### **3 Ergebnisse der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung**

Zu sicherheitsrelevanten Aspekten, die im Rahmen des ingenieurtechnischen Screenings von Quellen der Betriebserfahrung erkannt wurden, wurden ereignis- bzw. anlagenübergreifende vertiefte Untersuchungen durchgeführt. Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse aus dem Berichtszeitraum dargestellt. Diese wurden entsprechend ihrem jeweiligen thematischen Schwerpunkt gruppiert. In vielen Fällen sind aber auch Aspekte weiterer Fachgebiete betroffen, zudem sind in verschiedenen Fällen menschliche oder organisatorische Einflussfaktoren mitwirkend.

#### **3.1 Anlagen- und Systemtechnik**

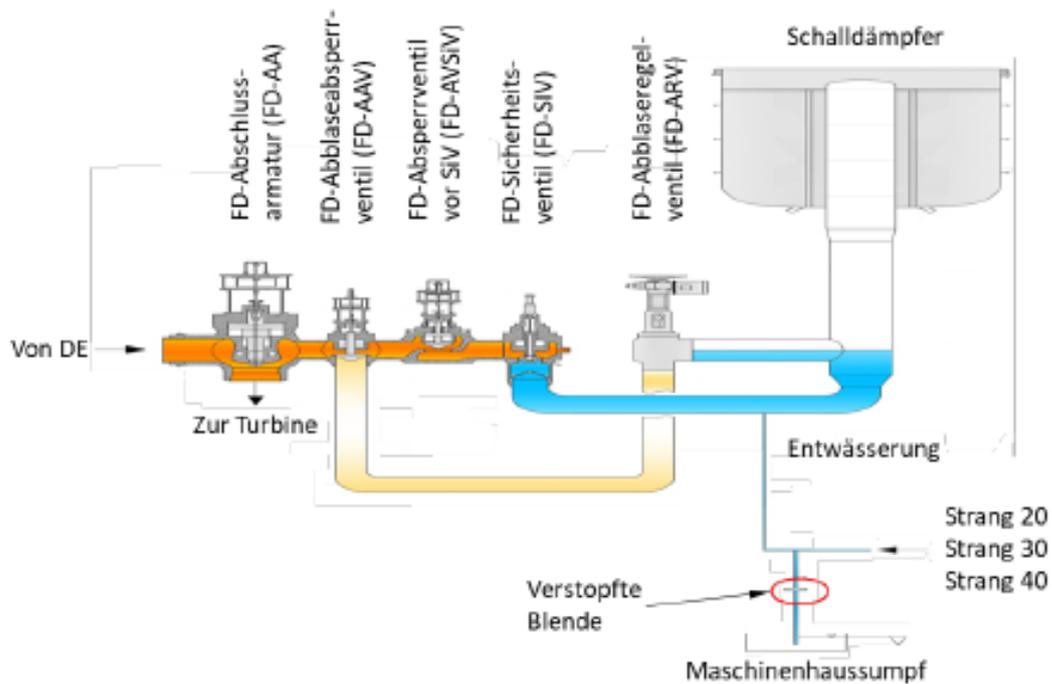
##### **3.1.1 Schäden durch Wasserhämmer im Bereich der Frischdampf-Sicherheits-Armaturen-Station einer ausländischen DWR-Anlage**

Im Zuge des Abfahrens zur Jahresrevision wurden in drei Strängen scharfe Funktionsprüfungen der Frischdampfsicherheitsventile (FD-SIV) in der Frischdampfsicherheitsarmaturen-Station (FSA-Station) durchgeführt. Im vierten Strang sollten die Prüfungen erst nach dem Abschluss umfangreicher Revisionstätigkeiten erfolgen. Die drei Prüfungen wurden unmittelbar nacheinander durchgeführt, die Prüfziele wurden erreicht, Vor-Ort-Begehungen wurden zwischen den Prüfungen in den einzelnen Strängen nicht durchgeführt. Nach Abschluss der Prüfungen an den FD-SIV wurde durch die Wartensignalisierung angezeigt, dass sich das Frischdampfabbaseregelventil (FD-ARV) eines Strangs in teilweiser Offenstellung befand. Hieraus wurden jedoch zunächst keine Konsequenzen abgeleitet.

Im Rahmen der Fortsetzung des Prüfprogramms der FSA-Station sollten anschließend die FD-ARV geöffnet werden. Hierbei zeigte sich, dass die vollständig geschlossenen FD-ARV in zwei geprüften Strängen nicht öffneten. Daraufhin wurde eine Vor-Ort-Begehung in der FD-Armaturenkammer durchgeführt, bei der massive Schäden im Bereich der FD-ARVs vorgefunden wurden. In einem Strang war die Antriebseinheit der Armatur von dieser abgebrochen, in dem anderen Strang mit vollständig geschlossenem FD-ARV und in dem Strang mit fälschlich nicht ganz geschlossenem FD-ARV wiesen die Antriebe massive Schäden auf.

Durch eine leichte Sitzleckage des FD-SIV im nicht geprüften Strang kam es zum Dampfeintrag mit darauffolgender Kondensation im Rohrleitungsbogen hinter dem FD-SIV. Die Entwässerung der FD-SIV stellt eine direkte Verbindung der vier redundanten FSA dar, da die Entwässerungsleitungen aller 4 FSA in einem Sammler zusammengefasst werden (siehe Abb. 3.1). Die dahinter liegende Blende zum Maschinenhaussumpf war verstopft und damit keine Entwässerung mehr möglich. Über einen nachträglich nicht näher bestimmbar Zeitraum stieg der Wasserspiegel entsprechend dem Prinzip der kommunizierenden Röhren aufgrund der gemeinsamen Entwässerung in allen vier Rohrbögen bis hin zur Anschlussleitung der FD-ARV an.

Im Moment des Öffnens der FD-SIVs im Rahmen der Prüfung wurde das stehende Wasser im Rohrleitungsbogen infolge der Beaufschlagung mit dem unter Sekundärkreisdruck stehenden Dampf stark beschleunigt, die auftretenden Druckstöße infolge dieses Wasserhammers führten dann zu den oben beschriebenen Schäden an den Armaturen.



**Abb. 3.1** Übersicht über die beteiligten Einrichtungen

Diese Erkenntnisse können auch für deutsche Anlagen relevant sein, da durch die Ansammlung von Wasser in Rohrleitungsbögen im Bereich der FSA-Station im Anforderungsfall der FD-ARV bzw. FD-SIV verursachte Druckstöße zu gemeinsam verursachten Ausfällen sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen führen können. Im Rahmen eines

anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2018/07) erstellt. Darin wird empfohlen, unzulässige Rückwirkungen zwischen den Strängen über Verbindungen bzw. Schnittstellen zu anderen Systemen auszuschließen. Außerdem wird die Installation einer zuverlässigen Überwachungseinrichtung in den Rohrbögen zwischen FD-SIV und Schalldämpfern bezüglich anstehenden Wassers empfohlen.

### **3.1.2 Anstieg des Unterdrucks im Reaktorsicherheitsbehälter auf 80 mbar im Rahmen einer betrieblichen Schalthandlung in einer DWR-Anlage**

In einer DWR-Anlage kam es zu einem Anstieg des Unterdrucks im Reaktorsicherheitsbehälter (RSB) auf 80 mbar. Die Anlage befand sich bei Ereigniseintritt in der Revision im Zustand unterkritisch, kalt, drucklos, Kern vollständig entladen. Die Lüftungsanlage des RSB wurde im Spülluftbetrieb betrieben und die Personenschleuse befand sich im Schleusbetrieb. Während der Vorbereitungen zum Entleeren des Reaktorraums wurde die Stellung von Absperrklappen an Absaugöffnungen der Umluftfilteranlage vor Ort verändert, wodurch es zur Schutzabschaltung des in Betrieb befindlichen Umluftventilators und dadurch zum Ausfall des Spülluftbetriebs für den RSB kam. Bei der Wiederherstellung des Spülluftbetriebes kam es wiederholt zu Schutzabschaltungen der Umluftventilatoren. Es wurden Schalthandlungen durchgeführt, in deren Folge zwei Umluftventilatoren in Betrieb und die Fortluftklappen für die Spülluft des RSB geöffnet waren, die Zuluftklappen für die Spülluft jedoch unbemerkt geschlossen blieben. Somit wurde Luft aus dem RSB in Richtung Fortluftanlage gefördert, ohne dass Zuluft in den RSB nachströmen konnte. Dadurch erhöhte sich der Unterdruck im RSB gegenüber Atmosphärendruck. Als Folge des fallenden Druckes im RSB zeigte die Füllstandsanzeige für den Reaktorraum, die ohne Druckausgleich zur RSB-Atmosphäre arbeitet, ein fallendes Niveau an, obwohl der tatsächliche Füllstand unverändert blieb. Die ursächliche Armaturenfehlstellung der Zuluftklappen wurde nach ca. 30 Minuten von der Betriebsmannschaft erkannt. Die Zuluftklappen wurden geöffnet und die Lüftungsanlage normalisiert.

