

Internationales GVA- Datenaustauschprojekt ICDE 2020 bis 2023

**Systematische Aufbereitung
der weltweiten
Betriebserfahrung mit
gemeinsam verursachten
Ausfällen im Rahmen
einer internationalen
Expertengruppe**

Internationales GVA- Datenaustauschprojekt ICDE 2020 bis 2023

Systematische Aufbereitung
der weltweiten
Betriebserfahrung mit
gemeinsam verursachten
Ausfällen im Rahmen
einer internationalen
Expertengruppe

Abschlussbericht

Christian Lambertus
Julia Simon
Jan Stiller

Oktober 2023

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4720R01350 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

Gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA), Internationale Betriebserfahrungsauswertung , OECD/NEA
International Common-cause Failure Data Exchange (ICDE) Project

Kurzfassung

Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) können die Verfügbarkeit von Einrichtungen des Sicherheitssystems von Kernkraftwerken (KKW) signifikant beeinträchtigen. Deshalb werden Informationen und Daten zu GVA-Ereignissen in einer Reihe von Ländern systematisch gesammelt und analysiert. Aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit von GVA reicht die Betriebserfahrung allein aus deutschen Kernkraftwerken für eine umfassende Kenntnis über GVA-Phänomene nicht aus. Daher ist es notwendig, auch die Betriebserfahrung anderer Länder zu nutzen.

Um die Betriebserfahrung mit GVA aus anderen Ländern zur Weiterentwicklung der Beurteilungsgrundlagen für GVA nutzen zu können, hat die GRS die Etablierung eines internationalen GVA-Arbeitskreises maßgeblich mitinitiiert. Dieser Arbeitskreis entwickelte das Projekt „International Common-cause Failure Data Exchange“ (ICDE). Das Ziel dieses seit mehr als 20 Jahren laufenden Projektes ist es, einen breit angelegten Informationsaustausch über beobachtete Ereignisse mit GVA-Relevanz zu organisieren, GVA-Ereignisse auszuwerten und die dabei erzielten Ergebnisse zu veröffentlichen sowie den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich GVA fortzuschreiben.

Die Arbeiten der GRS im Rahmen des ICDE-Vorhabens zur Bereitstellung und Auswertung der Betriebserfahrung mit GVA dienen der Absicherung und Erweiterung der Erkenntnisse über GVA im Hinblick auf probabilistische Sicherheitsanalysen, der Förderung des Verständnisses der Ursachen und Mechanismen von GVA und zur Bewertung von vorbeugenden Maßnahmen gegen das Auftreten von GVA.

Durch den langfristig angelegten Austausch sollen:

- GVA-Ereignisse, ihre Ursachen und Verhinderungsmöglichkeiten besser verstanden werden,
- ein qualitativer Einblick in die grundlegenden Ursachen („root causes“) von GVA-Ereignissen gewonnen werden, der dann genutzt werden kann, um vorbeugende Maßnahmen gegen das Auftreten solcher Ereignisse oder zur Abmilderung der Auswirkungen abzuleiten,
- ein effizienter Erfahrungsrückfluss über beobachtete GVA-Phänomene etabliert werden, der z. B. zur Entwicklung von Indikatoren zur risikoinformierten Aufsicht genutzt werden kann,

- quantitative Informationen über GVA-Ereignisse gewonnen werden, um
 - die Wirksamkeit von vorbeugenden Maßnahmen analysieren zu können,
 - belastbare Grundlagen für Zuverlässigkeitskennzahlen für GVA-Ereignisse im Rahmen von probabilistischen Sicherheitsanalysen zu erhalten,
 - in probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) verwendete GVA-Wahrscheinlichkeiten bzw. GVA-Raten beurteilen zu können.

Durch die Zusammenarbeit mit den am ICDE-Projekt beteiligten internationalen Partnerorganisationen wird der Umfang der vorliegenden Betriebserfahrung bezüglich GVA-Ereignissen gegenüber der rein nationalen Betriebserfahrung um mehr als den Faktor 10 erweitert. Hierdurch wird Folgendes erreicht:

- Die Informationsbasis bezüglich Ursachen, Fehlermechanismen und Auswirkungen von GVA wird erheblich verbreitert. Dies ermöglicht die Entwicklung von Vorsorgemaßnahmen auch gegen solche GVA-Phänomene, die in der deutschen Betriebserfahrung noch nicht beobachtet worden sind.
- Es werden Erkenntnisse hinsichtlich in ausländischen Kernkraftwerken getroffener Maßnahmen zur Vermeidung von GVA gewonnen.
- Es werden Informationen über die teilweise unterschiedlichen Methoden bei der Erfassung, Auswertung und Modellierung von GVA-Ereignissen in den verschiedenen Ländern ausgetauscht. Dieser Austausch dient der methodologischen Weiterentwicklung, auch im Hinblick auf Angleichung oder Vereinheitlichung der Auswertungs- und Analysemethodik.

Schwerpunkte der Arbeiten im ICDE-Lenkungskreis sind die Erstellung einer einheitlichen Datenbasis mit detaillierten Ausfall- und Ursachenbeschreibungen sowie Bewertungen von GVA-Ereignissen aus Anlagen in den Herkunftsländern der Projektteilnehmer.

Ein systematischer Informationsaustausch zu GVA-Ereignissen fand bisher zu den Komponentenarten „Kreispumpen“, „Notstromdieselgeneratoren“, „Motorbetätigte Absperrarmaturen“, „Sicherheits- und Entlastungsventile“, „Rückschlagarmaturen“, „Batterien“, „Leistungsschalter“, „Füllstandsmessungen“, „Steuerstäbe und Steuerstabantriebe“, „Wärmetauscher“, „Frischdampfisolationsventile“, „Lüfter“, „Softwarebasierte Leittech-

nik“, „Wechselrichter“ und „komponentengruppenübergreifende GVA“ statt. Im Berichtszeitraum wurde die deutsche Betriebserfahrung in Bezug auf systematische Ausfälle für alle Komponentenarten bis zum Ende des Jahres 2017 bzw. für eine Anlage bis Ende 2019 in die ICDE-Datenbank eingegeben. Hierbei wurde auf die im Rahmen der Vorhaben zur aktualisierten Bewertung von gemeinsam verursachten Ausfällen (Vorhaben 4722R01280, 4719R01371 und ihre Vorgängervorhaben) durchgeführte Auswertung der deutschen Betriebserfahrung bezüglich GVA aufgebaut.

In der ICDE-Datenbank sind zurzeit insgesamt 1955¹ Ereignisse, davon 156 vollständige GVA, erfasst. Die Anzahl der zur Verfügung gestellten Ereignisberichte übertrifft die aus der deutschen Betriebserfahrung vorhandenen Ereignisberichte um ein Vielfaches (z. B. sind bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben von insgesamt 177 Ereignissen in der ICDE-Datenbank nur sechs Ereignisse aus deutschen Anlagen). Insbesondere aus den USA und Frankreich mit ihrer großen Anzahl von Anlagen liegt eine Vielzahl an Ereignissen vor. Umfang und Detaillierungsgrad der Ereignisberichte der Teilnehmer sind in der Regel aussagekräftig genug, um die aufgetretenen Schadensmechanismen nachvollziehen und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf deutsche KKW bewerten zu können.

