

**Vertiefte Untersuchungen  
von Betriebserfahrungen  
aus Kernreaktoren**

**Jahresbericht 2021 – 2022  
(April 2021 – März 2022)**

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

**Jahresbericht 2021 - 2022  
(April 2021– März 2022)**

Zusammengestellt von:

Moritz Leberecht  
Vasily Fedorov

April 2022

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4721R01311 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMUV übereinstimmen.

## **Deskriptoren**

Betriebserfahrung, Kernkraftwerke, meldepflichtige Ereignisse, Übertragbarkeit

## **Kurzfassung**

Die kontinuierliche Auswertung von Ereignissen in den Kernkraftwerken des In- und Auslands im Auftrag des BMUV 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 BMUV.

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.



## **Abstract**

A central task of GRS is the continuous evaluation of events in nuclear power plants in Germany and abroad on behalf of BMUV. 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 BMUV.

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 works to determine and advance the state of the art in science and technology related to the evaluation of operating experience are summarized.



# 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	Konsistente Behandlung von Leckagen an Primärkreismessleitungen im BHB .....	11
3.1.2	Montageabweichung bei Anschlagbolzen der Notstand-Notstromdiesel ..	12
3.2	Elektro- und Leittechnik .....	14
3.2.1	Wiederholtes Versagen von Unterspannungsauslösern.....	14
3.2.2	Auffälligkeiten an programmierbaren Multifunktionsschutzgeräten.....	16
3.2.3	Baugruppenfehler in einer Brandmeldezentrale .....	19
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Precursor-Analysen .....</b>	<b>21</b>
4.1	Einleitung.....	21
4.2	Vorauswahl von Ereignissen.....	22
4.3	Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen.....	26
4.4	Probabilistisch nicht bewertete Ereignisse .....	31
4.5	Untersuchungen hinsichtlich der Weiterentwicklung von Methoden für die Precursor-Analyse.....	31
4.6	Zusammenfassung .....	32

<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	Vermeidung von Schäden an Zwischenkühlern .....	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 4721R01311 „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, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) 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 sich in Betrieb, im Nachbetrieb oder in Stilllegung 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 April 2021 bis März 2022 wichtige Ergebnisse der kontinuierlichen Auswertung von Betriebserfahrung (Kapitel 3),

der Precursor-Analysen (Kapitel 1), der generischen Auswertung von Rückflüssen zu Weiterleitungsnachrichten (Kapitel 1) sowie zusätzlicher weiterführender Arbeiten (Kapitel 1) vorgestellt.

## 2 Vorgehensweise zur Auswertung von Betriebserfahrung

### 2.1 Hintergrund

Die Auswertung von Betriebserfahrung von Kernkraftwerken ist ein international anerkanntes und durchgeführtes 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 hinsichtlich des Erfahrungsrückflusses aus der Auswertung von Ereignissen bietet der Specific Safety Guide SSG-50 der IAEA „Operating Experience Feedback for Nuclear Installations“ /IAEA 18/, 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 18/ folgende Schwerpunkte durch die Aufsichtsbehörden und beteiligte Organisationen abgedeckt werden:

- Sichtung der gemeldeten nationalen und internationalen Ereignisse mit sicherheitstechnischer Bedeutung bzw. der Precursor-Ereignisse (Ereignisse, bei denen die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Kernschaden erhöht war); Untersuchung und Bewertung dieser Ereignisse hinsichtlich anlagenübergreifender Relevanz und Priorität der weiteren Analyse,
- unabhängige Untersuchungen und Detailanalysen zu sicherheitsrelevanten nationalen und internationalen Ereignissen und die Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen aufgrund der erarbeiteten Untersuchungsergebnisse,
- systematische Verfolgung sicherheitsrelevanter Ereignismerkmale,
- Verfolgung der Durchführung von Verbesserungsmaßnahmen,
- kontinuierliche Aktualisierung der Programme zur Verfolgung und Verbesserung der Auswertung von Betriebserfahrung zur Erhöhung der kerntechnischen Sicherheit,
- Verbreitung und Austausch von Ergebnissen, auch unter Nutzung internationaler Systeme sowie

- Bereitstellung eines Systems zur Archivierung, Abrufung und Dokumentation der zur Auswertung von Betriebserfahrung zugehörigen Daten.

Diese in /IAEA 18/ 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 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 BMUV 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. Zunächst erfolgt ein wöchentliches Erstscreaming im Rahmen einer interdisziplinären Arbeitsgruppe, die die zuständigen Fachgebiete festlegt und bei sofortigem Handlungsbedarf eine priorisierte Bearbeitung einleitet. Für jedes Ereignis erfolgt dann durch einen oder mehrere Bearbeiter der zuständigen Fachgebiete 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 bei diesen Untersuchungen ist 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 und nehmen an den regelmäßigen Vorkommnisbesprechungen der interdisziplinären Arbeitsgruppe teil.

Jedes untersuchte Vorkommnis (meldepflichtiges Ereignis oder sonstige Betriebserfahrung) wird GRS-intern mit sicherheitsrelevanten Merkmalen und einem Kurzbericht 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. Die Auswertung internationaler Ereignisse wird im Rahmen eines anderen Vorhabens ebenfalls durch monatliche Berichte dokumentiert.

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 BMUV, in anderen Vorhaben.

Tatsächlich oder potenziell 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:

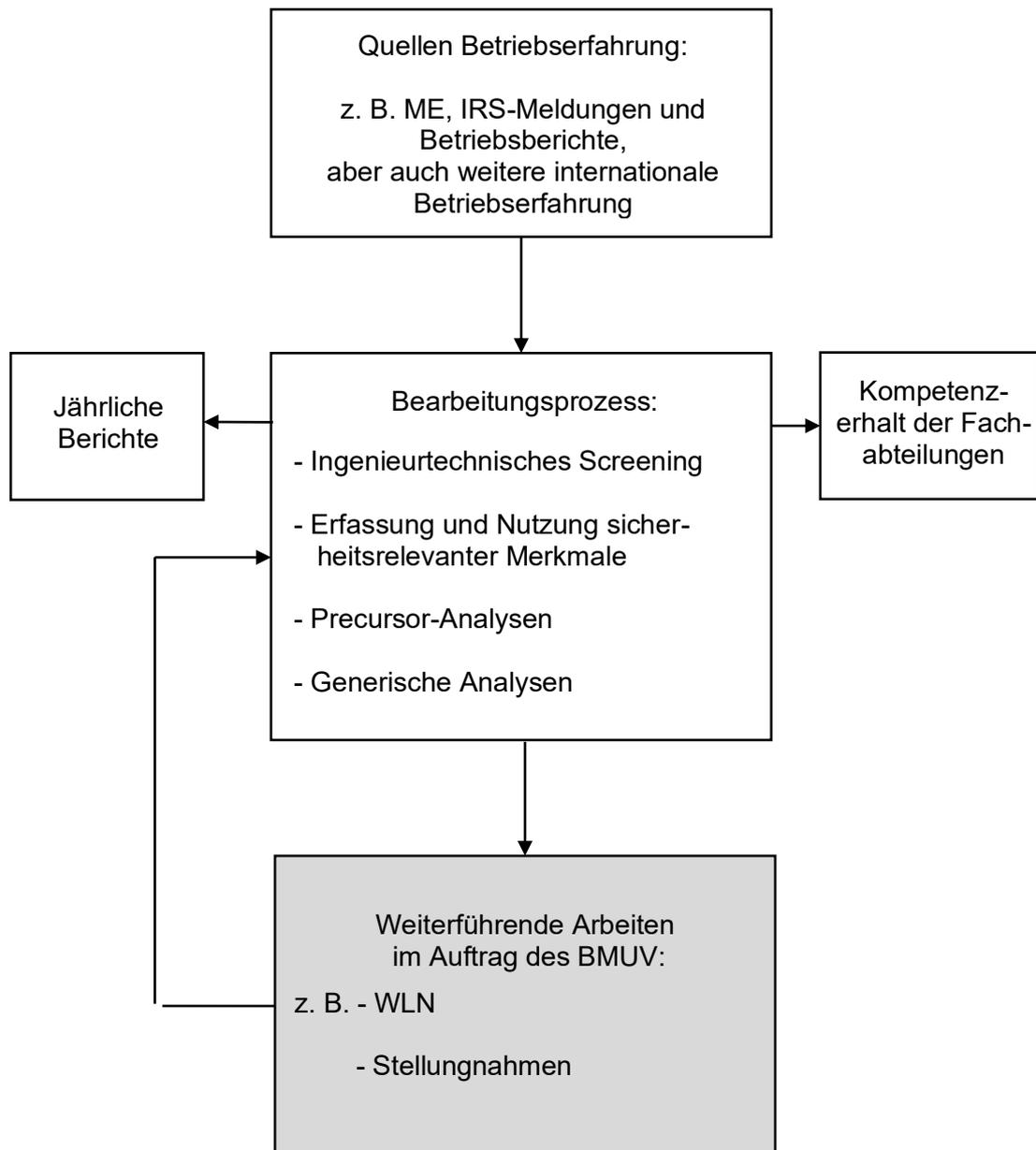
- Nichterfüllung von Auslegungsmerkmalen für einzelne Sicherheitsebenen,
- nicht auslegungs- bzw. erfahrungsgemäßes System- oder Komponentenverhalten,
- bedeutsame Erhöhung der Wahrscheinlichkeit störfallauslösender Ereignisse oder der Wahrscheinlichkeit für Schadenszustände des Sicherheitssystems,
- 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 1).