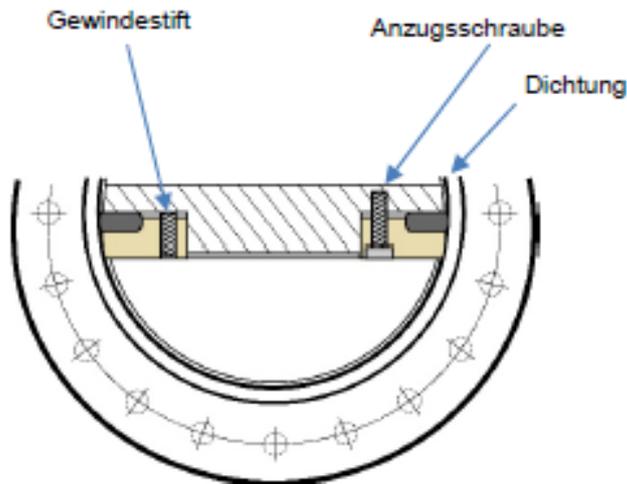
Als Ursache für das Ereignis wurden neben einer Verkettung mehrerer menschlich-organisatorischer Einzelfaktoren auch technische Mängel in der Auslegung der Umluftanlage identifiziert.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da nicht auszuschließen ist, dass auch bei anderen Anlagen infolge fehlerhafter Schalthandlungen oder technischer Störungen ein zu hoher Unterdruck innerhalb des RSB entstehen

kann. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/01) erstellt. Darin empfiehlt die GRS die Überprüfung aller Betriebsweisen des Lüftungssystems hinsichtlich der Möglichkeit eines Aufbaus eines unzulässig hohen Unterdrucks im RSB durch fehlerhafte Schalthandlungen oder technischer Störungen. Gegebenenfalls sollen Anzeigen auch für deutliche Unterschreitungen der Sollwerte angepasst werden sowie Meldungen zur Signalisierung bei erheblich unterschrittenem Drucksollwert und automatische Maßnahmen zur Verhinderung unzulässig hohen Unterdrucks installiert werden. Die vollständige Beschreibung der zur Herstellung einzelner Betriebsarten des Lüftungssystems notwendigen Schalthandlungen in den Betriebsunterlagen soll überprüft werden. Die Betriebsweisen der Lüftungsanlage und die Bedeutung von Fehlschaltungen sollen geschult werden. Außerdem sollen Maßnahmen zur wirksamen Anwendung von Human-Performance-Tools getroffen werden.

### **3.1.3 Befunde bei der Befestigung von Haltesegmenten der Klappenblattdichtung von Absperrklappen in einer DWR-Anlage**

In einer deutschen DWR-Anlage wurde im Rahmen der Reparatur einer Absperrklappe im Sicherheitskomponentenkühlsystem ein fehlender Gewindestift in der Befestigung der Klappenblattdichtung bemerkt. Die umlaufende Klappenblattdichtung wird bei dieser Ausführung mit runden Segmenten am Klappenblatt durch Anzugsschrauben angepresst (siehe Abb. 3.2). Die Segmente und das Klappenblatt werden mit Gewindestiften gegeneinander verspannt und fixieren Segmente und Klappenblatt in einem definierten Abstand. Dieser Abstand bestimmt den Überstand des elastischen Dichtringes und damit die Dichtheit der Armatur.



**Abb. 3.2** Schematischer Schnitt durch das Klappenblatt

Aufgrund der Befunde überprüfte der Betreiber alle vergleichbaren Klappen (insgesamt 74 Klappen): Über die drei o. g. Befunde hinaus wurden an vier weiteren Klappen im Sicherheitskomponentenkühlsystem fehlende Gewindestifte festgestellt. In zwei der insgesamt sieben befundbehafteten Klappen fehlte die Hälfte der Gewindestifte. Außer motorbetätigten Absperrklappen waren auch eigenmediumbetätigte Rückschlagklappen und Regelklappen betroffen. Die Befunde betrafen alle Redundanzen des Sicherheitskomponentenkühlsystems.

Das Lösen der Gewindestifte wird auf eine nicht ausreichende oder fehlende Schraubensicherung in Kombination mit einer geringen Klemmlänge der Gewindestifte zurückgeführt. Das Lösen der Schrauben kann durch Schwingungen begünstigt worden sein. Die mangelhafte Schraubensicherung wird vom Betreiber auf Unzulänglichkeiten in den Vorprüf- und Instandhaltungsunterlagen hinsichtlich der Schraubensicherung zurückgeführt. In den ursprünglichen Vorprüf- und Instandhaltungsunterlagen waren die erforderlichen Angaben zur Schraubensicherung noch enthalten. Mit der Umstellung auf eine neue Spezifikation wurden die Angaben vom Unterlagenersteller nicht vollständig in die Vorprüfunterlagen übernommen und damit auch nicht in die Wartungsunterlagen.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da auch dort entsprechende Klappen mit einer vergleichbaren Dichtungsbefestigung eingebaut sein können. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/04) erstellt. Darin empfiehlt die GRS die Überprüfung der Ar-

maturen in sicherheitstechnisch wichtigen Systemen mit einer entsprechenden Dichtungsbefestigung und ggf. deren Instandsetzung. Außerdem sind die Instandhaltungsunterlagen hinsichtlich der Angaben zur Schraubensicherung und den vorgeschriebenen Drehmomenten zu prüfen und ggf. zu ergänzen.

#### **3.1.4 Notfallmaßnahmen zur Beherrschung eines gemeinsam verursachten Ausfalls der Frischdampf-Abblase-Regelventile bei unverfügbarer Hauptwärmesenke**

Im Zusammenhang mit einem Ereignis in einer ausländischen DWR-Anlage (siehe Abschnitt 3.1.1) hat die GRS weitergehende generische Untersuchungen bezüglich der Thematik gemeinsam verursachter Ausfälle (GVA) von Frischdampf-abblaseregelventilen (FD-ARV) durchgeführt. Dabei wurde auch die Überlagerung eines GVA der FD-ARV mit dem Ausfall der Hauptwärmesenke untersucht. Bei einem derartigen Ereignisablauf sind die FD-ARV zur auslegungsgemäßen Ereignisbeherrschung erforderlich. Ein entsprechender GVA liefert demnach einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zum Risiko für Gefährdungszustände in deutschen DWR. Durch Handmaßnahmen können mit den Frischdampfsicherheitsventilen (FD-SIV) Aufgaben der FD-ARV übernommen werden. Die hierfür notwendigen Maßnahmen sind in den meisten deutschen DWR-Anlagen Teil der Betriebsdokumentation, jedoch bestehen erhebliche Unterschiede in Umfang und Qualität der Beschreibungen.

Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/05) erstellt. Darin wird empfohlen, die entsprechenden Fahrweisen der FD-SIV bei einem GVA der FD-ARV bei unverfügbarer Hauptwärmesenke an geeigneter Stelle in der Betriebsdokumentation zu hinterlegen. Das Absenken des Frischdampfdrucks über die FD-SIV soll dabei möglichst als stufenweise Näherung eines 50-K/h- bzw. 100-K/h-Abfahrens erfolgen. Außerdem sollen die Bedeutung und die Handhabung der sonstigen bei dem Absenken des Frischdampfdruckes über die FD-SIV involvierten Einrichtungen, vor allem der FD-Absperrventile vor den Sicherheitsventilen sowie des Druckluftsystems, hinreichend präzise beschrieben werden.

### **3.1.5 Interne Kühlwasserleckage an einem Abgasturbolader an einem Notstromdieselmotor in einer DWR-Anlage**

Eine Woche nach einem Funktionstest mit 110 % Nennleistung ohne Auffälligkeiten kam es zu einer langsamen Füllstandsabsenkung im Wasserausgleichsbehälter eines Notstromdiesels einer DWR-Anlage. Knapp eine Woche später kam es zum Ansprechen der Meldung „Füllstand Wasserausgleichsbehälter TIEF“ und daraufhin zum Auffüllen des Ausgleichsbehälters. Ca. 2 ½ Wochen nach dem Funktionstest wurden zunächst Hinweise auf eine Kühlwasserleckage und 2 Tage später eine Wasseransammlung im Abgasrohr eines der beiden Abgasturbolader festgestellt. Mit einer Farbeindringprüfung wurden Rissanzeigen an einem der fünf Stege des Abgaseinströmgehäuses festgestellt. Ein Zusammenhang mit anderen Ereignissen an Notstromdieselmotoren der gleichen Anlage in den vergangenen Jahren konnte nicht ausgeschlossen werden. Aus sicherheitstechnischen Überlegungen wurde daraufhin mit dem betrieblichen Abfahren der Anlage begonnen.