Während der Laufzeit des jetzt abgeschlossenen Vorhabens 4720R01350 diskutierte der ICDE-Lenkungskreis in vier Workshops Ereignisse aus der ICDE-Datenbank im Hinblick auf verschiedene Fragestellungen. Dabei wurden in zwei Workshops Ereignisse, die ihre Ursache in Defiziten der Sicherheitskultur haben, untersucht. Hierbei wird Sicherheitskultur umfassend verstanden, d. h. sie umfasst informelle Aspekte (Sicherheitskultur im engeren Sinn) und formalisierte Aspekte wie ein formales Managementsystem. Um die Ereignisse näher zu charakterisieren, wurde ein Codierungssystem entwickelt, erprobt und angewandt. In einem Workshop zu Batterien wurden an Batterien aufgetretene Ereignisse tiefergehend analysiert. Es ergab sich u. a., dass die schwersten GVA-Ereignisse an Batterien durch Mängel des Betriebs verursacht werden, vielfach in Verbindung mit nicht anforderungsgerechten Prüfungen oder unzureichender Testhäufigkeit. Im Workshop „Quantifizierung“ wurden verschiedene Aspekte diskutiert, die für die Bestimmung von GVA-Wahrscheinlichkeiten bzw. GVA-Raten aus ICDE-Daten relevant sind. Es wurde begonnen, einen Leitfaden zum Schätzen von GVA-Wahrscheinlichkeiten bzw. GVA-Raten aus ICDE-Daten zu entwickeln.

¹ Die angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Anzahl der ausländischen Ereignisse, die bereits sämtliche Stufen des QS-Prozesses durchlaufen haben sowie die Ereignisse der von der GRS ausgewerteten deutschen Betriebserfahrung.

Im Rahmen des Vorhabens wurde weiterhin ein statistisches Verfahren zur Analyse der Daten entwickelt und implementiert, das es erlaubt, aus der Statistik von beobachteten Ereignissen und ihrer Merkmale auf einen Zusammenhang bestimmter Merkmale zu schließen.

Darüber hinaus hat die GRS 192 aus ausländischen Anlagen in die ICDE-Datenbank eingespeiste Ereignisberichte systematisch ausgewertet. In den Vorläufervorhaben SR 2545, 3608R01338, 3611R01335, 3614R01301 und 4720R01350 wurden bereits die in der ICDE-Datenbank zum jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen Ereignisberichte zu Kreisel-pumpen, Notstromdieseln und Füllstandsmessungen, sowie motorbetätigten Absper-rarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventilen, Leistung-schaltern, Batterien, Steuerstabantrieben, Wärmetauschern sowie Frischdampfiso-lationsventile hinsichtlich der jeweils aufgetretenen GVA-Phänomene ausgewertet und mit den aus deutschen Anlagen bekannten Phänomenen verglichen. Die Ergebnisse sind in den Berichten /GRS 08a/, /GRS 08b/, /GRS 11a/, /GRS 11b/ /GRS 14a/, /GRS 14b/, /GRS 18/ sowie /GRS 20/ beschrieben. In diesem Vorhaben wurde darauf aufbauend die neu angefallene ausländische Betriebserfahrung ausgewertet. Es wurden dabei in Deutschland noch nicht aufgetretene GVA-Phänomene gefunden, u. a. eine systemati-sche Fehleinstellung von Grenzwerten, da die Grundlagen der bisherigen Festlegungen nicht ausreichend dokumentiert und den beteiligten Mitarbeitern nicht bekannt waren, und ein unzureichender Ladezustand von Batterien durch Absenkung der Raumtempe-ratur.

Abstract

Common-cause-failure (CCF) events can significantly impact the availability of the safety system of nuclear power plants. In recognition of this, CCF data is systematically being collected and analysed in several countries. Due to the low probability of occurrence of such events, it is not possible to derive a comprehensive evaluation of all relevant CCF-phenomena only from the operating experience in German nuclear power plants. Therefore, it is necessary to make use of the operating experience of other countries using similar technology.

The usage of CCF operating experience from other countries requires a common understanding about such CCF and how to collect data about them. To develop such a common understanding, GRS co-initiated the setting up of an international common-cause failure working group. This working group has elaborated the project „International Common-Cause Failure Data Exchange” (ICDE). The project’s objective is to organise a broad exchange of information concerning observed events with relevance to common-cause failures.

The activities of GRS within the framework of the ICDE project for the provision and evaluation of the operational experience with CCF serves to validate and broaden the knowledge about CCF with regard to probabilistic safety analyses, to promote the understanding of the causes and mechanisms of CCF and to evaluate the effectiveness of precautionary measures against CCF.

The objectives of the exchange on a long-term basis are to

- improve the comprehension of CCF events and their causes and their prevention,
- generate qualitative insights into the root causes of CCF events which can then be used to derive and assess preventive measures against the occurrence of such events or their consequences,
- establish efficient feedback of experience gained in connection with observed common-cause failure phenomena which could be used e. g. for the development of indicators for risk-based inspections, and
- provide quantitative information regarding the occurrence of common-cause failures to analyse the effectiveness of preventive measures and to obtain safe bases for common-cause failure reliability data in the frame of PSA.

Due to the co-operation with the partner organisations involved in the ICDE project, the extent of the feedback of experience with CCF events is substantially increased in comparison to the experience resulting from national operating experience. This will

- enlarge the information base for early identification of non or little known CCF phenomena including their causes and effects,
- provide experience with preventive measures taken in nuclear power plants of other countries,
- supply information regarding different methods in collecting, evaluating, and modelling CCF events in different countries. Thus, knowledge is gained to facilitate further development of the methods including a possible standardisation.

The main focus of the work within the ICDE Management Board is the creation of a uniform data basis with detailed breakdowns of failures and causes as well as evaluations of CCF events from plants in the countries of origin of the project participants.

Meanwhile, the information exchange in the frame of the ICDE project covers the operating experience for the component types “Centrifugal Pumps,” “Emergency Diesel Generators,” “Motor Operated Valves,” “Safety- and Relief-Valves,” “Check Valves,” “Batteries,” “Breakers,” “Level Measurement,” “Control Rods Drive Assemblies,” “Heat Exchangers,” “Main Steam Isolation Valves,” “Fans,” “Digital I&C,” “Inverters,” and “Cross component CCF.” During the reporting period, the German operational experience was analysed for all component types until the end of 2017 and for one plant until the end of 2019.

In total, the ICDE database currently contains 1955 events. 156 of these events were complete CCF were all redundant components failed. The number of event reports from foreign countries surpasses the German sources many times (e.g., for control rods and control rod drives, of a total of 177 events in the ICDE database, only six events are from German plants). Especially from the USA and France with their large number of power plants, a large number of events originates. Extent and level of detail of the participants' event reports are usually sufficient to understand the observed failure mechanisms.