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 1) 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 4721R01311, sondern werden im Vorhaben 4721R01340 bearbeitet)



### **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 Konsistente Behandlung von Leckagen an Primärkreismessleitungen im BHB**

Im Rahmen einer Überprüfung der Betriebshandbücher (BHB) von Anlagen mit Druckwasserreaktoren bezüglich der Behandlung von Primärkreis-Messleitungsleckagen im Ringraum hat die GRS Optimierungsbedarf in den Betriebshandbüchern festgestellt. Der verfahrenstechnische Ablauf einer Primärkühlmittelleckage durch eine Messleitung im Ringraum unterscheidet sich je nach betroffener Messleitung und auch je nach Anlage, da sich der Aufbau des Reaktorschutzes bezüglich der relevanten Signale teilweise unterscheidet. Nach den automatisch ablaufenden Maßnahmen ist der Leckageort durch die Betriebsmannschaft zu identifizieren und, sofern möglich, unter Verwendung der Handarmaturen in den Messleitungen innerhalb des Sicherheitsbehälters zu isolieren. Anschließend ist eine Reparatur einzuleiten und gegebenenfalls der Anlagenzustand wieder zu normalisieren. Dazu enthalten die Betriebshandbücher in der Regel eine ereignisorientierte und eine schutzzielorientierte Vorgehensweise.

Die Störfallbehandlung erfolgt zunächst über den Störungs- und Störfallentscheidungsbaum. Über diesen wird anhand verschiedener angesprochener Meldungen und Reaktorschutz(RS)-Signale auf ein bestimmtes Kapitel des BHBs verwiesen. Bei Messleitungsleckagen der primärkühlmittelführenden Messleitungen handelt es sich dabei um ein Kapitel, welches alle primärseitigen Lecks und Leckagen außerhalb des Sicherheitsbehälters abdeckt.

Bei der Nutzung der Entscheidungsdiagramme innerhalb des Kapitels bestand Optimierungspotential bei Messleitungsleckagen an der Füllstandsmessung der Hauptkühlmittelleitungen.

Eine zusätzliche Vorgabe, die zu einem Abfahren der Anlage führt, ergibt sich aus den im BHB hinterlegten zulässigen Tagesgrenzwerten für Aktivitätsabgaben. Sobald eine Überschreitung dieser Grenzwerte zu besorgen ist, sind sofortige Gegenmaßnahmen einzuleiten. Im Falle einer unverfügbaren Handabspernung können diese nach Ansicht der GRS nur aus einem Abfahren der Anlage in einen kalten, unterkritischen Zustand zur Beendigung der Abgabe durch das Unterschreiten der Siedebedingungen bestehen.

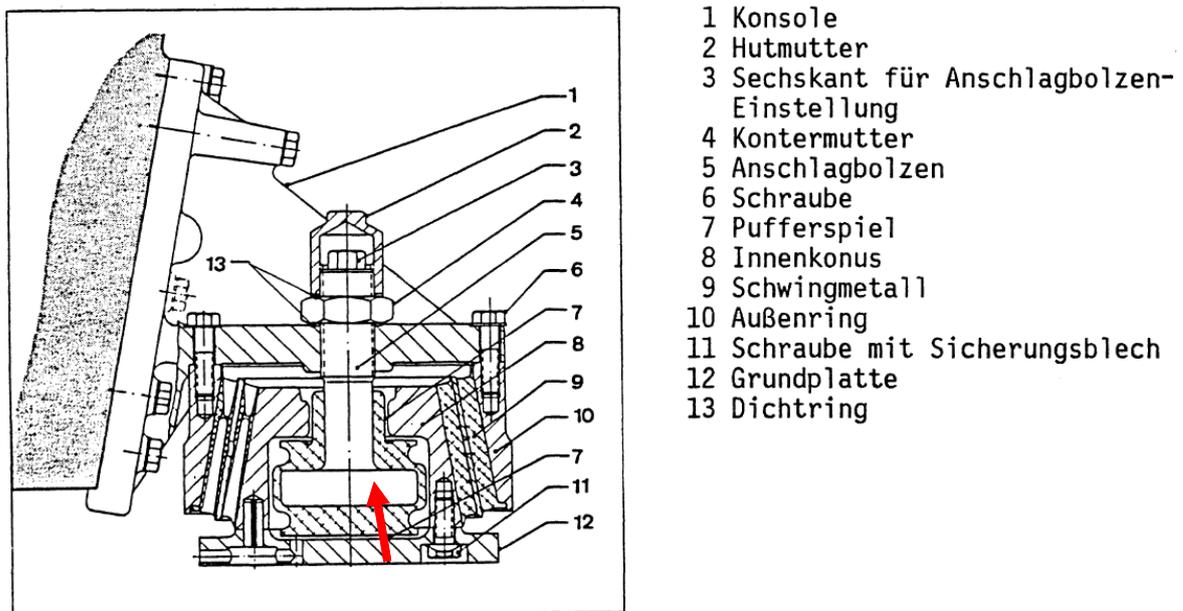
Diese Erkenntnisse sind für alle noch laufenden deutschen Leistungskernkraftwerken relevant, deren Betriebshandbüchern bezüglich der aufgeführten Punkte ein Optimierungsbedarf haben. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2021/03) erstellt. Darin empfiehlt die GRS die bestehende Entscheidungsdiagramme der ereignisorientierten Kapitel der Betriebshandbücher, die Leckagen außerhalb des Sicherheitsbehälters behandeln, daraufhin zu überprüfen, ob diese auch bei Leckagen an den Füllstandsmessungen der Hauptkühlmittelleitungen im Ringraum, bei denen es nicht zum Auflaufen von Vergleichermeldungen oder RS-Signalen kommt, korrekt auf den Abschnitt Messleitungsleckagen zur weiteren Behandlung des Ereignisses verweisen. Gegebenenfalls sind die Entscheidungsdiagramme um entsprechende Hinweise zu ergänzen. Weiterhin empfiehlt die GRS die ereignisorientierten Kapitel der Betriebshandbücher, die Leckagen außerhalb des Sicherheitsbehälters behandeln, und die schutzzielorientierten Kapitel der Betriebshandbücher, die das Schutzziel „Begrenzung der Aktivitätsabgabe an die Umgebung“ behandeln, um Hinweise zu ergänzen an, dass bei einer nicht abspernbaren Messleitungsleckage die Anlage in einen sicheren Zustand abzufahren ist.

### **3.1.2 Montageabweichung bei Anschlagbolzen der Notstand-Notstromdiesel**

Während einer Überprüfung der Erdbebenauslegung im Jahr 2020 an einer ausländischen DWR-Anlage wurden Montageabweichungen bei den Anschlagbolzen der Notstand-Notstromdieseln festgestellt. Die Anschlagbolzen bei den regulären Notstromdieselaggregaten waren vorhanden und auslegungsgemäß eingebaut.

Nach Kenntnis der GRS handelt es sich bei den Notstanddieselaggregaten in der Anlage um Dieselmotoren eines Herstellers, dessen Dieselaggregate auch in deutschen Kernkraftwerken zum Einsatz kommen. Die Generatoren sind in der Anlage auf einem fest im Boden verankerten Grundrahmen montiert, während der Motor auf Motorlagern steht. Die Aufgabe dieser Motorlagerung ist es unter anderem, im Falle eines Erdbebens die Übertragung von Vibrationen auf den Motor und seine Bauteile zu vermindern. Zu diesem Zweck ist in den Lagern ein Spiel vorgesehen, das eine Relativbewegung zwischen Grundrahmen und Motor ermöglicht. Damit die Kupplung zwischen Motor und Generator durch deren Relativbewegung zueinander nicht unzulässig stark in radialer Richtung belastet wird, ist in jedem der Motorlager ein Anschlagbolzen zur Begrenzung der Auslenkung (Positionsnummer 5 in Abb. 3.1) vorgesehen.