Bei dem vorliegenden Ereignis kam es nach dem damaligen Kenntnisstand aufgrund eines für die in der Anlage vorhandenen Notstromdieselmotoren nicht ausreichend angepassten Wartungskonzeptes zu einem wiederholten Ausfall von Notstromdieselmotoren.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da es aufgrund eines für die in einer Anlage vorhandenen Notstromdieselmotoren nicht ausreichend angepassten Wartungskonzeptes zu einem wiederholten Ausfall von Notstromdieselmotoren kommen kann. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/06) erstellt. Darin werden Empfehlungen zur Sicherstellung der Integration der spezifischen Betriebsbedingungen in die Wartungskonzepte der einzelnen Anlagen ausgesprochen. Dabei sind Start-Stopp-Zyklen, konstruktive Besonderheiten und Vorbelastungen zu berücksichtigen.

### **3.1.6 Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung in einer SWR-Anlage**

Bei einer integralen Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters wurde eine erhöhte Leckrate festgestellt. Diese war durch einen teilweise geöffneten Druckausgleichskugelhahn der Schleuse des Sicherheitsbehälters bedingt. Ein Druckbegrenzungsventil des

Verriegelungsmechanismus war auf einen zu geringen Wert eingestellt. Hierdurch waren die Haltekräfte nicht mehr groß genug, um bei steigendem Druck im Sicherheitsbehälter die Gewichtskraft der Riegelstange auszugleichen. Dadurch senkte sich die Riegelstange ab und der Druckausgleichskugelhahn öffnete sich teilweise.

Bei den weitergehenden Untersuchungen wurde des Weiteren festgestellt, dass eine Druckbegrenzungsventil mit einem abweichenden Einstellbereich verwendet wurde. Außerdem wurde erkannt, dass zusätzlich ein Rückschlagventil des Verriegelungsmechanismus leichte Undichtigkeiten aufwies. Zudem wurden Abweichungen in der technischen Anlagendokumentation gefunden. Das Ersetzen durch funktionsgleiche Nachfolgekomponten war in den Stücklisten der Steuerschemata nicht dokumentiert worden.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da der Aufbau der Schleusen und die dabei verwendeten Komponenten ähnlich sein können. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/07) erstellt. Darin werden u. a. Überprüfungen und ggf. Maßnahmen bezüglich eines abdeckenden Prüfkonzepts und einer entsprechenden Dokumentation empfohlen, um die Selbsthaltung der Verriegelungsmechanik und somit die zuverlässige Funktion von Schleusen, die eine Sicherheitsfunktion ausüben, sicherzustellen.

## **3.2 Elektro- und Leittechnik**

### **3.2.1 Messumformer in einer DWR-Anlage entspricht nicht der Spezifikation**

Im Rahmen einer Begehung des Ringraums einer DWR-Anlage fiel auf, dass am Einbauplatz eines Messumformers (Druckdifferenz große Anlagenräume - Atmosphäre) ein Messumformer eingebaut war, der abweichend von der Spezifikation nicht von der Gerätevariante war, welche Messumformer kennzeichnet, die eignungsgeprüft für kerntechnische Anwendungen mit Kühlmittelverlust(KMV)-Anforderungen sind.

In der Bestellnummer des Herstellers werden der Messumformertyp und technische Daten verschlüsselt. Einige Variationen, in denen der Messumformer erhältlich ist, werden nicht durch die Bestellnummer verschlüsselt, sondern durch die zusätzlich bei der Bestellung anzugebende Gerätevariante. Die Bestellnummer ist bei unterschiedlichen Varianten mit ansonsten identischen technischen Daten gleich. Äußerlich ähneln sich die

beiden Gerätevarianten. Im vorliegenden Fall war aufgefallen, dass das Steckergehäuse aus Kunststoff ausgeführt war (normale Variante), obwohl üblicherweise ein Steckergehäuse aus Metall verbaut ist (eignungsgeprüfte Variante). Außerdem sind die eignungsgeprüften Messumformer mit einem Aufkleber versehen, der beim betroffenen Messumformer fehlte.

Der betroffene Messumformer war im Jahr 2000 nach einem Einzelfehler getauscht worden. Die Differenzdruckmessumformer wurden damals getrennt nach Bestellnummer eingelagert. Eignungsgeprüfte und normale Messumformer wurden daher gemeinsam gelagert. Bei der Ausgabe muss irrtümlich der falsche Messumformer ausgegeben worden sein. Die zum Zeitpunkt des Austausches gültigen Qualitätssicherungs Vorschriften der Anlage sahen einen Vergleich der getauschten Geräte auf Übereinstimmung der Erzeugnisnummern (= Bestellnummern) vor und einen Abgleich mit dem Messkennblatt, in dem allerdings lediglich die Erzeugnisnummer und der Messbereich verzeichnet waren. Nach Einbau erfolgte eine Funktionsprüfung. Da diese Prüfung nicht unter KMV-Bedingungen durchgeführt werden kann, bestand der Ersatzmessumformer die Prüfung.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da eine Verwechslung von Messumformern bei Verwendung gleicher Erzeugnis- oder Bestellnummern für ähnliche Produkte mit unterschiedlicher Qualifikation in Kombination mit Qualitätssicherungsmaßnahmen, die auf einen Abgleich der Bestellnummern aufbauen, auftreten kann. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2018/05) erstellt. Darin wurde empfohlen, an sicherheitstechnisch wichtiger Position eingesetzte Messumformer mit KMV-Anforderungen vor Ort zu prüfen, soweit dies nicht bereits im Rahmen der Umsetzung der Empfehlung einer früheren Weiterleitungsnachricht erfolgte. Es soll geprüft werden, ob eine vergleichbare mehrfache Verwendung von Identifikations-, Bestell- oder Erzeugnisnummern für unterschiedlich qualifizierte Komponenten auch bei anderen Komponentenherstellern vorkommt und gegebenenfalls wie bei den betroffenen Messumformern die technische Dokumentation überprüft und die Qualitätssicherungsmaßnahmen entsprechend angepasst werden. Außerdem sollen qualifizierte und nicht qualifizierte Komponenten getrennt gelagert und die Varianten durch dauerhafte optische Kennzeichnungen klar unterschieden werden.

### **3.2.2 Ausfälle von leittechnischen Baugruppen durch defekte Tantal-Elektrolytkondensatoren in einer DWR-Anlage und einem Forschungsreaktor**

In zwei Anlagen kam es durch defekte Tantal-Elektrolytkondensatoren zu systematischen Ausfällen von sicherheitsrelevanten Leittechnik-Baugruppen.

Im Rahmen von Auswertungen zum Alterungsmanagement der Elektro- und Leittechnikeinrichtungen in einer DWR-Anlage wurde festgestellt, dass bestimmte Baugruppen zur dynamischen ODER-Meldeverknüpfung eine erhöhte Ausfallrate aufwiesen und dass die Ausfälle überwiegend durch einen erhöhten Leckstrom an in den Baugruppen mit vertauschter Polung der Spannung verbauten Tantal-Elektrolytkondensatoren verursacht wurden. Anlass für diese Auswertungen war ein nicht dem Meldekonzept entsprechendes Meldebild der Meldeanlage (Ausfall der dynamischen Signalisierung von Sammelmeldungen auf der konventionellen Meldeanlage) bei wiederkehrender Prüfung des Sicherheitssystems und bei der Bedienung der Meldeanlage im Anlagenbetrieb.

Die Auswertung der deutschen Betriebserfahrung zeigt, dass es bereits ein Jahrzehnt zuvor in einer Anlage zu systematischen Ausfällen entsprechender Baugruppen aufgrund defekter Tantal-Elektrolytkondensatoren kam. Eine Fehlerursache für die Ausfälle der Tantal-Elektrolytkondensatoren wurde damals nicht eindeutig ermittelt. Eventuell auftretende Signale mit falscher Polung wurden als mögliche Ursache für die Ausfälle der Tantal-Elektrolytkondensatoren vermutet.

Bei zwei Ereignissen in einem Forschungsreaktor mit Ausfall der Schieflastrechenschaltung kam es durch die fehlerhafte Abschaltung zweier Versorgungsspannungen bei weiterhin anliegender Meldespannung zum verpolten Betrieb eines Tantal-Elektrolytkondensators auf dem jeweiligen Spannungskonstanthalter der Analogkopplerbaugruppen in einer Redundanz der Schieflastrechenschaltung. Bedingt durch diesen Fehler fielen zwei Analogkopplerbaugruppen dieser Redundanz der Schieflastrechenschaltung aus. In der Folge fiel eine weitere Analogkopplerbaugruppe dieser Redundanz der Schieflastrechenschaltung aus.