During this project 4717R01337, several safety-relevant issues were discussed by the ICDE Management Board in four workshops. In two of these workshops, events that were caused by deficits in safety culture were examined. Here, safety culture is understood comprehensively, i.e., it includes informal aspects (safety culture in the narrower

sense) and formalised aspects such as a formal (safety) management system. In order to characterise the events in more detail, a coding system was developed and applied. In a workshop on batteries, CCFs of batteries were analysed in detail. It was found that the most serious CCF events on batteries are caused by operational deficits, often in connection with inadequate testing or insufficient testing frequency. In the workshop “Quantification,” various aspects were discussed that are relevant for the determination of CCF probabilities or rates from ICDE data. Work has started on developing a guideline for estimating CCF probabilities or CCF rates from ICDE data.

Furthermore, a statistical method based on Bayesian statistical methods was developed and implemented that allows for the quantitative assessment of the statistical significance of apparent correlations of characteristics of events.

In addition, GRS has systematically assessed the event reports which were provided by organisations from the other countries to the ICDE data exchange. In the previous projects SR 2545, 3608R01338, 3611R01335, 3614R01301, and 4720R01350, the available event reports on centrifugal pumps, emergency diesel generators and level measurement equipment as well as on motor operated valves, check valves, safety/relief valves, breakers, batteries, control rod drive assemblies and heat exchangers had been analysed with regard to the observed CCF phenomena. These phenomena had been compared to the phenomena already known in German plants. The results were documented in /GRS 08a/, /GRS 08b/, /GRS 11a/, /GRS 11b/, /GRS 14a/, /GRS 14b/, /GRS 18/, and /GRS 20/. In this project, the new foreign operating experience was evaluated. New CCF phenomena that had not yet occurred in Germany were found, e.g., systematically setting limit values wrong since the reasons of the previous specifications were not adequately documented and were not known to the staff involved, and degraded battery capacities due to a battery charging current decrease caused by a lowered room temperature.

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	I
	Abstract	V
1	Einführung und Zielsetzung	1
2	Organisation des ICDE-Projekts	5
2.1	Aufgabenverteilung innerhalb des Projekts	5
2.1.1	ICDE-Lenkungskreis	5
2.1.2	NEA-Sekretariat	7
2.1.3	Operating Agent	7
2.2	Vertraulichkeit der ICDE-Daten	7
2.3	Zustimmung der deutschen Betreiber	8
3	Abstimmung von Art und Umfang der für den ICDE- Datenaustausch vorgesehenen Informationen	9
3.1	Allgemeine ICDE-Kodieranleitung	10
3.2	Komponentenartspezifische Kodieranleitungen	11
3.3	Kodieranleitung zur Ereignisanalyse	12
3.4	ICDE-Datenbank	14
3.4.1	Struktur der ICDE-Datenbank	15
3.4.2	Weiterentwicklung der ICDE-Datenbanksoftware	17
4	Ergebnisse des ICDE-Projekts	19
4.1	Stand des ICDE-Datenaustauschs	19
4.2	Berichte des ICDE-Projektes	20
4.3	Workshops des ICDE-Projekts	22
4.3.1	Workshops zum Thema „Sicherheitskultur“	24
4.3.2	Workshop zum Thema „Batterien“	26
4.3.3	Workshop zum Thema „Quantifizierung“	27
4.4	Weitere Ergebnisse	29

5	Sammlung, Analyse und Bereitstellung von Informationen zu deutschen GVA-Ereignissen für den Datenaustausch	31
5.1	Stand der deutschen ICDE-Betriebserfahrungsauswertung	31
6	Auswertung der ICDE-Ereignisse aus anderen Ländern.....	35
6.1	Datenbasis und Vorgehensweise.....	36
6.2	Komponentenart Batterien	38
6.3	Komponentenart Frischdampfisolationsventile	39
6.4	Komponentenart Füllstandsmessungen.....	40
6.5	Komponentenart Kreiselpumpen.....	41
6.6	Komponentenart Leistungsschalter.....	44
6.7	Komponentenart Motorbetätigte Armaturen (MOVs).....	45
6.8	Komponentenart Notstromdiesel.....	46
6.9	Komponentenart Rückschlagarmaturen.....	50
6.10	Komponentenart Sicherheits- und Entlastungsventile.....	50
6.11	Komponentenart Steuerstäbe mit Antrieben	53
6.12	Komponentenart Wärmetauscher	53
6.13	Zusammenfassung der Auswertungen	54
6.14	Hinweise.....	55
7	Zusammenfassung und Ausblick zum ICDE-Projekt.....	59
	Literaturverzeichnis	63
	Tabellenverzeichnis	67
A	Anhang: Entwicklung eines statistischen Verfahrens zur Identifizierung und zum Nachweis von Abhängigkeiten von Merkmalen	69

1 Einführung und Zielsetzung

Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) können die Verfügbarkeit von Einrichtungen des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken signifikant beeinträchtigen. Deshalb werden Informationen und Daten zu GVA-Ereignissen in einer Reihe von Ländern systematisch gesammelt und analysiert. Aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit von GVA-Ereignissen reicht die Betriebserfahrung deutscher Kernkraftwerke nicht für eine umfassende Bewertung aus. Deshalb ist es notwendig, auch die Betriebserfahrung anderer Länder zu nutzen.

Eine direkte Nutzung der qualitativen und quantitativen GVA-Datensammlungen anderer Länder wird aber dadurch erschwert, dass die Kriterien, die bei der Sammlung von GVA-Ereignissen angewendet werden, und die Bewertung von GVA-Ereignissen in den einzelnen Ländern teilweise unterschiedlich sind. Außerdem kann es auch bei prinzipiell vergleichbarer Technik im Einzelfall wichtig sein, konstruktive Details zu kennen, um eine Übertragbarkeit beurteilen zu können. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass die Beschreibungen der gemeldeten Ereignisse, ihrer Ursachen und der Kopplungsfaktoren, die für die Bewertung der Ereignisse wichtig sind, gewöhnlich in den jeweiligen Landessprachen verfasst sind.

Um die Betriebserfahrung mit GVA aus anderen Ländern zur Weiterentwicklung der Beurteilungsgrundlagen für GVA nutzen zu können, hat die GRS die Etablierung eines internationalen GVA-Arbeitskreises maßgeblich mitinitiiert. Dieser Arbeitskreis entwickelte das Projekt „International Common-cause Failure Data Exchange“ (ICDE), das seit 1996 unter der Schirmherrschaft der OECD/NEA betrieben wird. Das Ziel dieses Projektes ist es, einen breit angelegten Informationsaustausch über beobachtete Ereignisse mit GVA-Relevanz zu organisieren. Dabei soll die Betriebserfahrung mit GVA der wesentlichen Komponenten des Sicherheitssystems erfasst werden.