### ELASTISCHE MOTORLAGERUNG



**Abb. 3.1** Schnittansicht eines Motorlagers eines Dieselgenerators. Der rote Pfeil markiert das zur Dämpfung der Auslenkung des Lagers dienende elastomere Material

Die mechanischen Berechnungen, die im Rahmen der Bewertung des Sachverhalts vom Betreiber veranlasst wurden, ergaben, dass durch die nicht montierten Anschlagbolzen die zulässige radiale Auslenkung der Kupplung durch die Bewegung des auf dem Grundrahmen gelagerten Motors gegenüber dem starr montierten Generator im Falle eines 10.000-jährlichen Bemessungserdbeben überschritten werden könnte. Aus diesem Grund wurden die betroffenen Notstand-Notstromdiesel für nicht verfügbar erklärt. Die

Anlage wurde daraufhin abgefahren und in den Anlagenzustand kalt unterkritisch überführt. Anschließend wurden die fehlenden Anschlagbolzen in den Motorlagern der Notstand-Notstromdiesel installiert. Da die angesetzten dynamischen Versteifungsfaktoren des Elastomers der Dämpfer nicht mehr nachvollziehbar waren, wurde die Erdbebenauslegungsberechnung ohne Berücksichtigung einer dynamischen Versteifung nachgerechnet und folglich die Dicke des elastomeren Materials (siehe roter Pfeil in Abb. 3.1) beidseitig auf die Hälfte reduziert und die sich dadurch einstellenden Abstände mittels zweier metallischer Füllkörper kompensiert. Danach wurden Prüfungen zum Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Notstand-Notstromdiesel durchgeführt. Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfungen konnte die Anlage wieder angefahren werden.

Diese Erkenntnisse können auch für deutsche Anlagen relevant sein, da Dieselaggregate vergleichbaren Typs auch in deutschen kerntechnischen Anlagen im Einsatz sind. Zudem besteht die Möglichkeit, dass auch bei anderen in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Dieselaggregaten vergleichbare Konstruktionen hinsichtlich der Lagerung von Motor und Generator verwendet werden. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2021/04) erstellt. Darin empfiehlt die GRS für die Motorlager von sicherheitstechnisch relevanten Dieselaggregaten zu prüfen, ob für sie bei der Erdbebenauslegung Anschlagbolzen vorgesehen sind. Sofern dies der Fall ist, ist deren auslegungsgemäße Montage sowie der ordnungsgemäße Zustand der Motorlagerung im Rahmen einer Sonderprüfung zu verifizieren. Soweit im Rahmen der Auslegung vorgesehen, sind außerdem die Materialkennwerte von elastomerem Dämpfungsmaterial zu überprüfen. Sollten hierbei Defizite festgestellt werden, sind diese sicherheitstechnisch zu bewerten.

## **3.2 Elektro- und Leittechnik**

### **3.2.1 Wiederholtes Versagen von Unterspannungsauslösern**

In den vergangenen Jahren kam es in zwei deutschen DWR-Anlagen wiederholt zum Versagen von Unterspannungsauslösern. Der Unterspannungsauslöser wird als diversitäre Abschaltmöglichkeit der Hauptkühlmittelpumpe (HKMP) verwendet.

Die Abschaltung der Hauptkühlmittelpumpen durch das Reaktorschutzsystem erfolgt bei Anforderung jeweils über zwei Reaktorschutzsignale, die über ein sogenanntes Verfüg-

barkeits-UND verknüpft sind. Einerseits wird hierdurch die durch einen Einzelfehler ausgelöste ungewollte Abschaltung einer HKMP und die damit verbundene ungewollte Lastabsenkung vermieden. Andererseits wird aber auch die sichere Abschaltung im Anforderungsfall eingeschränkt. Um die sichere Abschaltung im Anforderungsfall dennoch zu gewährleisten, werden daher die Leistungsschalter der Hauptkühlmittelpumpen diversitär zusätzlich über Unterspannungsauslöser geöffnet. Hierzu werden im Notspeisegebäude durch das Reaktorschutzsystem die Spannungen durch jeweils zwei Kleinschaltgeräte pro HKMP unterbrochen, wodurch nach einer Verzögerung von ca. 2 s die Spannung in der Magnetspule des jeweiligen Unterspannungsauslösers abfällt. Der nach dem Ruhestromprinzip arbeitende Unterspannungsauslöser öffnet daraufhin den Leistungsschalter mechanisch durch Freigabe eines Federkraftspeichers. Gleichzeitig wird in einem solchen Fall die Einschaltsperrung (Ruhestromprinzip) aktiv und dadurch ein ungewolltes Wiedereinschalten der abgeschalteten HKMP verhindert.

Zunächst wurden während den Revisionen in den Jahren 2012 und 2013 in einer Anlage jeweils während wiederkehrenden Prüfungen das Versagen jeweils eines Unterspannungsauslösers eines Leistungsschalters einer HKMP beobachtet. Die festgestellten Ausfälle wurden von einer mechanischen Schwergängigkeit bzw. Blockierung des Magnetankers verursacht, die durch eine thermisch durch den eigenen Betriebsstrom induzierte Verformung des Spulenkörpers hervorgerufen wurden. Da als Ursache für den Fehler jeweils ein Unterspannungsauslöser eines bestimmten Fertigungsstands identifiziert wurde, wurden diese in allen Redundanzen durch lagerhaltige Unterspannungsauslöser eines vorherigen Fertigungsstandes ersetzt, da diese als betriebsbewährt angesehen werden und bisher vergleichbare Ausfälle bei diesem Fertigungsstand nicht bekannt waren.

Im Jahr 2020 kam es in einem anderen deutschen Kernkraftwerk erneut zu einem Versagen des gleichen Unterspannungsauslösers und zu einem Ausfall einer elektrischen Schaltsperrung. Die Untersuchung des betroffenen Unterspannungsauslösers identifizierte als Ursache der Fehlfunktion das Verklemmen des Ankers durch eine plastische Verformung des Kunststoffes im Spulenkörper. Ursache der plastischen Verformung war eine unzureichende thermische Auslegung der Spulenkörper des Unterspannungsauslösers bei einem Betrieb nahe an der zulässigen Nennspannung. Diese konnte seitens des Herstellers durch die Verwendung einer anderen Magnetspule verbessert werden - die Temperaturklassifizierung wurde von F (155 °C) auf H (180 °C) erhöht. Das Nachfolgeprodukt vom Hersteller mit der gleichen Typenbezeichnung vertrieben. Der Betreiber hat

darauflin alle Unterspannungsauslöser des betroffenen Typs durch Unterspannungsauslöser des gleichen Typs, aber mit der neuen, höheren Temperaturklassifizierung, ausgetauscht. Die betroffene Schaltsperre wurde vom Hersteller untersucht und es wurde eine Verformung im Bereich der Spulenwicklung festgestellt. Die Vergussmasse des Spulenkörpers war großflächig verformt und teilweise aufgebläht. Die aufgeblähten Stellen nahe der Wicklung wiesen einen Gasraum auf, der zum Durchbrennen der Spulenwicklung führte. Durch die Verformung des Spulenkörpers der Einschaltsperrre kam es zu einem Massenschluss der Spule. Ursächlich war eine langsame Ausgasung der Vergussmasse der Spulenwicklung, die auf erhöhte Feuchtigkeit auf der Wicklung während des Herstellungsprozesses zurückgeführt wird. Die Spulen stammen aus einer Fertigungscharge. Die Schaltsperren wurden während der nachfolgenden Revision im Jahr 2020 in allen vier Schaltern gegen Schaltsperren einer anderen Fertigungscharge getauscht.

Diese Erkenntnisse können auch für sicherheitsrelevante Einrichtungen in anderen Anlagen bedeutsam sein, da die Unterspannungsauslöser des betroffenen Typs grundsätzlich auch in anderen Anlagen in sicherheitsrelevanten Einrichtungen zum Einsatz kommen können. Die betroffenen Schaltsperren können ebenfalls in anderen Anlagen und auch an anderen Einbaupositionen verwendet werden. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Ergänzung der früheren Weiterleitungsnachricht zu den Unterspannungsauslösern (WLN 2016/04A) erstellt. Darin empfiehlt die GRS die Unterspannungsauslöser des betroffenen Typs mit der niedrigeren Temperaturklassifizierung F (155 °C) gegen die verbesserte Version mit der höheren Temperaturklassifizierung H (180 °C) auszutauschen. Diese sollten außerdem anlässlich der jährlichen Überprüfung auf Funktionalität (insbesondere mechanische Schwergängigkeit bzw. Blockierung des Magnetankers) überprüft werden. Schaltsperren, die zur betroffenen Fertigungscharge gehören und in einer sicherheitsrelevanten Funktion eingesetzt sind, sollten gegen typgleiche Schaltsperren einer anderen Fertigungscharge ausgetauscht werden.