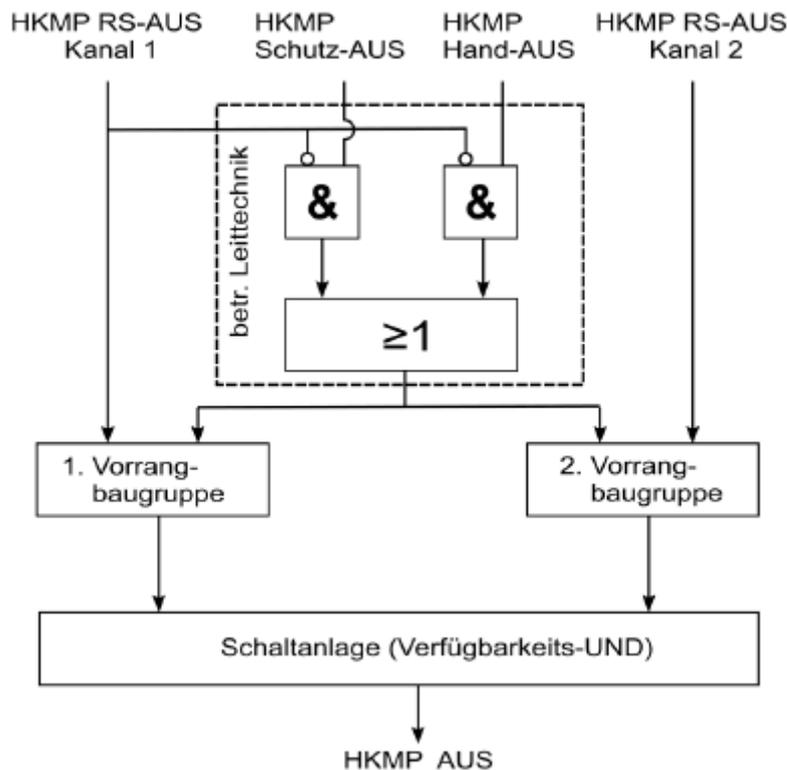
Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da dort ebenfalls entsprechende Baugruppen eingesetzt werden. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/02) erstellt. Da-

rin empfiehlt die GRS zu prüfen, ob beim Einsatz entsprechender Baugruppen in Gefahrenmeldeeinrichtungen gepolte Kondensatoren spezifikationsgemäß betrieben werden. Bei Einsatz für Klasse-S-Meldungen sollten diese einer Typprüfung gemäß KTA 3503 unterzogen werden. Auf der konventionellen Meldeanlage signalisierte Gefahrenmeldungen des Sicherheitssystems sollten im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung oder einer integralen Funktionsprüfung gemäß KTA 3506 überprüft werden. Zudem sollte u. a. die korrekte Funktion der dynamischen Signalisierung aller als Sammelmeldungen auf der konventionellen Meldeanlage auflaufenden Gefahrenmeldungen geprüft werden.

### **3.2.3 Blockierung der Abschaltung einer Hauptkühlmittelpumpe aufgrund einer Fehlfunktion einer Taktgeberbaugruppe im Reaktorschutzsystem in einer ausländischen DWR-Anlage**

Bei dem Ereignis in einer ausländischen DWR-Anlage kam es zu einer Fehlfunktion einer Taktgeberbaugruppe in einer Redundanten des dynamischen Logikteils des Reaktorschutzsystems. Auslegungsgemäß kam es zur Anregung verschiedener Reaktorschutzsignale und nachfolgend zur Auslösung der Reaktorschnellabschaltung, worauf die Anlage automatisch abgeschaltet wurde. Bei dem Ereignis fiel ein Taktgebersignal in einer Redundanten des zweifach redundant aufgebauten dynamischen Logikteils des Reaktorschutzsystems im Notspeisegebäude aufgrund einer Fehlfunktion der betroffenen Taktgeberbaugruppe kurzzeitig (mehrere Millisekunden) aus. In der Folge kam es zu einer Blockierung der automatischen Abschaltung einer Hauptkühlmittelpumpe (HKMP) über den Aggregateschutz sowie der Abschaltung über Handeingriffe von der Warte.

Ursache für den Ausfall der Taktgeberbaugruppe war ein Whisker an einem Transistor im Stromversorgungsteil der Baugruppe. Ursache für die Blockierung der Aggregate-schutzbefehle (HKMP Schutz-AUS) und der Handbefehle von der Warte (HKMP Hand-AUS) war ein Auslegungsfehler bei der Realisierung des Freigabesignals. Das Freigabesignal war einkanalig ausgeführt und auf diesem Kanal stand durch den Taktgeberausfall ein Reaktorschutzsignal an. Dadurch wurden die Abschaltbefehle aus dem Aggregateschutz und die Handeingriffe von der Warte blockiert. Die Abschaltung aus dem Reaktorschutz erfolgte nicht, da dort nur eine Reaktorschutzabschaltbefehl aus dem ersten Kanal, nicht aber aus dem zweiten Kanal der zweikanaligen Ausführung anstand (siehe Abb. 3.3).



**Abb. 3.3** Prinzipdarstellung der logischen Verknüpfungen zum Abschalten einer Hauptkühlmittelpumpe in der betroffenen Anlage mit Vorrangbaugruppen zur Prioritätsregelung der Abschaltbefehle

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da entsprechende Baugruppen im Reaktorschutzsystem deutscher Anlagen eingesetzt sind. Außerdem ist die Steuerungslogik zum Abschalten einer Hauptkühlmittelpumpe in einzelnen deutschen Anlagen ähnlich realisiert. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/08) erstellt. Darin wird empfohlen sicherzustellen, dass Hand- und Aggregateschutzbefehle zum Abschalten von Hauptkühlmittelpumpen nicht durch Einzelfehler in Einrichtungen zur Ausführung von Leittechnikfunktionen der Kategorie A blockiert werden. Außerdem ist eine Beschädigung von aktiven Sicherheitseinrichtungen infolge Unverfügbarkeit von erforderlichen zugeordneten Hilfs- und Versorgungseinrichtungen durch Taktgeberausfälle zu vermeiden.

### **3.3 Komponentenintegrität**

#### **3.3.1 Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen von Dampferzeugerheizrohren in einer DWR-Anlage**

Während der Revision 2017 einer DWR-Anlage wurden bei Wirbelstromprüfungen an den Dampferzeugerheizrohren (DE-HR) nahezu punktförmige, volumetrische Anzeigen an insgesamt 32 DE-HR gefunden. Alle Anzeigen befanden sich auf der primärseitigen Austrittsseite (auch „kalte Seite“ bzw. „cold leg“ genannt) eines Dampferzeugers. In der Revision 2017 wurden 13 Rohrpositionen mit bewertungspflichtigen Anzeigen sowie eine Rohrposition mit einer registrierpflichtigen Anzeige mittels Walzstopfen (Dichtstopfen) verschlossen. Zwei Rohre mit bewertungspflichtigen Anzeigen wurden nicht verschlossen, um Erkenntnisse über die Kinetik des zugrundeliegenden Schädigungsmechanismus zu erlangen.

In der Revision 2018 wurden erweiterte Prüfungen an den DE-HR durchgeführt. Demnach wurden zusätzlich zu den aus der Revision 2017 bekannten 32 DE-HR 23 weitere DE-HR mit punktförmigen Anzeigen gefunden, die sich auf alle 4 DE verteilen. Mit Ausnahme eines DE-HR, bei dem eine Zunahme der Wanddickenschwächung im Jahr 2018 um 17 % festgestellt wurde, war die Veränderung der bereits 2017 gefundenen punktförmigen Anzeigen gering. Bei beiden absichtlich nicht verschlossenen Rohren wurde keine Veränderung festgestellt. Im Unterschied zu 2017 wurden jedoch punktförmige Anzeigen auch auf der primärseitigen Eintrittsseite („heiße Seite“ bzw. „hot leg“) gefunden (2 Rohre in einem Dampferzeuger, 1 Rohr in einem anderen Dampferzeuger).

Darüber hinaus wurden erstmals linienartige, in Umfangsrichtung der DE-HR orientierte Anzeigen festgestellt, die auf den Schädigungsmechanismus „Spannungsrisskorrosion“ zurückgeführt werden. Die Umfangsanzeigen befinden sich ausschließlich auf der primärseitigen Eintrittsseite der betroffenen DE und nahe der Oberkante des Rohrbodens wo durch das Einwalzen der DE-HR hohe Zugspannungen vorliegen. Die DE-HR wurden vor dem Einbau mit Glasperlen gestrahlt, wodurch ansonsten im Oberflächenbereich Druckspannungen eingebracht werden, um dem Schädigungsmechanismus „Spannungsrisskorrosion“, für den Zugspannungen erforderlich sind, vorzubeugen.