Der Lenkungskreis des ICDE-Projektes setzt sich zusammen aus GVA-Experten der teilnehmenden Organisationen. Beteiligt sind hierbei sowohl Aufsichtsbehörden als auch Gutachterorganisationen und Forschungseinrichtungen. Teilweise werden die teilnehmenden Organisationen durch die Betreiber unterstützt. Zusätzlich zur Koordination der Datensammlung definiert der Lenkungskreis den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik bei der Erfassung und Bewertung von gemeinsam verursachten Ausfällen.

Die GRS arbeitet von Anfang an kontinuierlich im Lenkungskreis des ICDE-Projektes mit. Die Finanzierung der Mitarbeit der GRS im Lenkungskreis und der Aufbereitung von Informationen zu deutscher Betriebserfahrung mit GVA entsprechend den Anforderungen von ICDE erfolgte zunächst in den BMUV-Vorhaben SR 2276, SR 2418, SR 2468, SR 2545, 3608R01338, 3611R01335 und 3614R01301 und 4717R01337 und wurde im Rahmen des am 30.06.2023 abgeschlossenen und mit diesem Bericht dokumentierten Vorhaben 4720R01350 fortgeführt.

Die Arbeiten der GRS im Rahmen des ICDE-Vorhabens zur Bereitstellung und Auswertung der Betriebserfahrung mit GVA dienen der Absicherung und Erweiterung der Erkenntnisse über GVA im Hinblick auf probabilistische Sicherheitsanalysen, der Förderung des Verständnisses der Ursachen und Mechanismen von GVA und zur Bewertung von vorbeugenden Maßnahmen gegen das Auftreten von GVA.

Durch den langfristig angelegten Austausch sollen:

- GVA-Ereignisse, ihre Ursachen und Verhinderungsmöglichkeiten besser verstanden werden,
- qualitative Einblicke in die grundlegenden Ursachen („root causes“) von GVA-Ereignissen gewonnen werden, die dann genutzt werden können, um vorbeugende Maßnahmen gegen das Auftreten solcher Ereignisse oder zur Abmilderung der Auswirkungen abzuleiten,
- ein effizienter Erfahrungsrückfluss über beobachtete GVA-Phänomene etabliert werden, der z. B. zur Entwicklung von Indikatoren zur risikoinformierten Aufsicht genutzt werden kann,
- quantitative Informationen über GVA-Ereignisse gewonnen werden, um die Wirksamkeit von vorbeugenden Maßnahmen analysieren zu können und um belastbare Grundlagen für Zuverlässigkeitskennzahlen für GVA-Ereignisse im Rahmen von probabilistischen Sicherheitsanalysen zu erhalten und um probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) verwendete GVA-Wahrscheinlichkeiten bzw. GVA-Raten beurteilen zu können.

Durch die Zusammenarbeit mit den am ICDE-Projekt beteiligten internationalen Partnerorganisationen wird der Umfang der vorliegenden Betriebserfahrung bezüglich GVA-Ereignisse gegenüber der rein nationalen Betriebserfahrung um mehr als den Faktor 10 erweitert. Hierdurch wird Folgendes erreicht:

- Die Informationsbasis bezüglich Ursachen, Fehlermechanismen und Auswirkungen von GVA wird erheblich verbreitet. Dies ermöglicht die Entwicklung von Vorsorge-maßnahmen auch gegen solche GVA-Phänomene, die in der deutschen Betriebserfahrung nicht beobachtet worden sind.
- Es werden Erkenntnisse hinsichtlich in ausländischen Kernkraftwerken getroffener Maßnahmen zur Vermeidung von GVA gewonnen.
- Es werden Informationen über die teilweise unterschiedlichen Methoden bei der Erfassung, Auswertung und Modellierung von GVA-Ereignissen in den verschiedenen Ländern ausgetauscht. Dieser Austausch dient der methodologischen Weiterentwicklung, auch im Hinblick auf Angleichung oder Vereinheitlichung der Auswertungs- und Analysemethodik.

Da im Lenkungskreis des ICDE-Projektes GVA-Experten aus allen beteiligten Organisationen vertreten sind, wird durch die eigene Mitarbeit im Lenkungskreis die Mitwirkung am aktuellen internationalen Diskussionsstand zu GVA sichergestellt. Schwerpunkte der Arbeiten im ICDE-Projekt sind die Erstellung einer einheitlichen Datenbasis mit detaillierten Ausfall- und Ursachenbeschreibungen sowie Bewertungen von GVA-Ereignissen aus Anlagen in den Herkunftsländern der Projektteilnehmer.

Im vorliegenden Bericht wird zunächst das ICDE-Projekt vorgestellt. Dazu werden die organisatorischen Arbeiten und Entwicklungen beschrieben, die zur Lenkung des Projektes bis jetzt im Rahmen des laufenden Vorhabens notwendig waren. Dabei werden auch die wesentlichen organisatorischen Rahmenbedingungen des Projekts in ihren aktuellen Fassungen miterläutert. Danach werden der aktuelle Stand des ICDE-Datenaustauschs, die vom ICDE-Lenkungskreis erarbeiteten Auswertebereiche sowie die vom ICDE-Lenkungskreis durchgeführten Workshops zur Nutzung der ICDE-Daten vorgestellt. Anschließend werden die während der bisherigen Laufzeit des Vorhabens durchgeführten Auswertungen deutscher Betriebserfahrung mit GVA-Ereignissen und die dabei erzielten Ergebnisse beschrieben.

Mit den Berichten /GRS 08a/, /GRS 08b/, /GRS 11a/, /GRS 11b/, /GRS 14a/, /GRS 14b/, /GRS 18/ sowie /GRS 20/ hat die GRS basierend auf der zum Zeitpunkt der Berichtserstellung verfügbaren Datenlage die aus den ausländischen Anlagen in die ICDE-Datenbank eingespeisten Ereignisbeschreibungen dahingehend ausgewertet, ob die identifizierten Fehlermechanismen schon bekannt und für deutsche Kernkraftwerke re-

levant sind. In diesem Vorhaben wurde darauf aufbauend die seit diesen Erstauswertungen neu angefallene ausländische Betriebserfahrung ausgewertet. In Kapitel 6 dieses Berichts werden die für deutsche Anlagen als relevant erachteten Ereignisse kurz beschrieben und Hinweise formuliert, wie die bei diesen Ereignissen aufgetretenen Phänomene bei deutschen KKW verhindert werden können.

2 Organisation des ICDE-Projekts

2.1 Aufgabenverteilung innerhalb des Projekts

Im Rahmen des ICDE-Vorhabens müssen erhebliche Mengen sensibler Informationen – sowohl bezüglich der Anlagentechnik wie auch der beobachteten Ereignisse – sicher und effizient gehandhabt werden. Um dies zu gewährleisten, ist das ICDE-Projekt, dessen vorbereitende Aktivitäten Ende 1994 anliefen, in eine etablierte internationale Organisation eingebunden. Seit Ende 1996 hat das „Committee on the Safety of Nuclear Installations“ (CSNI) der OECD/NEA die formale Verwaltung des ICDE-Projekts übernommen.