### **3.2.2 Auffälligkeiten an programmierbaren Multifunktionsschutzgeräten**

In deutschen und ausländischen Kernkraftwerken werden nach Kenntnisstand der GRS eine Vielzahl von elektrischen Schutzfunktionen mithilfe programmierbarer Multifunktionsschutzgeräte (MFS) verschiedener Hersteller realisiert. Diese konfigurierbaren Geräte können unter anderem für folgende Schutzfunktionen eingesetzt werden: Überstromschutz (auch als Überlastschutz bezeichnet), Erdfehlerschutz, Motorschutz,

Unterspannungs-/Überspannungsschutz etc. In deutschen Anlagen werden MFS u. a. entsprechend der Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission zur Phasenfehlerdetektion eingesetzt. Zudem können sie zum Teil zur Steuerung von Leistungsschaltern und von weiteren Schaltgeräten sowie für andere Automatisierungsfunktionen eingesetzt werden. Die integrierten programmierbaren Logikfunktionen vieler MFS ermöglichen darüber hinaus die Implementierung eigener Funktionen durch den Anwender. Die Einsatzorte der MFS sind vielfältig und betreffen die Überwachung von Komponenten oder Einrichtungen in der Eigenbedarfs- und Notstromanlage.

Während der Revision im Jahr 2018 kam es in einem deutschen Kernkraftwerk zum Ausfall einer Nebenkühlwasserpumpe auf Grund eines Erdschlusses im Motor. In Folge des Ausfalls wurden unerwartet mehrere Erdschlussrichtungsüberwachungen, die durch programmierbare MFS realisiert waren, in der 10-kV-Eigenbedarfsschaltanlage ange-regt, nicht aber die Erdschlussrichtungsüberwachung der betroffenen Pumpe. Ursäch-lich für den Erdschluss der betroffenen Nebenkühlwasserpumpe waren Isolationsschä-den im Wicklungskopf der Pumpe. Die Ursache für diese Isolationsschäden konnte nicht ermittelt werden. Ursächlich für die fehlende Anregung des zur Erdschlussrichtungsüber-wachung genutzten MFS in dem der betrieblichen Nebenkühlwasserpumpe zugeordne-ten Schaltfeld war eine Konfiguration des MFS, die nicht zu der realisierten hardware-technischen Verkabelung der MFS passte. Dies führte dazu, dass das MFS fälschlicherweise in Richtung der Eigenbedarfsschiene anstelle in Richtung des Pum-penabzweigs überwachte. Somit führte der von der Pumpe ausgehende Fehlerstrom nicht zu einem Auslösen des MFS. Der Grund für die fälschlicherweise erfolgte Anregung der Erdschlussrichtungsüberwachungen der MFS der anderen, derselben Schiene zu-gehörigen Komponenten war ebenfalls ein derartiger Fehler. Dies führte zu einer irrüm-lichen Erkennung eines Erdschlusses aus Richtung des Abzweigs der jeweiligen Kom-ponenten, sodass Meldungen oder in einem Fall der Kupplungsschalter zu der nachgelagerten Komponente ausgelöst wurden.

Insgesamt sind 30 MFS des betroffenen Typs in der Anlage eingesetzt. 21 dieser 30 ein-gesetzten MFS werden zur Erdschlussrichtungsüberwachung verwendet. 11 dieser 21 MFS setzen lediglich eine Meldung ab, 10 dieser MFS lösen eine aktive Schutzfunk-tion (Abschaltung des fehlerbehafteten Abzweigs) aus. Alle Erdschlussrichtungsüber-wachungen waren falsch konfiguriert. Als ursächlich hierfür wird die im Rahmen der Inbe-triebsetzungsprüfung (IBS) der MFS verwendete, für die vorliegende Variante des

Einbaus unpassende Prüfroutine angesehen. Im Rahmen der IBS erkannte die verwendete Prüfroutine vermeintliche Fehler in der Anbindung der Messwandler. Um die vermeintlichen Fehler zu beheben, wurden daraufhin Änderungen in der Konfiguration des Schutzgerätes vorgenommen. Die in der Software des MFS vorgenommene Angabe der Zuordnung der beiden Signalkabel zu den Eingangsklemmen des MFS stimmte mit der tatsächlichen Verkabelung an den Eingangsklemmen des MFS nicht überein. Dies führte im MFS zu einer um 180° gedrehten Vorgabe der Richtung des Fehlerstroms. Somit erfolgte die Auswertung der Erdschlussrichtungsüberwachung in die falsche Richtung. Diese fehlerhafte Prüfroutine wurde sowohl für die Inbetriebsetzungsprüfung als auch für die wiederkehrende Prüfung (WKP) der MFS herangezogen. Das erste fehlerhaft konfigurierte MFS sowie die fehlerhafte Prüfroutine wurden als Referenz für die Einbauten und Prüfungen der weiteren MFS genutzt, die somit ebenfalls durch die Prüfungen unentdeckt fehlerhaft konfiguriert wurden.

Diese Erkenntnisse können auch für andere deutsche Anlagen relevant sein, da die MFS des betroffenen Typs auch in anderen Anlagen im Einsatz sind oder möglicherweise zukünftig nachgerüstet werden. Bei dem Einbau und der darauffolgenden Prüfung von MFS handelt es sich um komplexe Tätigkeiten mit einer Vielzahl an möglichen Fehlerquellen. Derartige Fehler können abhängig von der Einbauposition sicherheitstechnische Auswirkungen auf die Anlage haben. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Weiterleitungsnachricht (WLN 2022/01) erstellt. Die GRS empfiehlt, sofern MFS in sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen im Einsatz sind oder diese beeinflussen können, zu prüfen, ob eine Funktionsprüfung inklusive einer Verifizierung des korrekten Einbaus und der korrekten Konfiguration des Überwachungs- bzw. Schutzbereichs sowie eine diversitäre Validierung der Überwachungs- bzw. Schutzfunktion durchgeführt wurde. Falls dies noch nicht erfolgt ist, sollte eine solche Prüfung durchgeführt werden. Bei zukünftigen Einbauten oder Modifikationen von/an programmierbaren MFS, welche in sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen eingesetzt sind oder diese beeinflussen können, und deren Prüfeinrichtungen sollen unter Einhaltung der Herstellervorgaben Inbetriebsetzungsprüfungen konzipieren und durchgeführt werden, mit denen die korrekte Überwachungs- bzw. Schutzfunktion der Schutzgeräte diversitär verifiziert und validiert werden kann.

### **3.2.3 Baugruppenfehler in einer Brandmeldezentrale**

Im Jahr 2016 kam es zweimal während wiederkehrenden Prüfungen der Brandmeldeanlage in einem deutschen stillgelegten Kernkraftwerk zu Funktionsstörungen einer Anschaltbaugruppen der Brandmeldeanlage, wodurch jeweils die Signale mehrerer Brandmelder nicht weitergeleitet wurden.

Ursächlich waren damals Softwarefehler in der Firmware der Anschaltbaugruppe, durch welche die Anschaltbaugruppe, wenn es während der Initialisierung zur Eingabe von Handbefehlen (Ab- und Zuschaltung von Meldeleitungen) kam, in einen fehlerhaften Zustand überging. In diesem Zustand wurden keine Meldungen weitergeleitet, ohne dass dies an Anzeigeeinrichtungen ersichtlich war. Der Umfang der Handbefehle und der Eingabezeitraum, innerhalb dessen diese eingegeben werden mussten, variierte abhängig von der verwendeten Firmwareversion. Bei der neuesten Version der Firmware war außerdem eine Mindestanzahl an angeschlossenen Brandmeldern Voraussetzung dafür, dass ein fehlerhafter Zustand eintreten konnte. Der fehlerhafte Zustand konnte durch eine Neuinitialisierung der Anschaltbaugruppe beseitigt werden. Die Weiterleitungsnachricht 2016/14 enthielt die Empfehlung, auf die Ab- und Zuschaltung von Meldeleitungen während der Initialisierung der Anschaltbaugruppe zu verzichten und diesen Hinweis auch in die technischen Unterlagen aufzunehmen. Baugruppen vom betroffenen Typ waren neu zu initialisieren und bei Vorliegen einer neuen Firmwareversion sollten die Baugruppen entsprechend aktualisiert werden.