Als primäre Schadensursachen werden von Anlagenhersteller ein großer Eintrag von Eisenoxid in die Dampferzeuger und dessen Ablagerung in den Strömungstotzonen so-

wie eine Verschlechterung der wasserchemischen Parameter angesehen, unter anderem durch Kleinstleckagen an verschiedenen Kammern des Kondensators. Ursächlich für den großen Eisenoxideintrag war eine Sauerstoffdosierung in den Heizdampf des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers. Durch Aufkonzentration der Verunreinigungen in den Ablagerungen konnten sich lokal stark saure Bedingungen ausbilden, unter denen der Werkstoff, aus dem die DE-HR gefertigt sind, korrosionsanfällig ist. Außerdem führen diese Bedingungen zu einer verstärkten Korrosion des aus einem ferritischen Werkstoff gefertigten Rohrbodens.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da sich auch bei Einhaltung der Vorgaben für die wasserchemischen Parameter des Speisewassers im Bereich von Ablagerungen auf dem Rohrboden der Dampferzeuger lokal Bedingungen einstellen können, unter denen die DE-HR anfällig für Korrosion sind, wenn ionale Verunreinigungen wie Sulfate oder Chloride in die DE eingetragen werden und durch Aufkonzentration zu stark sauren Bedingungen an den Oberflächen führen. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2018/06<sup>1</sup>) erstellt. Darin werden die gezielte Nachbewertung der Ergebnisse der letzten Prüfintervalle hinsichtlich Korrosion im Bereich des Rohrbodens und bei Hinweisen auf Korrosionsschäden erneute Prüfungen in der nächsten planmäßigen Revision empfohlen. Bei häufiger oder länger anhaltender ionaler Verunreinigung soll das Potential für korrosive Bedingungen an den DE-HR bewertet werden und ggf. soll die Prüfung der DE-HR vorgezogen werden. Wenn korrosive Bedingungen für die DE-HR nicht ausgeschlossen werden können, sollen Maßnahmen zur Verbesserung der lokalen Wasserchemie eingeleitet werden. Die Anforderungen an die Wasserchemie sollen überprüft und erforderlichenfalls angepasst werden.

### **3.4 Mensch-Technik-Organisation**

#### **3.4.1 Fehlende Seiten im Betriebshandbuch in einer DWR-Anlage**

Im Zusammenhang mit einem Änderungsantrag und weiteren, gezielten Kontrollen wurden in einer DWR-Anlage fehlende Seiten in der Papierversion des Betriebshandbuchs

---

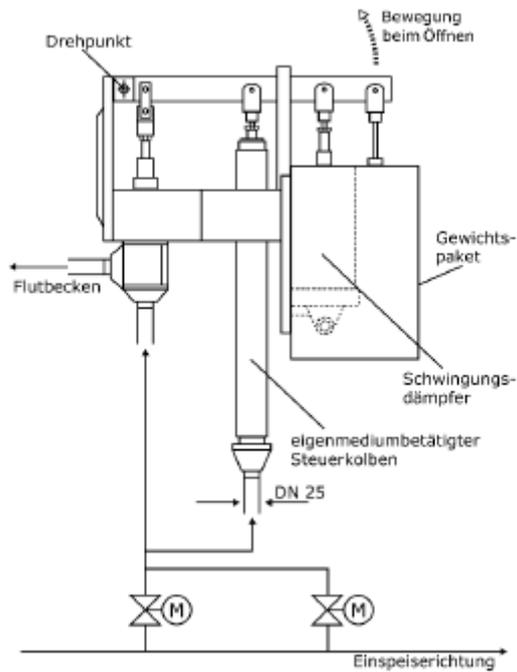
<sup>1</sup> Der vorliegende Abschnitt entspricht dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Erstellung der WLN 2018/06. Aufgrund anschließend bekannt gewordener weiterer Erkenntnisse wurde diese Weiterleitungsnachricht inzwischen ergänzt (WLN 2018/06a vom November 2019).

(BHB) gefunden. Die Fehler waren einige Jahre zuvor bei Änderungen aufgetreten. Als Ursache wurden durch die Betreiberin Mängel in der Qualitätssicherung innerhalb des BHB-Änderungsverfahrens in Verbindung mit Besonderheiten des verwendeten Textverarbeitungsprogramms identifiziert. Veränderte Längen von Textpassagen führten zu veränderten Seitenumbrüchen. Durch das Textprogramm wurden dann Zusatzseiten ohne fortlaufende Änderungen der Seitenzahl und ohne Formatkopf erzeugt. Diese Änderungen hätten händisch erzeugt werden müssen und auch das Inhaltsverzeichnis wäre entsprechend zu aktualisieren gewesen. Bei der Qualitätssicherung wurden im Verlauf nur inhaltliche Änderungen geprüft, nicht aber die Aktualisierungen der Seitenzahlen und des Inhaltsverzeichnisses.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da nicht auszuschließen ist, dass aufgrund von Besonderheiten der für Änderungen im BHB eingesetzten EDV-Systeme oder aufgrund von Mängeln in der Qualitätssicherung Inhalte des BHB unerkant verloren gehen oder es zu Unterschieden zwischen der elektronischen Version und der Papierversion kommt. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/03) erstellt. Darin empfiehlt die GRS eine Prüfung, wie bei Änderungen des BHB fehlerhafte oder fehlende Passagen vermieden werden können. Außerdem soll geprüft werden, wie dennoch auftretende Fehler im Rahmen der Qualitätssicherung sicher identifiziert werden können.

#### **3.4.2 Überströmventil öffnet nicht spezifikationsgemäß in einer DWR-Anlage**

Bei einer WKP eines Reaktorschutzsignals in einer DWR-Anlage öffnete ein Überströmventil des Zusatzboriersystems nur teilweise. Die WKP wurde abgebrochen und das System vor Ort untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass bewegliche Teile des Überströmventils durch ein in dessen Raumbereich aufgebautes Gerüst in ihrem Bewegungsspielraum eingeschränkt wurden (Abb. 3.4). Dadurch konnte nur ein Teil des von der Zusatzborierpumpe geförderten Massenstroms in den Flutbehälter zurückgeführt werden und ein Teilstrom wurde in den Primärkreis eingespeist.



**Abb. 3.4** Schematischer Aufbau des Überströmventils

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da es durch das Aufbauen eines Gerüsts im Bereich eines sicherheitstechnisch wichtigen Systems zu einer Beeinträchtigung dessen Systemfunktion kommen kann.

Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2019/09) erstellt. In der WLN 2019/09 empfiehlt die GRS bei der Planung von temporären Einrichtungen eine Beeinträchtigung sicherheitstechnisch wichtiger Komponenten zu prüfen, zu berücksichtigen und zu vermeiden. Außerdem sollen Betriebsanweisungen hinsichtlich der Regelungen entsprechend der vorherigen Empfehlungen geprüft und ggf. ergänzt werden.

## 4 Ergebnisse der Precursor-Analysen

### 4.1 Einleitung

Im Berichtszeitraum wurden die Precursor-Analysen für die im Jahr 2016 in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen meldepflichtigen Ereignisse abgeschlossen, deren Ergebnisse im Folgenden beschrieben werden. Als Precursor (englisch für „Vorläufer, Vorbote“) werden Ereignisse in Kernkraftwerken bezeichnet, die – durch eine Beeinträchtigung der Funktion sicherheitsrelevanter Einrichtungen, durch eine betriebliche Störung oder durch einen Störfall – die Wahrscheinlichkeit für einen Schaden am Reaktorkern vorübergehend deutlich erhöhen. Precursor-Analysen berechnen diese Wahrscheinlichkeit und liefern damit ein Maß für die sicherheitstechnische Bedeutung von meldepflichtigen Ereignissen.

Für die Precursor-Analysen sind im Rahmen des Vorhabens 4718R01311 folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Vorauswahl der Ereignisse  
(systematisches Screening meldepflichtiger Ereignisse hinsichtlich ihrer Precursor-Relevanz und die Auswahl von Ereignissen für eine quantitative Bewertung anhand von Kriterien),
- probabilistische Bewertung  
(quantitative Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung ausgewählter Ereignisse in Form einer Schwachstellenanalyse des DWR- bzw. SWR-typischen Sicherheitssystems),
- Expertenschätzungen zu potentiellen GVA  
(Durchführung der notwendigen Expertenbewertungen zur Ermittlung des Schädigungsgrades für Ereignisse mit potentiellen Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache (GVA)),
- Methodenweiterentwicklung  
(Weiterentwicklung der Methoden zur Precursor-Analyse für solche Ereignisse, die bisher nicht probabilistisch bewertet werden konnten).