Die Steuerung des Projekts erfolgt durch den ICDE-Lenkungskreis („Management Board“, vormals „Steering Group“). Dieser wird dabei vom NEA-Sekretariat und dem so genannten „Operating Agent“ unterstützt. Das NEA-Sekretariat ist verantwortlich für die finanzielle Verwaltung und technische Unterstützung des Projekts seitens der OECD/NEA. Der Operating Agent ist für die Datenbank und die Konsistenz der Daten verantwortlich. Der Lenkungskreis tagt durchschnittlich zweimal pro Jahr. Die im ICDE-Lenkungskreis zusammengeschlossenen Partnerorganisationen verpflichten sich in einer jeweils über drei oder vier Jahre laufenden Vereinbarung, fachlich zu dem Projekt beizutragen und die anteiligen Kosten für den Operating Agent zu übernehmen. Die aktuelle Vereinbarung („Phase IX“) läuft noch bis Dezember 2025.

2.1.1 ICDE-Lenkungskreis

Der ICDE-Lenkungskreis wird von den Projektkoordinatoren aller Teilnehmerorganisationen gebildet. Zum Verantwortungsbereich des ICDE-Lenkungskreises gehört es u. a., dass Entscheidungen getroffen werden zur

- Vorbereitung der rechtlich verbindlichen Vereinbarung zur Projektdurchführung,
- Sicherstellung der finanziellen Mittel zur Durchführung des Projekts durch Genehmigung des Budgets und der Kontrolle der Verwendung der Mittel,
- Sicherstellung der technischen Mittel, die zur Projektdurchführung notwendig sind,
- Benennung des Vorsitzenden und seines Vertreters,

- Aufnahme neuer Mitglieder,
- Abstimmung über Art und Umfang der auszutauschenden Informationen,
- Entwicklung von detaillierten Anforderungen an die Informationstiefe zu den GVA-Ereignissen und den zugehörigen Beobachtungseinheiten (Komponentengruppen), die in die ICDE-Datenbank aufgenommen werden sollen, und von Vorgaben zur Klassifizierung und Bewertung von ICDE-Ereignissen,
- Benennung von Federführenden für einzelne Projektaufgaben,
- Festlegung von Prioritäten für einzelne Aufgaben,
- Überwachung des Fortschritts der einzelnen Projektaufgaben,
- Steuerung und Überwachung der Arbeiten des Operating Agents,
- Bestimmung des Informationsflusses (öffentliche Information und Vertraulichkeit),
- Aufbau und Inhalt der Projektberichte und
- Qualitätssicherung.

Gegenwärtig sind folgende Partnerorganisationen im Lenkungskreis des ICDE-Projekts vertreten und bringen dort die Betriebserfahrung mit GVA-Ereignissen aus ihren jeweiligen Heimatländern ein: NRC (USA), CNSC (Kanada), IRSN (Frankreich), GRS (Deutschland), ENSI (Schweiz), SSM (Schweden), STUK (Finnland), NRA (Japan) und UJV (Tschechische Republik). ANVS (Niederlande) war in der VIII. Periode (bis Ende 2022) vertreten; die Niederlande beteiligen sich jedoch nicht an der IX. Periode. In den Heimatländern der beteiligten Organisationen befinden sich mehr als die Hälfte (221 von 438) der Kernkraftwerksblöcke, die sich weltweit im Leistungsbetrieb befinden.

Die Einspeisung von Daten erfolgt über die Projektkoordinatoren der einzelnen Teilnehmerorganisationen. Die ICDE-Datenbank ist nur für diejenigen Organisationen zugänglich, die die rechtlich verbindliche Vereinbarung zur Projektdurchführung unterschrieben und selbst auch eigene Daten eingespeist haben.

2.1.2 NEA-Sekretariat

Die OECD/NEA ist verantwortlich für die Verwaltung des Projekts entsprechend der Regeln der OECD. Dies beinhaltet Sekretariats- und Verwaltungsarbeiten im Zusammenhang mit der Finanzierung des Projekts wie Einforderung der Umlage der Mitgliedsorganisationen, Bezahlung des Operating Agents und Führung des Projekthaushalts. Weiterhin unterstützt sie die Sitzungsdurchführung. Die NEA bestimmt das Projektsekretariat, hat jedoch keinen Einfluss auf die inhaltliche Arbeit des Lenkungsausschusses.

2.1.3 Operating Agent

Die Aufgaben des Operating Agents werden von der schwedischen Firma „AFRY“ wahrgenommen². Die Kosten dafür werden von den teilnehmenden Organisationen anteilig übernommen. Der Operating Agent betreibt die ICDE-Datenbank und übernimmt die zentrale Führung der Projektdokumentation. Der Operating Agent führt die von den Projektteilnehmern gelieferten Informationen in der ICDE-Datenbank zusammen. Dabei kontrolliert er, ob die von den Projektkoordinatoren der teilnehmenden Organisationen zur Verfügung gestellten Informationen mit den Anforderungen der ICDE-Kodieranleitungen (siehe Anhang A) übereinstimmen. Zusammen mit den Projektkoordinatoren der teilnehmenden Organisationen stellt der Operating Agent sicher, dass die für den Austausch zur Verfügung gestellten Informationen korrekt in die ICDE-Datenbank aufgenommen werden. Die detaillierte Aufgabenverteilung zur Qualitätssicherung ist in einem Arbeitspapier des Projekts festgelegt („ICDE Quality Assurance Programme“).

2.2 Vertraulichkeit der ICDE-Daten

Für den detaillierten Informationsaustausch zu GVA-Ereignissen innerhalb des ICDE ist eine besondere Vertraulichkeit vereinbart worden, die dadurch gewahrt wird, dass die Ereignisberichte und die darin enthaltenen Detailinformationen als Geschäftsgeheimnisse zu behandeln sind (proprietary information) und als Arbeitsmaterial nur für die Teil-

² AFRY (<http://www.afry.com/>) ist aus der Fusion des bisherigen Operating Agents, der schwedische Firma ÅF-Industry mit der finnischen Firma Pöyry hervorgegangen; die Arbeit im Rahmen des ICDE-Projekts bleibt hiervon jedoch unberührt.

nehmer des ICDE-Lenkungskreises, die aktiv zu dem Datenaustausch beitragen, zugänglich sind. Vertrauliche Informationen, die nur für den ICDE-Lenkungskreis freigegeben worden sind, werden nicht an die OECD/NEA weitergegeben.

2.3 Zustimmung der deutschen Betreiber

Für eine aktive Teilnahme am internationalen GVA-Datenaustausch und für eine Mitarbeit im ICDE-Lenkungskreis ist die Weitergabe von Informationen aus dem eigenen Herkunftsland erforderlich. Hierbei handelt es sich zum einen um Informationen bezüglich des Aufbaus der Anlagen, zum anderen um Berichte bezüglich der beobachteten Ereignisse mit GVA-Potenzial. Die entsprechenden Informationen liegen der GRS vor und werden von dieser entsprechend den Vorgaben des ICDE-Projekts aufbereitet.