Im Januar 2020 kam es in einem anderen stillgelegten deutschen Kernkraftwerk erneut zu einem Ereignis an einer Anschaltbaugruppe dieses Typs. Ein im Rahmen einer Prüfung ausgelöster Melder verursachte an der Brandmeldeanlage eine Meldung an einem anderen Melder bzw. Meldeort. Von diesem Verhalten waren mehrere Melder betroffen, deren Meldeleitungen über eine gemeinsame Anschaltbaugruppe verliefen. Im Rahmen der Ursachenklärung stellte sich ein Zusammenhang mit zuvor durchgeführten Kurzschlussprüfungen als ursächlich heraus. Während einer Prüfung waren mehrere Kurzschlussprüfungen an verschiedenen Meldeprimärleitungen (MPL) in kurzem Abstand nacheinander und ohne zwischenzeitliches Restaurieren an der Anschaltbaugruppe durchgeführt worden. Der Befehl zur Restaurierung der MPL wird manuell am Bedienfeld der Brandmeldezentrale eingegeben, um die MPL wieder in den Ursprungszustand vor der Prüfung zu überführen. Bei einer anschließenden ungünstigen Überlagerung von mindestens zwei Restaurierungsvorgängen mindestens zweier unterschiedlicher MPL

kann es zu einer falschen Adresszuordnung der Brandmelder in einer Tabelle der Firmware der betroffenen Anschaltbaugruppe kommen, wenn die Herstellervorgabe aus der Inbetriebsetzungs- und Abnahmeprüfliste der Gefahrenmeldeanlagen nicht beachtet wird, dass nach Eingabe des Restaurierungsbefehls eine Hochlaufzeit von etwa zwei Minuten abzuwarten ist und die Kurzschlussauslösungen an den MPL in einer anderen Reihenfolge erfolgte als die nachfolgende Eingabe der Restaurierungsbefehle. Die Folge dieser falschen Adresszuweisung ist, dass bei Auslösung eines Brandmelders fehlerhaft die Anzeige eines anderen Brandmelders an einem anderen Auslöseort erfolgen kann. Eine derartige fehlerhafte Zuordnung ist nicht selbstmeldend und im Normalzustand ohne ausgelöste Brandmelder nicht an den Anzeigeeinrichtungen erkennbar. Es sind auch nicht zwingend alle Brandmelder der Meldeprimärleitung betroffen, wodurch eine Detektion über eine stichprobenartige Prüfung der Melder erschwert wird. Diese fehlerhafte Zuordnung konnte durch einen Neustart der zugehörigen Anschaltbaugruppe behoben werden.

Da der Fehler auf eine im Hinblick auf Handeingaben während Initialisierungs- und Restaurierungsphasen empfindliche Firmware der Anschaltbaugruppe in Kombination mit einer ungeeigneten Prüfdurchführung zurückzuführen ist, ist er grundsätzlich auch auf andere Anschaltbaugruppen des betroffenen Typs, die auch in anderen deutschen Anlagen im Einsatz sind, übertragbar und hat ein Potential für systematische Abweichungen. Im Rahmen eines anderen Vorhabens hat die GRS daher eine Ergänzung der früheren Weiterleitungsnachricht zu den Anschaltbaugruppen (WLN 2016/14A) erstellt. Die GRS empfiehlt darin einen vorsorglichen Neustart von Baugruppen des betroffenen Typs, um die ordnungsgemäße Funktion der entsprechenden Brandmeldelinien sicherzustellen. Die Prüf- und Instandhaltungsarbeiten sollen derart geplant und durchgeführt werden, dass ähnliche Situationen grundsätzlich vermieden werden um auch weitere noch unentdeckte Fehler durch ungünstige Überlagerungen von Handeingaben und Initialisierungs-, Hochlauf- und Restaurationsphasen zu verhindern.

## 4 Ergebnisse der Precursor-Analysen

### 4.1 Einleitung

Im Berichtszeitraum wurden die Precursor-Analysen für die in den Jahren 2018 und 2019 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.

Die Precursor-Analysen wurden in den folgenden Arbeitsschritten durchgeführt:

- 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 2018 wurden insgesamt 71 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Davon wurden fünf Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung vorausgewählt, vier Ereignisse aus Druckwasserreaktoranlagen und ein Ereignis aus einer Anlage mit Siedewasserreaktor. Die Ereignisse 2018/013 und 2018/019 traten in derselben Anlage auf und wurden zusammen bewertet, da aus Sicht der Precursor-Bewertung eine zeitliche Überschneidung des Ausfalls zweier Notstromdiesel vorlag.

Im Jahr 2019 wurden insgesamt 50 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Davon wurden sieben Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung vorausgewählt, sechs Ereignisse aus Druckwasserreaktoranlagen und ein Ereignis aus einer Anlage mit Siedewasserreaktor. Die Ereignisse 2019/011 und 2019/013 traten in derselben Anlage auf und wurden zusammen bewertet, da hier ein gleichzeitiger Ausfall zweier Notstromdiesel vorlag.

In Tab. 4.1 sind die für die Weiterbehandlung vorausgewählten Ereignisse des Jahres 2018 und die Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen dieser Ereignisse zusammengestellt. Tab. 4.2 enthält die gleichen Angaben für die Ereignisse des Jahres 2019. Die Tabellen enthalten die folgenden Angaben zu den Ereignissen:

- 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 2018 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen

ME-Nr.	Kraftwerks-typ	Betriebs-zustand	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Erken-nung <sup>1)</sup>	Auslö-sendes Ereignis <sup>1)2)</sup>	Kate-gorie <sup>3)</sup>	Bedingte Wahr-scheinlich-keit für Gefährdungs-zustände	Precur-sor/ kein Precur-sor
2018/005	DWR	Leistungs-betrieb	Mangel am elektrischen Antrieb eines Frischdampf-Abblaseregelventils	WKP	(Transien-ten, KMV)	1, 2, 3	$1,2 \cdot 10^{-8}$	kein Precursor
2018/013	DWR	Leistungs-betrieb	Interne Kühlwasserleckage am Abgasturbolader eines Notstromdieselmotors	Warten-meldung	(Not-stromfall)	1	$1 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor
2018/019	DWR	Leistungs-betrieb	Schaden an der Ladeluftleitung an einem Notstromdiesel	WKP	(Not-stromfall)	1		
2018/023	SWR	Nichtleis-tungsbe-trieb	Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung	WKP	(KMV)	2	$6,6 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor
2018/038	DWR	Leistungs-betrieb	Undichte Kammerungstür zum Aufstellungsraum eines nuklearen Zwischenkühlers	Bege-hung	(Ring-raumüber-flutung)	2, 7	$1,2 \cdot 10^{-7}$	kein Precursor

<sup>1)</sup> WKP steht für wiederkehrende Prüfung, KMV für Kühlmittelverluststörfall

<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 Potenzielles auslösendes Ereignis. 8 Potenzielle Funktionsstörung. Die Kategorien sind im Methodenbericht /GRS 14/ Teil III, Anhang A, Tabelle A.1, weiter beschrieben.

**Tab. 4.2** Vorausgewählte Ereignisse des Jahres 2019 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen

ME-Nr.	Kraftwerks-typ	Betriebs-zustand	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Erken-nung <sup>1)</sup>	Auslö-sendes Ereignis <sup>1)2)</sup>	Kate-gorie <sup>3)</sup>	Bedingte Wahr-scheinlich-keit für Ge-fährdungsz-ustände	Precur-sor/ kein Precur-sor
2019/011	DWR	Leistungs-betrieb	Schaden an einem Abgasturbolader eines Notstromdiesels	WKP	(Not-stromfall)	1	6,1 · 10 <sup>-8</sup>	kein Precursor
2019/013	DWR	Leistungs-betrieb	Interne Kühlwasserleckage am Abgasturbolader eines Notstromdieselmotors mit der Folge der Nichtverfügbarkeit von zwei Notstromdieseln	WKP	(Not-stromfall)	1		
2019/015	SWR	Leistungs-betrieb	Nichtschließen eines Sicherheits- und Entlastungsventils	WKP	(AHWS)	5, 7	2,9 · 10 <sup>-8</sup>	kein Precursor
2019/021	DWR	Abfahren	Ansprechen des Überspeisungsschutzes am Dampferzeuger 10 beim Abfahren der Anlage	Warte	(Bruch FD-Leitung)	4, 7	3 · 10 <sup>-9</sup>	kein Precursor
2019/022	DWR	Leistungs-betrieb	Mindestmenge einer Notspeisepumpe erreicht bei wiederkehrender Prüfung nicht den Sollwert	WKP	(Tran-sienten, KMV)	1, 2, 3	3,4 · 10 <sup>-7</sup>	kein Precursor
2019/023	DWR	Revision	Automatische Startanregung für einen Notstromdiesel während Brennelement-wechsel un verfügbar	Warte	(Not-stromfall)	1	2,2 · 10 <sup>-8</sup>	kein Precursor
2019/027	DWR	Leistungs-betrieb	Erhöhter Leckwasseranfall an einer Zusatzborierpumpe	WKP	(KMV, ATWS, EVA)	2, 3	-	kein Precursor

- 1) WKP steht für wiederkehrende Prüfung, AHWS für Ausfall Hauptwärmesenke, ATWS für Transienten mit Ausfall der Reaktorschnellabschaltung, FD für Frischdampf, EVA für Einwirkungen von außen, KMV für Kühlmittelverluststörfall
- 2) Klammern ( ) bedeuten, dass es sich um das maßgebliche postulierte auslösende Ereignis handelt, das auslösende Ereignis jedoch nicht eingetreten ist.
- 3) 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 Potenzielles auslösendes Ereignis. 8 Potenzielle Funktionsstörung. Die Kategorien sind im Methodenbericht /GRS 14/ Teil III, Anhang A, Tabelle A.1, weiter beschrieben.