Die Vorgehensweise und die Zielsetzung der Precursor-Analysen sind im Bericht „Precursor-Analysen, Teil III, Methoden zur probabilistischen Bewertung von betrieblichen Ereignissen“ /GRS 14/ dargestellt.

## **4.2 Vorauswahl von Ereignissen**

Im Jahr 2016 wurden insgesamt 68 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Insgesamt wurden daraus fünf Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung vorausgewählt. Alle fünf Ereignisse traten in Druckwasserreaktoranlagen auf.

In Tab. 4.1 sind die für die Weiterbehandlung vorausgewählten Ereignisse des Jahres 2016 und die Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen dieser Ereignisse zusammengestellt. Die Tabelle enthält die folgenden Angaben zum Ereignis:

- Ereignisnummer,
- Kraftwerkstyp,
- Kurzbeschreibung des Ereignisses,
- Informationen zum Betriebszustand bei Eintritt bzw. bei Erkennen des meldepflichtigen Ereignisses und zur Art der Erkennung,
- das aufgetretene oder postulierte auslösende Ereignis bzw. die Ereignisart,
- die Kategorie des Kriterienkatalogs entsprechend dem Methodenbericht /GRS 14/ Teil III, Anhang A, Tabelle A.1, nach der die Vorauswahl des Ereignisses erfolgte,
- die ermittelten bedingten Wahrscheinlichkeiten für Gefährdungszustände aufgrund des Ereignisses und dessen Einstufung.

**Tab. 4.1** Vorausgewählte Ereignisse des Jahres 2016 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen

ME-Nr.	Kraftwerks-typ	Betriebs-zustand	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Erken-nung <sup>1)</sup>	Auslösen-des Ereignis <sup>1)2)</sup>	Kate-gorie <sup>3)</sup>	Bedingte Wahrschein-lichkeit für Gefähr-dungszu-stände	Precursor/ kein Precursor
2016/014	DWR	Leistungs-betrieb	Pore in einer Schweißnaht am Motorkühlwasserkreis eines Notspeisenotstromdiesels	WKP	(Transien-ten)	1	$4,6 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor
2016/027	DWR	Nichtleis-tungsbe-trieb	Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors	WKP	(Notstrom-fall)	1	$6,3 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor
2016/033	DWR	Nachbe-trieb	Unverfügbarkeit eines Umluftventilators im Notspeisegebäude	WKP	(Notstrom-fall, EVA)	1, 2, 3	$2 \cdot 10^{-8}$	kein Precursor
2016/041	DWR	Leistungs-betrieb	Schutzabschaltung eines Notstromdiesel bei 110%-Lastlauf	WKP	(Notstrom-fall)	1	$3,2 \cdot 10^{-9}$	kein Precursor
2016/063	DWR	Leistungs-betrieb	Fehlerhafte Verbindungsbolzen an Halterungen von Lüftungskanälen im Notspeisegebäude	Schicht-rundgang	(EVA)	3	$6,8 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor

<sup>1)</sup> EVA steht für Einwirkungen von außen, WKP für wiederkehrende Prüfung,

<sup>2)</sup> Klammern () bedeuten, dass es sich um das maßgebliche postulierte auslösende Ereignis handelt, das auslösende Ereignis jedoch nicht eingetreten ist.

<sup>3)</sup> 0 Kein Einfluss auf die Häufigkeit von Schadenszuständen. 1 Funktionsstörung in Sicherheitssystem; Eintrittshäufigkeit des anfordernden auslösenden Ereignisses  $\geq$  ca.  $1E-02/a$ . 2 Funktionsstörung in Sicherheitssystem; Eintrittshäufigkeit des anfordernden auslösenden Ereignisses  $<$  ca.  $1E-02/a$ . 3 Funktionsstörung in Sicherheitssystem; Eintrittshäufigkeit des anfordernden auslösenden Ereignisses  $<$  ca.  $1E-05/a$  (mittlerer oder großer Kühlmittelverlust, ATWS, Einwirkungen von außen). 4 Auslösendes Ereignis mit Anforderung von Sicherheitssystemen. 5 Betriebsstörung (ohne Anforderung von Sicherheitssystemen). 6 Fälschliche Anforderung von Sicherheitssystemen. 7 Potentielles auslösendes Ereignis. 8 Potentielle Funktionsstörung. Die Kategorien sind im Methodenbericht /GRS 14/ Teil III, Anhang A, Tabelle A.1, weiter beschrieben.

### 4.3 Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen

Im Jahr 2016 ergab sich für keines der vorausgewählten und im Detail probabilistisch bewerteten Ereignisse eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $> 10^{-6}$ . Somit ist keines der Ereignisse als Precursor einzustufen.

Die in Tab. 4.1 ausgewiesenen bedingten Wahrscheinlichkeiten für Gefährdungszustände beruhen zum Teil auf generischen Daten. Unsicherheiten der bedingten Wahrscheinlichkeiten wurden nicht ermittelt, da für die generische Bewertung der Ereignisse Unsicherheiten nicht benötigt werden, sondern dafür lediglich die Punktwerte aus der Precursor-Analyse und eine ingenieurmäßige Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung herangezogen werden.

Im Folgenden werden die wesentlichen Sachverhalte aus der Precursor-Analyse kurz dargestellt.

#### **Ereignis 2016/014, DWR, Pore in einer Schweißnaht am Motorkühlwasserkreis eines Notspeisenotstromdiesels:**

Eine Pore in einer Schweißnaht am Motorkühlwasserkreis führte zu einem Verlust von Motorkühlwasser. Der Ausfall des betroffenen Notspeisenotstromdiesels in einem Anforderungsfall war nicht auszuschließen. Bei diesem Ereignis handelte es sich um einen Einzelfehler. Das Ereignis wurde für die Precursor-Bewertung ausgewählt, da der gemeldete Defekt länger als das 4-wöchentliche Prüfintervall ( $> 41$  Tage) vorlag. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $4,6 \cdot 10^{-7}$  ermittelt.

#### **Ereignis 2016/027, DWR, Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors:**

Der Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors führte zum Austritt von Kühlwasser, welches mit dem heißen Abgasystem in Kontakt kam und verdampfte. Der Notstromdiesel wurde umgehend per NOT-AUS vom Personal abgeschaltet. Ursache für den Abriss der Schraube war eine ungünstige Kombination aus einem zu geringem Anzugsmoment und der Verwendung einer nicht vorgabegerechten Unterlegscheibe. Durchgeführte Untersuchungen ergaben ei-

nen vergleichbaren Befund an einem weiteren Notstromdiesel, so dass hier ein potentieller Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache vorlag. Die Schädigungsgrade der beiden Dieselmotoren wurden mittels Expertenschätzung bestimmt. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $6,3 \cdot 10^{-7}$  ermittelt.

**Ereignis 2016/033, DWR, Unverfügbarkeit eines Umluftventilators im Notspeisegebäude:**

Die Anlage befand sich im Nachbetrieb. Bei einer wiederkehrenden Prüfung an einem Notspeisenotstromdiesel wurde festgestellt, dass der zugehörige Umluftventilator für den Notspeisedieselbetrieb nicht in Betrieb war. Die Ursache für die Unverfügbarkeit lag im Ausfall von zwei Sicherungen, welcher vom Betreiber als Einzelfehler bewertet wurde. Das Ereignis wurde für die Precursor-Bewertung ausgewählt, weil die Unverfügbarkeit des Umluftventilators über einen längeren Zeitraum (54 Tage) vorlag. Der Betrieb der Notspeisenotstromdiesel und der zugehörigen Umluftventilatoren ist erforderlich bei Notstromfällen mit Ausfall der D1-Notstromdiesel und bei Einwirkungen von außen, welche zum Ausfall der Eigenbedarfsversorgung und der D1-Notstromdiesel führen. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Brennstabschadenzustände von ca.  $2 \cdot 10^{-8}$  ermittelt.