Um solche Informationen an andere Teilnehmerorganisationen weitergeben zu können, ist die Zustimmung der deutschen Betreiber erforderlich. Diese Zustimmung ist der GRS von der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. (VGB) Ende 1997 formell erteilt worden. Zwischen GRS und VGB ist vereinbart worden, dass die Datenweitergabe an den ICDE-Lenkungskreis in gleicher Weise wie bei der Weitergabe von Meldungen an das „Incident Reporting System“ (IRS) der IAEA erfolgt. Dabei erstellt die GRS zunächst die Informationen zu den GVA-Ereignissen entsprechend den ICDE-Anforderungen in englischer Sprache und versendet sie dann vor der Weitergabe an den ICDE-Lenkungskreis an die Betreiber der jeweiligen Kernkraftwerke zur Abstimmung. Die im Rahmen der Zusammenarbeit von den ausländischen Teilnehmern dem ICDE-Lenkungskreis zur Verfügung gestellten Informationen werden dann von der GRS der VGB zur Verfügung gestellt. Diese verteilt die Informationen an alle Betreiber der deutschen Kernkraftwerke. Auch dieser Informationsaustausch unterliegt in beiden Richtungen wegen seiner Sensitivität der besonderen Vertraulichkeit (siehe hierzu Abschnitt 2.2).

3 Abstimmung von Art und Umfang der für den ICDE-Datenaustausch vorgesehenen Informationen

Im Rahmen der Arbeiten, an denen die GRS im Rahmen der Vorläufervorhaben zum aktuellen Vorhaben 4720R01350 teilgenommen hat, ist zur Sicherstellung einer einheitlichen Qualität der ausgetauschten Informationen vom ICDE-Lenkungskreis eine grundsätzliche Abstimmung über Art und Umfang der auszutauschenden Informationen vorgenommen und ein entsprechendes allgemeines Datenaustauschformat erarbeitet worden. Auf Basis dieses Formats ist die ICDE-Datenbank entwickelt worden.

Das allgemeine Datenaustauschformat beinhaltet detaillierte Anforderungen an die Informationstiefe zu den GVA-Ereignissen, die in die ICDE-Datenbank aufgenommen werden sollen. Außerdem werden Erläuterungen zur Klassifizierung und Bewertung von ICDE-Ereignissen gegeben. Die entsprechenden Erläuterungen, Anleitungen und Hinweise werden in einer Kodieranleitung, dem General Coding Guide (Anhang A) zusammengefasst. Der General Coding Guide beschreibt zum einen das für sämtliche Komponentenarten gültige Datenaustauschformat und zum anderen für jede einzelne Komponententyp die entsprechenden Besonderheiten. Zusätzlich sind Hinweise und Erläuterungen zur Analyse von GVA-Ereignissen enthalten.

Im Berichtszeitraum wurde zusätzlich zu den schon vorhandenen komponententypspezifischen Kodieranleitungen (Kreiselpumpen, Notstromdieselgeneratoren, motorbetriebene Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Batterien, Füllstandsmessungen, Leistungsschalter, Steuerstäbe und Steuerstabantriebe, Wärmetauscher, Frischdampfisolationsventile, Lüfter, Softwarebasierte Leittechnik und Wechselrichter) die Entwicklung der Kodieranleitung für komponentengruppenübergreifende GVA abgeschlossen und diese verabschiedet.

Die aktuelle Fassung des General Coding Guide /ICD 23/ ist diesem Bericht in Anhang A beigelegt. In dieser Fassung sind sowohl die allgemeinen Kodieranleitungen, die bis jetzt fertiggestellten komponentenspezifischen Kodieranleitungen, die Failure Analysis Coding Guidelines und die CCF Root Cause Analysis enthalten. In den Failure Analysis Coding Guidelines werden Kriterien und Definitionen für die vertiefte qualitative Analyse der ICDE-Ereignisse definiert. In der CCF Root Cause Analysis wird beschrieben, wie die Ereignisursache anhand der kodierten Ereignismerkmale bestimmt wird. Der General Coding Guide wird stetig fortgeschrieben. In die jüngste Version wurde die Codierungs-

anleitung für komponentengruppenübergreifende GVA ebenfalls aufgenommen. Ausgehend von der als CSNI Tech Note Publication NEA/CSNI/R(2004)4 im Jahr 2004 veröffentlichten Fassung wurden bis 2023 insgesamt 10 innerhalb der ICDE-Projektdokumentation verfügbare Revisionen und vier Veröffentlichungen des Dokuments erarbeitet.

In den nachfolgenden Abschnitten wird ein kurzer Überblick über den Inhalt der Kodieranleitung gegeben. Anschließend wird die Struktur der ICDE-Datenbank vorgestellt.

3.1 Allgemeine ICDE-Kodieranleitung

Die allgemeine ICDE-Kodieranleitung beschreibt den Umfang des im Rahmen des ICDE-Projekts angelegten Datenaustauschs hinsichtlich der zu erfassenden Komponententypen und definiert:

- Ereignisse, die für den Datenaustausch in Frage kommen, als ICDE-Ereignisse, die sowohl GVA-Ereignisse als auch potenzielle GVA-Ereignisse sein können (durch die Ausweitung des GVA-Datenaustauschs auf potentielle GVA-Ereignisse soll die Sammlung von GVA-Phänomenen auf eine möglichst breite Basis gestellt werden),
- wie die Beobachtungseinheiten (Komponentengruppen), für die ICDE-Ereignisse gesammelt werden, kodiert werden,
- welche Informationen zur Identifizierung und Beschreibung einer Beobachtungseinheit erforderlich sind,
- welche statistischen Informationen zur Bestimmung der Beobachtungszeit bzw. entsprechender Bezugsgrößen für jede Beobachtungseinheit erforderlich sind und
- welche Informationen zur Beschreibung und Klassifizierung eines beobachteten ICDE-Ereignisses erforderlich sind.

Die einzelnen Informationen werden in entsprechenden Feldern der ICDE-Datenbank abgelegt (siehe Abschnitt 3.4). Zu jedem Datenfeld gibt es Vorgaben aus den allgemeinen Kodieranleitungen. Dies sind z. B. Merkpostenlisten, um eine umfassende und damit auswertbare Beschreibung der ICDE-Ereignisse sicherzustellen, oder Erläuterungen zur Klassifizierung und Bewertung der Ereignisse.