### 4.3 Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen

Die zwölf ausgewählten Ereignisse wurden probabilistisch bewertet. Für keines der ausgewählten und im Detail probabilistisch bewerteten Ereignisse ergab sich eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $> 10^{-6}$ . Somit ist keines der Ereignisse als Precursor einzustufen.

Die in Tab. 4.1 und Tab. 4.2 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 2018/005, DWR, Mangel am elektrischen Antrieb eines Frischdampf-Abblaseregelventils:**

Bei einer wiederkehrenden Prüfung konnte ein Frischdampf-Abblaseregelventil nicht gefahren werden. Das Ereignis wurde für die Precursor-Bewertung ausgewählt, da das Ventil über einen Zeitraum von 67 Tagen unverfügbar war. Als Ursache für die Fehlfunktion wurden gelöste Befestigungsschrauben an der Bremse des Ventilantriebes festgestellt, so dass diese dauerhaft wirksam war. Der Betreiber geht von einem montagebedingten Einzelfehler aus. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $1,2 \cdot 10^{-8}$  berechnet.

#### **Ereignis 2018/013, DWR, Interne Kühlwasserleckage am Abgasturbolader eines Notstromdieselmotors:**

Meldungen über den Füllstand im Kühlwasserausgleichbehälter wiesen auf ein Leck im Kühlwasserkreislauf eines Notstromdieselmotors hin. Das Leck befand sich im Bereich des Abgasturboladers. Ursache für das Leck war ein Riss am abgasseitigen Einströmgehäuse des Turboladers, welcher sich seit dem Jahr 1979 mit dem Diesel im Einsatz

befand. Das Leck führte zum Kühlwassereintrag in die Zylinder des Notstromdiesels und dadurch zu seiner Unverfügbarkeit. Die probabilistische Bewertung für dieses Ereignis erfolgte gemeinsam mit dem meldepflichtiges Ereignis 2018/019, da aus Sicht der Precursor-Bewertung eine zeitliche Überschneidung des Ausfalls zweier Notstromdiesel vorlag.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in der Weiterleitungsnachricht WLN 2019/06 dargestellt (siehe auch /GRS 20/).

**Ereignis 2018/019, DWR, Schaden an der Ladeluftleitung an einem Notstromdiesel:**

Bei einer wiederkehrenden Prüfung fiel plötzlich die Leistung des Notstromdiesels ab. Grund dafür war das Versagen der Flanschverbindung der Rohrleitung zwischen dem Turbolader und dem Ladeluftkühler. Dadurch konnte kein Ladedruck mehr aufgebaut werden. Der Notstromdiesel wurde umgehend von Hand abgeschaltet. Als Fehlerursache wurde ein defekter Halterungssteg aufgrund von Montagefehlern bei einer Wartung im November 2015 ermittelt. Für die Ereignisse 2018/013 und 2018/019 wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $1 \cdot 10^{-7}$  berechnet.

**Ereignis 2018/023, SWR, Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung:**

Im Rahmen der integralen Prüfung der Leckrate des Sicherheitsbehälters wurde eine erhöhte Leckrate festgestellt. Grund dafür war das fehlerhafte Öffnen des Druckausgleichskugelhahns als Folge einer Fehleinstellung des Druckbegrenzungsventils im Verriegelungsmechanismus der Außentür der Schleuse. Die genaue Ursache für die vorgefundene Fehleinstellung konnte nicht ermittelt werden. Das Ventil war im Jahr 2008 getauscht worden. Die Leckratenprüfungen in den Jahren 2010 und 2014 verliefen ohne Befunde. Bei einem Kühlmittelverluststörfall im Sicherheitsbehälter muss die Schleuse geschossen sein, um einen Kühlmittelübertritt in das Reaktorgebäude zu verhindern. Das ausgelaufene Kühlmittel stünde sonst für die Kernkühlung nicht mehr zur Verfügung. Da sich bei einem Kühlmittelverluststörfall im Sicherheitsbehälter ein höherer Druck als bei der Leckratenprüfung einstellt, ist davon auszugehen, dass in diesem Fall der Druckausgleichskugelhahn geöffnet hätte. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $6,6 \cdot 10^{-7}$  berechnet. Dabei wurde unterstellt, dass

die vorgefundene Funktionsstörung seit der letzten Leckratenprüfung (insgesamt vier Jahre) vorlag.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in der Weiterleitungsnachricht WLN 2019/07 dargestellt (siehe auch /GRS 20/).

**Ereignis 2018/034, DWR, Undichte Kammerungstür zum Aufstellungsraum eines nuklearen Zwischenkühlers:**

Bei einer Anlagenbegehung wurde festgestellt, dass die Zugangstür zum Aufstellungsraum eines nuklearen Zwischenkühlers nicht vollständig umlaufend mit ihrer Dichtung an der Türzarge anlag. Vermutlich wurde bei Montagetätigkeiten eine Verriegelung der Zugangstür teilweise demontiert und nach Abschluss der Tätigkeiten nicht korrekt remontiert. Die Zugangstür muss dicht schließen, um bei einem Bruch der Nebenkühlwasserleitung im Zwischenkühlerraum eine Überflutung der Sicherheitseinrichtungen im Ringraumes zu verhindern. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $1,2 \cdot 10^{-7}$  berechnet.

**Ereignis 2019/011, DWR, Schaden an einem Abgasturbolader eines Notstromdiesels:**

Bei einer wiederkehrenden Prüfung wurde der Notstromdiesel durch den vorrangigen Aggregateschutz über das Kriterium „Kühlwasserfüllstand tief“ im Wasserausgleichsbehälter schutzabgeschaltet. Ursächlich für den Kühlwasserverlust war ein Schaden am Abgasturbolader. Aufgrund des Schadensumfangs erfolgte ein Tausch des Notstromdieselmotors gegen einen Poolmotor. Die probabilistische Bewertung für dieses Ereignis erfolgte gemeinsam mit dem meldepflichtigen Ereignis 2019/013, da über einen Zeitraum von ca. fünf Tagen ein gleichzeitiger Ausfall zweier Notstromdiesel vorlag.

**Ereignis 2019/013, DWR, Interne Kühlwasserleckage am Abgasturbolader eines Notstromdieselmotors mit der Folge der Nichtverfügbarkeit von zwei Notstromdieseln:**

Meldungen über den Füllstand im Kühlwasserausgleichbehälter wiesen auf ein Leck im Kühlwasserkreislauf eines Notstromdieselmotors hin. Ursächlich für den Kühlwasserverlust war ein Riss am Abgaseinströmgehäuse des Turboladers. Das Leck führte zum Kühlwassereintrag in das Abgasrohr der Zylinder B5/B6 vor dem Abgasturbolader. Der

Notstromdiesel wurde daraufhin rückwirkend ab dem Zeitpunkt der letzten Prüfung als nicht verfügbar deklariert. Die Anlage wurde vorsorglich abgefahren, da bereits im Jahr 2018 an diesem Dieselmotor eine Leckage an dem anderen Turbolader aufgetreten war (Ereignis 2018/013). Alle Abgaseinströmgehäuse der Notstromdiesel wurden getauscht.

Die probabilistische Bewertung für dieses Ereignis erfolgte gemeinsam mit dem meldepflichtiges Ereignis 2019/011. Für beide Ereignisse wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $6,1 \cdot 10^{-8}$  berechnet.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in der Weiterleitungsnachricht WLN 2019/06 dargestellt (siehe auch /GRS 20/).

**Ereignis 2019/015, SWR, Nichtschließen eines Sicherheits- und Entlastungsventils:**

Bei einer Funktionsprüfung schloss ein Sicherheits- und Entlastungsventil nach dem Öffnen nicht wieder. Von der Warte wurde bestimmungsgemäß eine Reaktorschnellabschaltung ausgelöst, so dass es nicht zur Anregung weiterer Sicherheitseinrichtungen kam. Die Ursache für das Ereignis lag in einem Herstellungsfehler am Führungseinsatz des Vorsteuerventils des Sicherheits- und Entlastungsventils. Das Vorsteuerventil wurde ausgetauscht. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $2,9 \cdot 10^{-8}$  berechnet.

**Ereignis 2019/021, DWR, Ansprechen des Überspeisungsschutzes am Dampferzeuger 10 beim Abfahren der Anlage:**

Beim Abfahren der Anlage kam es aufgrund eines undichten Volllast-Regelventils zu einem Füllstandsanstieg in einem Dampferzeuger. Die Schichtmannschaft versuchte daraufhin das Volllastregelventil zu schließen. Auch das Schließen weiterer Armaturen und eine Reaktorschnellabschaltung von Hand konnten die Auslösung des Dampferzeuger-Überspeisungsschutzes nicht verhindern. Die Ursache für das Fehlverhalten des Volllast-Regelventils konnte nicht gefunden werden.