**Ereignis 2016/041, DWR, Schutzabschaltung eines Notstromdiesels bei 110%-Lastlauf:**

Bei der jährlichen wiederkehrenden Prüfung des Notstromdiesels in der Laststufe 110 % kam es zur Schutzabschaltung durch eine zu hohe Kühlwassertemperatur. Dafür wurden zwei Ursachen identifiziert. Zum einen war der Kühlwasser-Durchfluss durch den Ladeluftkühler-Motorkühler bei dem auffällig gewordenen Notstromdiesel geringer als an den anderen Notstromdieseln, lag jedoch noch innerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zum anderen war der Anteil des Frostschutzmittels im Kühlwasser relativ hoch, lag jedoch ebenfalls noch innerhalb des spezifizierten Wertebereichs. Durchgeführte Untersuchungen ergaben vergleichbare Befunde an einem weiteren Notstromdiesel, so dass hier ein potentieller Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache vorlag. Dieser konnte sich jedoch nur bei der Laststufe 110 % auswirken. Die Schädigungsgrade der beiden Dieselmotoren wurden mittels Expertenschätzung bestimmt. Zusätzlich wurde mittels Expertenschätzung auch die Wahrscheinlichkeit dafür abgeschätzt, dass bei einem nicht näher spezifizierten Anforderungsfall ein Dieselbetrieb mit 110%-Überlast erforderlich

ist. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von ca.  $3,2 \cdot 10^{-9}$  ermittelt.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in einer Weiterleitungsnachricht (WLN 2018/04, vgl. auch /GRS 18a/) dargestellt.

#### **Ereignis 2016/063, DWR, Fehlerhafte Verbindungsbolzen an Halterungen von Lüftungskanälen im Notspeisegebäude:**

Bei diesem Ereignis wurden im Notspeisegebäude abgebrochene und beschädigte Gewindebolzen an Halterungen von Lüftungskanälen gemeldet. Aufgrund der Befunde war zunächst nicht auszuschließen, dass sich bei Belastungen der Gebäudedecke, wie sie bei einem Flugzeugabsturz oder bei einem Erdbeben auftreten können, die Halterungen der Lüftungskanäle von der Wand lösen und darunter befindliche Sicherheitseinrichtungen (Elektronikschränke des Reaktorschutzsystems) in ihrer Funktion beeinträchtigen. Ferner könnte die sicherheitstechnisch wichtige Lüftung der betroffenen Räume durch Versagen der Halterungen von Lüftungskanälen beeinträchtigt werden. Die Schäden resultierten aus den Kräfteinwirkungen von an der Unterkante des Dachs montierten Winkelblechen auf die Halterungen. Bei der Montage der Winkelbleche im Rahmen der Anlagenerrichtung wurde die notwendige Dehnungsfuge zwischen den Gebäudewänden und der Gebäudedecke nicht berücksichtigt. Für dieses Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $6,8 \cdot 10^{-7}$  ermittelt.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in einer Weiterleitungsnachricht (WLN 2017/01, vgl. auch /GRS 18/) dargestellt.

#### **4.4 Probabilistisch nicht bewertete Ereignisse**

Die vorausgewählten Ereignisse des Jahres 2016 konnten alle probabilistisch bewertet werden.

#### **4.5 Untersuchungen hinsichtlich der Weiterentwicklung von Methoden für die Precursor-Analyse**

Unter der Weiterentwicklung von Methoden wird auch die Anpassung von vorhandenen Methoden, Änderungen und Ergänzungen in den uns zur Verfügung stehenden PSA-

Modellen sowie am Analyseumfang von PSA verstanden. Bei der Precursor-Bewertung der Ereignisse des Jahres 2016 ergab sich bei den folgenden Ereignissen ein Bedarf für die Weiterentwicklung von Methoden bzw. zur Erweiterung der PSA.

**Ereignis 2016/027, DWR, Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors:**

Dieses Ereignis trat in der Anlagenrevision auf. Da sich die betroffenen Notstromdiesel während des vorangegangenen  $\frac{3}{4}$ -Loop-Betriebes in Anforderungsbereitschaft befanden, waren in der Precursor-Analyse auch diese Betriebsphasen zu betrachten. Für die Bewertung des Ereignisses im Nichtleistungsbetrieb wurde die Untersuchung der GRS zur sicherheitstechnischen Bedeutung von Zuständen bei Nichtleistungsbetrieb eines DWR /GRS 03/ herangezogen. In dieser PSA wurde von einer Mindestverfügbarkeit der Sicherheitssysteme gemäß Betriebshandbuch ausgegangen (Redundanzen 1 – 3, drei Nachkühlstränge inklusive eines Notnachkühlstranges). Nach Auskunft des Betreibers waren jedoch im vorangegangenen  $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb alle 4 Redundanzen verfügbar, so dass eine Erweiterung des PSA-Modells der GRS für den Nichtleistungsbetrieb erforderlich wurde. Dafür wurde die vierte Redundanz in das vorhandene PSA-Modell eingepflegt.

**Ereignis 2016/041, DWR, Schutzabschaltung eines Notstromdiesels bei 110%-Lastlauf:**

Die bei diesem Ereignis beobachteten Beeinträchtigungen an 2 Notstromdieseln traten nur beim 110%-Lastlauf auf. Hinsichtlich der zu unterstellenden Belastung ist entsprechend KTA 3702 /KTA 14/ zu unterscheiden zwischen der Nennleistung  $P_{Nenn}$ , welche die Grundlage der Auslegung sowie der entsprechenden Prüfungen bildet, der für eine Stunde zu erbringenden Überleistung von 110 %  $P_{Nenn}$  sowie der tatsächlich im Anforderungsfall zu erbringenden Leistung. Letztere beträgt im Falle der betroffenen Anlage 90 % der Nennleistung  $P_{Nenn}$ . Für die Precursor-Bewertung waren daher über den bisherigen Umfang der PSA hinausgehende Betrachtungen erforderlich. Neben den Schädigungsgraden für die betroffenen Notstromdiesel wurde mittels Expertenschätzung auch die Wahrscheinlichkeit dafür abgeschätzt, dass bei einem nicht näher spezifizierten Anforderungsfall ein Dieselbetrieb mit 110%-Überlast erforderlich ist. Diese Wahrscheinlichkeit floss in die für die beiden betroffenen Notstromdiesel ermittelten Schädigungsgrade ein.

## 4.6 Zusammenfassung

Im Jahr 2016 wurden insgesamt 68 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Insgesamt wurden daraus fünf Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung ausgewählt. Alle fünf Ereignisse traten in Druckwasserreaktoranlagen auf.

### **Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen:**

Von der GRS werden alle Ereignisse, für welche die bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände aufgrund des Ereignisses  $\geq 10^{-6}$  beträgt, als Precursor eingestuft. Für keines der vorausgewählten und im Detail probabilistisch bewerteten Ereignisse ergab sich eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $> 10^{-6}$ . Somit ist keines der quantitativ bewerteten Ereignisse als Precursor einzustufen.

### **Untersuchungen hinsichtlich der Weiterentwicklung von Methoden:**

Die vorausgewählten Ereignisse des Jahres 2016 konnten alle probabilistisch bewertet werden. Bei zwei Ereignissen ergab sich ein Bedarf hinsichtlich der Weiterentwicklung von Methoden bzw. zur Ergänzung des vorhandenen PSA-Modells.

Für die Bewertung des Ereignisses 2016/027, Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors, musste die vierte Redundanz im PSA-Modell der GRS für den Nichtleistungsbetrieb ergänzt werden.

Für die Bewertung des Ereignisses 2016/041, Schutzabschaltung eines Notstromdiesels bei 110-%-Lastlauf waren über den bisherigen Umfang der PSA hinausgehende Betrachtungen erforderlich, da die bei diesem Ereignis beobachteten Beeinträchtigungen an zwei Notstromdieseln nur beim 110-%-Lastlauf auftraten. Neben den Schädigungsgraden für die betroffenen Notstromdiesel wurde mittels Expertenschätzung auch die Wahrscheinlichkeit dafür abgeschätzt, dass bei einem nicht näher spezifizierten Anforderungsfall ein Dieselbetrieb mit 110-% Überlast erforderlich ist.

## **5 Ergebnisse der generischen Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten**

Die Ergebnisse der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung können auch als Grundlage für die Erstellung von Weiterleitungsnachrichten (WLN) in einem anderen Vorhaben dienen (vgl. Kapitel 3). Die Betreiber der Kernkraftwerke erstellen nach Erhalt einer WLN eine Stellungnahme für die jeweils zuständige atomrechtliche Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde des Landes hinsichtlich der Umsetzung der Empfehlungen aus der betroffenen WLN. Diese werden von den Ländern geprüft. Ob und wie die in den WLN gegebenen Empfehlungen in den Kernkraftwerken anlagenspezifisch umgesetzt wurden, wird der GRS im Auftrag des BMU durch die Länder in Form von Erfahrungsrückflüssen mitgeteilt. Diese werden von der GRS im Rahmen des Vorhabens 4718R01311 generisch ausgewertet. Dabei ist von Interesse, welche verschiedenen Lösungsansätze für die Umsetzung der Empfehlungen gewählt wurden und ob sich sicherheitstechnisch wichtige Erkenntnisse aus den Untersuchungen in den einzelnen Anlagen ergaben. Dies wird dem Ziel durchgeführt, anlagenübergreifende sicherheitstechnisch wichtige Erkenntnisse abzuleiten sowie die Kompetenz und Wissensbasis der GRS zu erweitern, z. B. hinsichtlich konkreter Umstände und Maßnahmen in einzelnen Anlagen. Die GRS wertet den von den Aufsichtsbehörden der Länder übermittelten Erfahrungsrückfluss in einem anderen Vorhaben im Auftrag des BMU auch anlagenspezifisch aus. Ziel der Auswertung ist es, dem BMU und den Aufsichtsbehörden der Länder einen Überblick über weitere Umsetzungsmöglichkeiten der Empfehlungen der WLN aus den verschiedenen Anlagen zu geben bzw. zusätzliche Erkenntnisse aus den Untersuchungen in den einzelnen Anlagen zu gewinnen um ggf. ergänzende Maßnahmen bei einzelnen Anlagen veranlassen zu können. Neben den fachlichen Erkenntnissen dient der Erfahrungsrückfluss dazu, die Qualität der WLN zu verbessern. Die anlagenspezifischen sicherheitstechnisch wichtigen Erkenntnisse aus den Untersuchungen werden erfasst. Die Auswertung der WLN-Rückflüsse erschließt somit eine weitere Quelle für die umfassende Auswertung von Betriebserfahrung.