3.2 Komponentenartspezifische Kodieranleitungen

Die komponentenartspezifischen Kodieranleitungen umfassen

- eine allgemeine Beschreibung der zu erfassenden Komponenten einschließlich ihrer Aufgaben und Funktionsweise,
- eine Liste der Systeme, aus denen ICDE-Ereignisse mit diesen Komponenten erfasst werden sollen,
- eine Liste der Typen von Komponenten, die zu der betrachteten Komponentenart erfasst werden sollen (mit Typen sind hier nicht die Typbezeichnungen einzelner Hersteller gemeint, sondern Klassen von Komponenten einer Komponentenart, die sich nach physikalischer Funktionsweise oder prinzipiellem mechanischem Aufbau unterscheiden; bei Rückschlagarmaturen wird beispielsweise nach Rückschlagklappen und Rückschlagventilen unterschieden, bei Druckmessumformern unter anderem nach Messumformern mit Membranmesswerk oder mit Rohrfedermesswerk),
- eine Festlegung der Komponentengrenzen,
- eine Definition eines (Ausfall-)Ereignisses bei den betrachteten Komponenten,
- eine Festlegung, welche Komponenten zu einer Beobachtungseinheit / Komponentengruppe für die Erfassung von ICDE-Ereignissen zusammengefasst werden,
- eine Festlegung des minimalen Zeitraums, für den eine Auswertung der Betriebserfahrung durchgeführt werden soll,
- eine Liste von allgemeinen Regeln zur Kodierung von ICDE-Ereignissen,
- eine Definition der relevanten Ausfallarten und Beispiele zur Bewertung von geschädigten Komponenten, die zum Zeitpunkt der Entdeckung des Schadens im Hinblick auf die bewertete Ausfallart (z. B. Pumpe fördert nicht) nicht vollständig funktionsunfähig waren und
- eine Liste von Ausfallarten, für die die Auswertung der Betriebserfahrung obligatorisch ist, und eine Liste von Ausfallarten, für die die Betriebserfahrung optional eingespeist werden kann.

Aus den Erfahrungen der in den letzten Jahren im Rahmen des Lenkungskreises durchgeführten themen- und komponentenspezifischen Workshops zeigte sich, dass es zahlreiche offensichtliche oder versteckte Abhängigkeiten zwischen den einzelnen in den

komponentenartspezifischen Kodieranleitungen definierten Beobachtungseinheiten / Komponentengruppen gibt, wie z. B. gemeinsame Instandhaltungsteams und -verfahren, Einzelteile, die in mehreren Komponentengruppen verwendet werden, gemeinsames Kühlwasser, übergeordnete Leittechnik oder interne und externe Faktoren, die mehrere Komponentengruppen gleichzeitig betreffen können. Da systematische Fehler in diesen Bereichen zu schweren Beeinträchtigungen der Sicherheitssysteme führen können, sollen diese in Form von komponentengruppenübergreifenden GVA erfasst und analysiert werden.

Im Berichtszeitraum wurde deshalb eine Kodieranleitung für komponentengruppenübergreifende GVA weiterentwickelt und verabschiedet. Die Erfassung solcher komponentengruppenübergreifenden GVA erforderte spezielle Anpassungen in der Datenbanksoftware durch den Operating Agent. Mit dieser Anpassung ist es möglich, ein beobachtetes Ereignis mehreren Komponentengruppen zuzuordnen.

3.3 Kodieranleitung zur Ereignisanalyse

Die mit dem bisher durchgeführten Datenaustausch gewonnene Erfahrung nutzt der ICDE-Lenkungskreis, um bei Bedarf die Kodieranleitungen zu überarbeiten bzw. zu ergänzen. Folgende Aspekte werden im Rahmen der vom ICDE-Lenkungskreis durchgeführten Analysen erfasst und in der ICDE-Datenbank als Teil der "Common Cause Event Records" zu den Ereignissen zusätzlich kodiert:

- Eine Liste von Codes zur Markierung von „wichtigen“ Ereignissen, die neben dem GVA-Aspekt aus anderen Gründen von Interesse sind, z. B. Ereignisse,
 - bei denen mehrere unterschiedliche GVA aufgetreten sind,
 - die nicht mit dem normalen Prüfprogramm erkannt wurden,
 - bei denen nicht bekannte Abhängigkeiten erkannt wurden,
 - bei denen mehrere Blöcke betroffen waren,
 - bei denen es zu komponentengruppenübergreifenden Ausfällen gekommen ist oder
 - bei denen mehrere Qualitätssicherungsmaßnahmen zur Verhinderung von GVA versagt hatten.

- Eine Liste von Schweregradklassen zur Bewertung von GVA mitsamt entsprechenden Filtern für die Datenbankoberfläche, um Analysen von Ereignissen mit ähnlichen Auswirkungen auf die jeweilige Komponentengruppe zu ermöglichen, z. B:
 - vollständiger Ausfall aller Komponenten einer Komponentengruppe,
 - mehrere, aber nicht alle Komponenten einer Komponentengruppe ausgefallen,
 - eine Komponente ausgefallen und mindestens eine weitere Komponente beeinträchtigt,
 - alle Komponenten der Komponentengruppe ausgefallen oder beeinträchtigt,
 - alle Komponenten der Komponentengruppe beeinträchtigt, aber keine ausgefallen,
 - mehrere, aber nicht alle Komponenten einer Komponentengruppe beeinträchtigt, aber keine Komponente ausgefallen.

Darüber enthält die Kodieranleitung zur Ereignisanalyse die verschiedenen zusätzlichen Klassifizierungen der Ereignisse, die in der Vergangenheit in den Auswerteberichten des ICDE-Projekts verwendet wurden.

Hierbei handelt es sich vor allem um zusätzliche Bewertungskategorien zur Klassifizierung von Fehlermechanismen und Ausfallursachen (Failure Cause Categories) für statistische Aufbereitungen der Ereignisse in den Auswerteberichten. Es wurden zwei Gruppen von Ausfallursachen definiert:

- Mängel in der Betriebsführung:
 - Unzulängliche Instandhaltungs- oder Testprozeduren,
 - Alterungsmanagement unzureichend,
 - Fehler der Betriebsmannschaft bei Instandhaltung/Test.
- Design, Konstruktions- oder Herstellungsfehler:
 - Ungeeignetes Design einer Komponente oder eines Systems,
 - Unzureichende Konstruktion oder Herstellung,
 - Ungeeignete Design-Modifikation.

Des Weiteren enthält die Kodieranleitung zur Ereignisanalyse systematisierte, komponentenartspezifische Codes zur Beschreibung von GVA-Fehlermechanismen (Failure mechanism category bzw. Failure mechanism sub-category). Die entsprechenden Codes wurden sukzessive im Rahmen der Workshops entwickelt und liegen jetzt für alle Komponentenarten mit Ausnahme von Lüftern, Frischdampfisolationsventilen, software-basierter Leittechnik und Wechselrichtern vor. Für die noch ausstehenden Komponentenarten ist die Zahl der in der Datenbank hinterlegten Ereignisse noch nicht groß genug, um im Rahmen eines Komponentenworkshops entsprechende Kategorien zu entwickeln. Sobald ein entsprechender Umfang an Betriebserfahrung vorliegt, werden die entsprechenden Codes für die noch ausstehenden Komponentenarten entwickelt und ausformuliert. Die entsprechenden Codes sind in Abschnitt A1.4 von Anhang A zu finden.