Bei Überspeisung eines Dampferzeugers kann es zum Eintrag von Speisewasser in die Frischdampfleitung kommen. Für die Precursor-Bewertung wurde unterstellt, dass die

damit verbundenen Belastungen zu einem Bruch der Frischdampfleitung im Bereich außerhalb des Sicherheitsbehälters führen. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $3 \cdot 10^{-9}$  berechnet.

**Ereignis 2019/022, DWR, Mindestmenge einer Notspeisepumpe erreicht bei wiederkehrender Prüfung nicht den Sollwert:**

Im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung wurde in einer der vier Redundanzen des Notspeisesystems die spezifizierte Sollmindestmenge am Freilaufückschlagventil nicht erreicht. Ursache war eine Schwergängigkeit der Drosselstrecke. Das Freilaufückschlagventil dient zur Sicherstellung einer Mindestmenge, die bei laufender Pumpe eine Überhitzung und Schädigung der Pumpe verhindert. Ferner wird über die Freilauf-Rückschlagventile sichergestellt, dass bei Anforderung des Notspeisesystems auch im Mindestmengenbetrieb die im Notspeisegebäude anfallende Wärme sicher abgeführt werden kann. Durch die verringerte Mindestmenge war die betroffene Redundanz als ausgefallen anzusehen. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $3,4 \cdot 10^{-7}$  berechnet.

**Ereignis 2019/023, DWR, Automatische Startanregung für einen Notstromdiesel während Brennelementwechsel unverfügbar:**

Durch fälschliche Prüfsimulationen wäre bei einem Notstromfall ein Notstromdiesel über einen Zeitraum von ca. 20 Stunden nicht automatisch über das Reaktorschutzsystem gestartet worden. Ein Handstart des Notstromdiesels war jedoch möglich. Für das Ereignis wurde eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $2,2 \cdot 10^{-8}$  berechnet.

Die generische Bedeutung dieses Ereignisses wurde in der Weiterleitungsnachricht WLN 2020/04 dargestellt (siehe auch /GRS 21/).

**Ereignis 2019/027, DWR, Erhöhter Leckwasseranfall an einer Zusatzborierpumpe:**

Bei diesem Ereignis kam es bei zwei wiederkehrenden Prüfungen im Zusatzboriersystem zum Ansprechen einer Meldung über eine erhöhte Sperrwasser-Leckagemenge. Betroffen waren zwei redundante Zusatzborierpumpen. Die erhöhte Leckagemenge wurde auf verhärtete Packungsringe der Stopfbuchsdichtungen der Kolbenpumpen zurückgeführt. Die Komponenten waren durch eine gemeinsame Ursache geschädigt, aber

nicht ausgefallen. Daher wurde das Ereignis einer Expertenbewertung unterzogen. Zusammenfassend sahen die Experten jedoch keine Einschränkung der Verfügbarkeit der Zusatzborierpumpen durch das Ereignis. Lediglich die Überwachung des Sperrwassers war beeinträchtigt. Eine probabilistische Bewertung war für dieses Ereignis nicht durchzuführen, da die Ausfallrate der betroffenen Komponenten nicht erhöht war.

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

Die vorausgewählten Ereignisse der Jahre 2018 und 2019 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 2018 ergab sich bei zwei Ereignissen ein Bedarf für die Weiterentwicklung von Methoden bzw. zur Erweiterung der PSA. Bei der Precursor-Bewertung der Ereignisse der Jahre 2019 ergab sich kein besonderer Bedarf für die Weiterentwicklung von Methoden bzw. zur Erweiterung der PSA.

#### **Ereignis 2018/023, SWR, Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung:**

Bei diesem Ereignis wurde eine Undichtigkeit an der Außentür der Hauptschleuse festgestellt. Bei einem Kühlmittelverluststörfall im Sicherheitsbehälter muss die Schleuse dicht geschossen sein, um einen Kühlmittelübertritt in das Reaktorgebäude zu verhindern. Kühlmittelverluststörfälle im Sicherheitsbehälter wurden in den anlagenspezifischen PSA der GRS und des Betreibers bewertet. Die Funktion der Schleuse zur Gewährleistung der Sicherheitsbehälterintegrität wurde dabei nicht betrachtet. Daher waren über den Umfang dieser PSA hinausgehende Betrachtungen erforderlich.

Bei Verdacht auf ein Leck im Sicherheitsbehälter sind gemäß Betriebshandbuch die Türen beider Schleusen zu schließen. Durch Schließen der Innentür der betroffenen Schleuse wäre kein Kühlmittel zum fehlerhaft geöffneten Kugelhahn gelangt. Für den

Ausfall der Funktion „Schleusentür schließt nicht“ lagen bisher keine Zuverlässigkeitskenngrößen vor. Zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit dieser Funktion wurden die meldepflichtigen Ereignisse seit der Inbetriebnahme der deutschen Kernkraftwerke ausgewertet. Die ermittelte Ausfallwahrscheinlichkeit beträgt  $5,8 \cdot 10^{-4}$  pro Anforderung. Für die weiteren Analysen wurde auch die in Sumpf des Sicherheitsbehälters vorhandene Tauchpumpe zu berücksichtigen, welche bei einem kleinen Kühlmittelverlustsfall Kühlmittel in die Kondensationskammer zurückfördern kann.

#### **Ereignis 2018/034, DWR, Undichte Kammerungstür zum Aufstellungsraum eines nuklearen Zwischenkühlers:**

Diese Kammerungstüren müssen dicht schließen, um bei einem Bruch einer Nebenkühlwasserleitung in einem Zwischenkühlerraum eine Überflutung der Sicherheitseinrichtungen im Ringraumes zu verhindern. Der Bruch einer Nebenkühlwasserleitung im Ringraum wurde in den probabilistischen Sicherheitsanalysen für die noch laufenden DWR-Anlagen mit Verweis auf die vorhandene Vorkehrung (Zwischenkühlerkammer) nicht untersucht. Für die Precursor-Analyse waren daher über den Umfang der vorliegenden PSA hinausgehende Betrachtungen erforderlich.

Bezüglich der Eintrittshäufigkeit von Lecks im Nebenkühlwassersystem konnte auf die deutsche Risikostudie, Phase B zurückgegriffen werden /DRS 90/. Die dort ermittelte Eintrittshäufigkeit für ein großes Leck im Nebenkühlwassersystem im Ringraum beträgt  $5 \cdot 10^{-3}$  pro Jahr. In den weiteren Analysen wurden die bei einem Wasseranfall im Ringraum des Reaktorgebäudes gemäß Betriebshandbuch durchzuführenden Personalhandlungen zur Verhinderung einer Ringraumüberflutung berücksichtigt.

#### **4.6 Zusammenfassung**

Im Jahr 2018 wurden insgesamt 71 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Davon wurden fünf Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung vorausgewählt, vier Ereignisse aus Druckwasserreaktoranlagen und ein Ereignis aus einer Anlage mit Siedewasserreaktor. Die Ereignisse 2018/013 und 2018/019 traten in derselben Anlage auf und wurden zusammen bewertet, da aus Sicht der Precursor-Bewertung eine zeitliche Überschneidung des Ausfalls zweier Notstromdiesel vorlag.

Im Jahr 2019 wurden insgesamt 50 meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken (Druck- und Siedewasserreaktoranlagen) gemeldet. Davon wurden sieben Ereignisse für eine detaillierte probabilistische Bewertung vorausgewählt, sechs Ereignisse aus Druckwasserreaktoranlagen und ein Ereignis aus einer Anlage mit Siedewasserreaktor. Die Ereignisse 2019/011 und 2019/013 traten in derselben Anlage auf und wurden zusammen bewertet, da hier ein gleichzeitiger Ausfall zweier Notstromdiesel vorlag.

### **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  $\geq 10^{-6}$ . Somit ist keines der quantitativ bewerteten Ereignisse als Precursor einzustufen.

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

Die vorausgewählten Ereignisse der Jahre 2018 und 2019 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 2018/023, Partielles Öffnen des Druckausgleichskugelhahns der Schleuse des Sicherheitsbehälters während integraler Leckratenprüfung, war die Ausfallwahrscheinlichkeit für die Funktion „Schleusentür schließt nicht“ zu ermitteln. Dazu hat die GRS die meldepflichtigen Ereignisse seit der Inbetriebnahme der deutschen Kernkraftwerke ausgewertet. Die Funktion der Schleuse zur Gewährleistung der Sicherheitsbehälterintegrität wurde in den bisher durchgeführten PSA für diesen Anlagentyp nicht betrachtet.

Für die Bewertung des Ereignisses 2018/034, Undichte Kammerungstür zum Aufstellungsraum eines nuklearen Zwischenkühlers, war ein Nebenkühlwasserleck im Ringraum zu betrachten. Der Bruch einer Nebenkühlwasserleitung im Ringraum wurde in den probabilistischen Sicherheitsanalysen für die noch laufenden DWR-Anlagen mit Verweis auf die vorhandene Vorkehrung (Zwischenkühlerkammer) nicht untersucht.