Im Berichtszeitraum wurde der Erfahrungsrückfluss zu den Weiterleitungsnachrichten des Jahres 2017 ausgewertet (siehe /GRS 18/ und /GRS 18a/ bezüglich der diesen Weiterleitungsnachrichten zugrundeliegenden Ergebnissen der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung). Die Auswertung zeigte, dass die WLN-Empfehlungen im Wesentlichen und im Sinne der Intention der GRS hinter der jeweiligen Empfehlung umge-

setzt wurden. Aus der Bearbeitung der Rückflüsse ergaben sich übergeordnete Erkenntnisse, die sich auf die technischen Ausführungen der Anlagen, betriebsorganisatorische Aspekte oder auf die Erstellung der Weiterleitungsnachrichten beziehen.

## **6 Ergebnisse zusätzlicher weiterführender Arbeiten**

Über die in Abschnitt 3 dargestellten vertieft untersuchten Themen hinaus wurden noch zusätzliche weiterführende Arbeiten im Zusammenhang mit der Auswertung von Betriebserfahrung durchgeführt, die der Ermittlung und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik dienen und deren Ergebnisse nachfolgend zusammengefasst werden.

### **6.1 Schadens- und Versagensmechanismen von Brandschutzklappen**

Die im Folgenden zusammengefassten Ergebnisse und die zugrundeliegenden Arbeiten wurden im zugehörigen technischen Bericht /FOR 19/ dokumentiert.

Von CORRECTIV wurde am 12. September 2018 ein Beitrag /JOE 18/ zum Brandschutz in Kernkraftwerken veröffentlicht. Darin ging es im Wesentlichen um den Zustand der Brandschutzklappen (BSK), u. a. in deutschen Kernkraftwerken. Es wurde dargestellt, dass ein großer Teil der Brandschutzklappen in deutschen Kernkraftwerken mehrere Jahrzehnte alt sei. Laut Darstellung in dem Beitrag und der darin zitierten Personen resultierten aus dem Alter der Brandschutzklappen und dem damaligen Stand der Technik Risiken dahingehend, dass die BSK im Brandfall nicht zuverlässig schliessen und somit eine Brandübertragung in Nachbarräume nicht auszuschließen sei.

Im Medienbericht /JOE 18/ werden Mängel an BSK angeführt, die teilweise nicht innerhalb von wiederkehrenden Prüfungen erkannt werden könnten. Aus diesem Grund hat die GRS im Rahmen der vertieften Auswertung generischer Aspekte der Betriebserfahrung die im Medienbericht konkret formulierten Mängel und Versagensmöglichkeiten bewertet.

Neben der Auswertung meldepflichtige Ereignisse an BSK verfügt die GRS auch über eine zurückliegende Auswertung /FOR 14/ von wiederkehrenden Prüfungen, in der ebenfalls Mängel unterhalb der Meldeschwelle dokumentiert sind. Auch der Umfang der wiederkehrenden Prüfungen an BSK wurde zuletzt von der GRS bewertet.

Die im Medienbericht /JOE 18/ dargestellten Mängel an BSK und potenziellen Ausfallmechanismen von BSK konnten weder in Bezug auf die Betriebserfahrung noch auf Grund der Recherchen in diesem Bericht bestätigt werden. Insofern ergab sich aus Sicht der GRS kein Anlass, die Schutzfunktion von BSK oder deren Prüfpraxis in deutschen Kernkraftwerken (vgl. /KTA 15/) in Frage zu stellen.



## **7 Zusammenfassung**

Die kontinuierliche Auswertung der Betriebserfahrung im Rahmen des ingenieurtechnischen Screenings führte zur Erkennung verschiedener sicherheitsrelevanter Aspekte, bezüglich derer ereignis- bzw. anlagenübergreifende vertiefte Untersuchungen durchgeführt wurden. Thematische Schwerpunkte waren insbesondere Anlagen- und Systemtechnik, E- und Leittechnik sowie Komponentenintegrität. In vielen Fällen waren aber auch Aspekte weiterer Fachgebiete betroffen, zudem waren in verschiedenen Fällen menschliche oder organisatorische Einflussfaktoren mitwirkend. Bei Bedarf wurden basierend auf den hier gewonnenen Erkenntnissen entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung und der Übertragbarkeit auf andere Anlagen von der GRS im Rahmen eines anderen Vorhabens Weiterleitungsnachrichten mit diesbezüglichen Empfehlungen erstellt.

Zu einzelnen Themen, die sich im Zusammenhang mit der Auswertung von Betriebserfahrung ergaben, wurden zusätzliche weiterführende Arbeiten durchgeführt, die der Ermittlung und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik dienen. Bei einer Betrachtung von Schadens- und Versagensmechanismen von Brandschutzklappen konnten die in einem Medienbericht dargestellten Mängel an Brandschutzklappen und potenziellen Ausfallmechanismen von Brandschutzklappen weder in Bezug auf die Betriebserfahrung noch auf Grund der durchgeführten Recherchen bestätigt werden.

Durch die Auswertungen und Untersuchungen nationaler und internationaler Vorkommnisse sowie durch die zugehörige GRS-interne Dokumentation und Datenbankerfassung wurde insgesamt die Wissensbasis der GRS zu sicherheitstechnisch relevanten Erkenntnissen aus der Betriebserfahrung erweitert.



## Literaturverzeichnis

- /FOR 14/ B. Forell, S. Einarsson, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Ergänzung und Aktualisierung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Leichtwasserreaktoren, GRS-A-3719, Mai 2014
- /FOR 19/ B. Forell, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Schadens- und Versagensmechanismen von Brandschutzklappen, Technischer Bericht im Rahmen des Vorhabens 4718R01311, Juni 2019
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR, GRS-A-3114, Mai 2003
- /GRS 14/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Methoden zur probabilistischen Bewertung von betrieblichen Ereignissen (Precursor-Analysen), GRS-A-3686 (Teil III), Januar 2014
- /GRS 18/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren, Jahresbericht 2016/2017 (Juni 2016 – Mai 2017), Februar 2018, GRS-487
- /GRS 18a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren, Jahresbericht 2016/2017 (Juni 2017 – September 2018), September 2018, GRS-530
- /IAEA 06/ IAEA Safety Guide NS-G-2.11 „System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations“, Juli 2009
- /JOE 18/ A. Joeres, B. Schlange, Brandgefährlich: So marode ist der Brandschutz in Europas Atomkraftwerken, CORRECTIV – Recherchen für die Gesellschaft gemeinnützige GmbH, Essen, September 2018
- /KTA 15/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA), Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 2101, Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 1-3, Fassung 2015-11



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Informationsfluss bei der Auswertung nationaler und internationaler Betriebserfahrung .....	6
Abb. 2.2	Überblick zur Auswertung von Betriebserfahrung (die grau hinterlegten Arbeiten sind nicht Gegenstand des Vorhabens 4718R01311).....	9
Abb. 3.1	Übersicht über die beteiligten Einrichtungen .....	12
Abb. 3.2	Schematischer Schnitt durch das Klappenblatt .....	15
Abb. 3.3	Prinzipdarstellung der logischen Verknüpfungen zum Abschalten einer Hauptkühlmittelpumpe in der betroffenen Anlage mit Vorrangbaugruppen zur Prioritätsregelung der Abschaltbefehle .....	22
Abb. 3.4	Schematischer Aufbau des Überströmventils.....	26



## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 4.1	Vorausgewählte Ereignisse des Jahres 2016 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen .....	29
----------	--	----

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

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**  
Telefon +49 221 2068-0  
Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14  
**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](http://www.grs.de)