## **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 BMUV durch die Länder in Form von Erfahrungsrückflüssen mitgeteilt. Diese werden von der GRS im Rahmen des Vorhabens 4721R01311 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 BMUV auch anlagenspezifisch aus. Ziel der Auswertung ist es, dem BMUV 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 2019 ausgewertet (siehe /GRS 20/ und /GRS 21/ 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 und betriebsorganisatorische Aspekte 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 Vermeidung von Schäden an Zwischenkühlern**

Die im Folgenden zusammengefassten Ergebnisse und die zugrundeliegenden Arbeiten wurden im zugehörigen technischen Bericht /FAU 21/ dokumentiert.

Als Bestandteil der Nachkühlkette erfüllen die Zwischenkühler sowohl betriebliche als auch sicherheitstechnische Aufgaben. Neben der Wärmeabfuhr im Normalbetrieb und bei Störfällen stellen sie nach dem nuklearen Nachwärmekühler die zweite Barriere gegen Aktivitätsfreisetzungen insbesondere in das Nebenkühlwassersystem dar.

Zwischen- und Nebenkühlwassersysteme werden in der Nachbetriebs- und der folgenden Stilllegungsphase (im Folgenden vereinfachend als „Nachbetrieb“ bezeichnet) weiterhin benötigt. Die Verringerung der abzuführenden Wärme mit fortschreitendem Nachbetrieb bewirkt jedoch eine Änderung der Betriebsbedingungen.

In der Vergangenheit wurden aus der deutschen Betriebserfahrung aus Kernkraftwerken immer wieder Schäden an Zwischenkühlern bekannt. Ein großer Teil dieser Schäden wurde im Nachbetrieb entdeckt. In einem Technischen Bericht /FAU 21/ wurden die seit dem Jahr 2011 gemeldeten Schäden an Zwischenkühlern anlagenübergreifend analysiert. Ein Sachstandsbericht über diese Ereignisse wurde bereits im Auftrag des BMUV im Rahmen des Vorhabens 4721R01340 erstellt /FLE 21/. In /FAU 21/ wurde insbesondere herausgearbeitet, welchen Beitrag die Betriebszeit sowie die im Nachbetrieb veränderten Betriebsbedingungen am Schadensgeschehen von Zwischenkühlern spielen. Von den Anlagen getroffene Maßnahmen wurden analysiert und es wurden geeignete Maßnahmen zur Schadensvermeidung abgeleitet.

Die vorgenommene Auswertung der Betriebserfahrung zeigt, dass Schäden an Wärmetauscher(WT-)rohren der Zwischenkühler im Wesentlichen an solchen aus Messing bzw.

Sondermessing auftraten, und auch dort nur in geringer Zahl und bei langer Einsatzdauer der Kühler. WT-Rohre aus Titan sind hingegen nicht anfällig für Schäden unter den bei Zwischenkühlern üblicherweise auftretenden Betriebsbedingungen. Dies ging bereits aus der früheren Auswertung der Betriebserfahrung /ELM 12/ hervor und konnte durch die Auswertung der neueren Betriebserfahrung bestätigt werden.

Die Abschaltung zahlreicher Anlagen und deren Übergang in den Nachbetrieb sowie die in einigen Fällen damit verbundene Änderung der Betriebsbedingungen verursachte bislang keine auffälligen Schadenshäufungen. Nur in einer SWR-Anlage trat eine größere Anzahl an Schäden an Zwischenkühlern auf. Dies kann auf das Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Faktoren zurückgeführt werden (längerer Stillstand, ungünstige Werkstoffwahl, unvollständige Deckschichtbildung zum Korrosionsschutz, hoher Sedimentanfall).

Typischerweise kommen zur Schadensvermeidung Maßnahmen wie z. B. die regelmäßige Durchströmung der Kühler, ein optimierter Betrieb der Schwammkugelreinigungsanlage und die Konservierung von Kühlern im Stillstand zum Einsatz. Je nach Bedarf und anlagenspezifischen Gegebenheiten können weitere Maßnahmen wie das Aufbringen von Korrosionsschutzmitteln, das Entfernen von Sedimentablagerungen oder ein Übergang vom reinen Durchflussbetrieb auf einen Kreislaufbetrieb oder gemischten Betrieb zum Schutz der Zwischenkühler getroffen werden.

Bei den identifizierten meldepflichtigen Ereignissen an Zwischenkühlern war die Funktionsfähigkeit der betroffenen Zwischenkühler im Hinblick auf die Anforderung zur Wärmeübertragung nicht eingeschränkt. Durch die im Nachbetrieb geringer werdende abzuführende Wärmeleistung ergeben sich darüber hinaus größere Sicherheitsmargen, sowohl in Bezug auf die maximale Anzahl verschleißbarer Rohre als auch in Bezug auf Karennzeiten. Die Funktion der Zwischenkühler als zweite Aktivitätsbarriere wird durch Leckagen an WT-Rohren beeinträchtigt. Solange jedoch die erste Barriere intakt ist, was bei allen Ereignissen der Fall war, ist die sicherheitstechnische Bedeutung gering. Leckbehaftete WT-Rohre wurden zügig verschlossen und somit die Barriereintegrität wiederhergestellt.

Die Auswertung der Betriebserfahrung in diesem Bericht gibt keinen Hinweis darauf, dass aus sicherheitstechnischer Sicht zurzeit über bereits von den Anlagen umgesetzte Maßnahmen hinausgehender Handlungsbedarf besteht.

## 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. Im Berichtszeitraum wurden insgesamt 5 Weiterleitungsnachrichten erstellt.

Insgesamt 12 Ereignisse der Jahre 2018 und 2019 wurden im Rahmen der Precursor-Analyse ausgewählt und probabilistisch bewertet. 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 bewerteten Ereignisse ergab sich eine bedingte Wahrscheinlichkeit für Gefährdungszustände von  $\geq 10^{-6}$ . Somit ist keines der quantitativ bewerteten Ereignisse als Precursor einzustufen.

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.

Im Rahmen einer Auswertung von Schäden und Maßnahmen zu Schadensvermeidung an Zwischenkühlern, insbesondere im Nachbetrieb, wurde herausgearbeitet, welchen Beitrag die Betriebszeit sowie die im Nachbetrieb veränderten Betriebsbedingungen am Schadensgeschehen von Zwischenkühlern spielen. Geeignete Maßnahmen zur Schadensvermeidung, wie z. B. Anpassungen in der Betriebsweise, der Nutzung der Schwammkugelreinigungsanlage, sowie der Einsatz von Korrosionsschutzmitteln oder die Reinigung oder Konservierung von Kühlern im Stillstand, wurden abgeleitet.

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

- /DRS 90/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.
- /ELM 12/ Elmas, M., Reck, H., Cron, D. von der: Betriebserfahrung mit Komponenten der sicherheitstechnisch wichtigen Nebenkühlwassersysteme in deutschen Anlagen mit DWR und SWR. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3634, Köln, Februar 2012.
- /FAU 21/ Faust, S., Fleck, I., Jendrich, U.: Vermeidung von Schäden an Zwischenkühlern. Technischer Bericht, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln, Dezember 2021.
- /FLE 21/ Fleck, I., Faust, S., Jendrich, U.: Sachstandsbericht zu Ereignissen mit Schäden an Zwischenkühlern seit 2011. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Vorhaben 4721R01340, Köln, Oktober 2021.
- /GRS 14/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Methoden zur probabilistischen Bewertung von betrieblichen Ereignissen (Precursor-Analysen). GRS-A-3686 (Teil III), Köln, Januar 2014.
- /GRS 20/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren, Jahresbericht 2018/2019 (Oktober 2018 – September 2019). GRS-594, Köln, Juni 2020.
- /GRS 21/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren, Jahresbericht 2019 – 2021 (Oktober 2019 – März 2021). GRS-639, Köln, April 2021.
- /IAEA 18/ Safety Standards Series No. SSG-50: "Operating Experience Feedback for Nuclear Installations". Specific Safety Guide, International Atomic Energy Agency (IAEA), Wien, 2018.



## 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 4721R01311, sondern werden im Vorhaben 4721R01340 bearbeitet) .....	9
Abb. 3.1	Schnittansicht eines Motorlagers eines Dieselgenerators. Der rote Pfeil markiert das zur Dämpfung der Auslenkung des Lagers dienende elastomere Material.....	13



## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 4.1	Vorausgewählte Ereignisse des Jahres 2018 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen .....	23
Tab. 4.2	Vorausgewählte Ereignisse des Jahres 2019 und Ergebnisse der probabilistischen Bewertungen .....	24

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

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

Forschungszentrum  
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)