3.4 ICDE-Datenbank

Die Oberfläche der ICDE-Datenbank basiert auf der Softwareumgebung „NET“ der Firma Microsoft. Für jede im Rahmen des ICDE-Datenaustauschs erfasste Komponentenart gibt es eine eigene Datenbankansicht. Diese Ansichten sind unter einer Oberfläche integriert. Die Zugangsmöglichkeiten zu den einzelnen Ansichten und damit zu den für jede Komponentenart erfassten Informationen sind durch ein umfangreiches Berechtigungssystem reglementiert.

Für den ersten Datenaustausch zu einer neuen Komponentenart ergänzt der Operating Agent die Definitionstabellen der ICDE-Datenbank nach der Abstimmung der komponentenartspezifischen Kodieranleitung im ICDE-Lenungskreis mit den entsprechenden Wertelisten und erzeugt so eine „leere“ Datenbank als neue Ansicht für die neue Komponentenart. Nach einer ersten Erprobung der „leeren“ Datenbank durch die für die jeweilige Komponentenart federführende Organisation sendet der Operating Agent je eine Kopie der ergänzten Datenbank an die Projektkoordinatoren derjenigen Organisationen, die am Datenaustausch teilnehmen wollen. Diese Projektkoordinatoren sorgen dann dafür, dass die Betriebserfahrung aus den eigenen Herkunftsländern entsprechend den Vorgaben und Mindestanforderungen aus den Kodierungsanleitungen erfasst und in ihre Datenbankkopie eingespeist wird. Diese senden sie dann an den Operating Agent, der eine Qualitätssicherung durchführt (siehe Abschnitt 2.1), gegebenenfalls Klarstellungen oder Ergänzungen seitens des Projektkoordinators der federführenden Organisation einfordert und danach die Daten in die Stamm-Datenbank überspielt.

Wenn die Daten aller Teilnehmer am ersten Datenaustausch zu einer neuen Komponentenart eingegangen sind, erhält jede Organisation, die eigene Daten geliefert hat, die Stammdatenbank mit allen Daten aus dem ersten Datenaustausch dieser Teilnehmer zugesandt.

Bei späteren Datenupdates, bei denen für eine Komponentenart zusätzliche Beobachtungszeiträume ausgewertet werden, erhält jede Organisation, die eigene Daten geliefert hat, die Stammdatenbank mit allen Daten zugesandt, auf die die Organisation zugriffsberechtigt ist. Da nicht alle Organisationen bei jeder Komponentenart am Datenaustausch teilnehmen und bei den einzelnen Komponentenarten nicht in gleichem Umfang Daten in die ICDE-Datenbank einspeisen, wird auf diese Weise sichergestellt, dass jede Organisation nur Daten für solche Komponentenarten und Auswertungszeiträume erhält, für die sie auch eigene Beiträge geliefert hat.

3.4.1 Struktur der ICDE-Datenbank

Die ICDE-Datenbank beinhaltet zwei wesentliche Datenstrukturen:

- Observed Population Records und
- Event Records.

In den „Observed Population Records“ (OP-Records) werden die einzelnen Beobachtungseinheiten/Komponentengruppen beschrieben, die zum ausgewerteten Beobachtungsumfang gehören. Bei diesen Beobachtungseinheiten bzw. Komponentengruppen handelt es sich i. d. R. um Gruppen aus gleichartigen, redundanten Komponenten (wie z. B. die vier D1-Notstromdiesel in einem deutschen DWR), die eine identische oder sehr ähnliche Aufgabe im Sicherheitssystem haben. Erfasst werden u. a. folgende Informationen:

- Anlage,
- Komponentenart,
- Zugehöriges System,
- Zahl der Einzelkomponenten,
- Testmethode und Testintervall und
- Hersteller.

Darüber hinaus werden im OP-Record auch die zugehörigen statistischen Informationen wie z. B. der Beobachtungszeitraum sowie die Zahl der im ausgewerteten Beobachtungszeitraum aufgetretenen Einzelfehler für alle ausgewerteten Ausfallarten erfasst. Die „Observed Population Records“ bilden die Grundstruktur der Datensammlung und werden unabhängig von den erfassten GVA-Ereignissen zur Beschreibung der Grundgesamtheiten für jede ausgewertete Komponentenart angelegt, d. h. die OP-Records werden im Rahmen des Erstrundendatenaustauschs für alle vom Datenaustausch erfassten Komponenten angelegt, unabhängig davon, ob tatsächlich GVA-Ereignisse in der entsprechenden Komponentengruppe aufgetreten sind³. Für die deutschen KKW existieren aktuell 1472 OP-Records, die eine Betriebserfahrung von 32231,6 Komponentengruppenjahren sowie 255359,8 Komponentenjahren abdecken. Dies umfasst die Daten, für die zurzeit noch keine Freigabe der Betreiber vorliegt.

In den „Common Cause Event Records“ werden die beobachteten GVA-Ereignisse beschrieben und bewertet. Jedes Ereignis ist mit demjenigen Observed Population Record verknüpft, der die Beobachtungseinheit/Komponentengruppe beschreibt, in der das Ereignis aufgetreten ist. Die Common Cause Event Records umfassen Textfelder, numerische Felder sowie Schlüsselfelder. Mit Hilfe der Textfelder wird der Ereignisablauf, die Ereignisursache sowie die Bewertung des Ereignisses unter GVA-Gesichtspunkten beschrieben.

Die zusätzlich vorhandenen Schlüsselfelder ermöglichen Recherchen unter bestimmten Gesichtspunkten wie z. B.

- Ausfallart,
- Ursachenklassifizierung (Event Cause und CCF Root Cause),
- getroffene Abhilfemaßnahmen (Klassifizierung) und
- Art der Fehlerentdeckung (z. B. Test oder Anforderung).

³ Eine diesbezügliche Ausnahme stellt die Komponentenart „Softwarebasierte Leittechnik“ dar. Hier ist es nicht erforderlich, die OP-Records vollständig zu ermitteln. Dementsprechend werden die Komponentengruppen im Allgemeinen erst angelegt, wenn ein GVA in der entsprechenden Komponentengruppe aufgetreten ist.

Weitere Schlüsselfelder erlauben eine klassifizierende Bewertung der Gleichartigkeit der beobachteten Ausfall- bzw. Schadensursachen (Shared Cause factor), der Gleichzeitigkeit der beobachteten Ausfälle bzw. Schäden (Time factor) und des Schädigungsgrads der betroffenen Komponenten (Component degradation value). Der Schädigungsgrad der Komponenten wird mittels eines „Schädigungsvektors“ (Impairment vector) beschrieben, der den Grad der Schädigung der einzelnen Komponenten beschreibt. Hierbei wird folgendes Schema verwendet:

- Ausgefallen (Complete Failure – C): Die Komponente war nicht in der Lage ihre sicherheitstechnische Funktion zu erfüllen.
- Geschädigt (Degraded – D): Die Komponente war im Wesentlichen in der Lage ihre spezifizierte sicherheitstechnische Funktion zu erfüllen, wies jedoch funktionsrelevante Schädigungen auf.
- Schwach geschädigt (Incipient failure – I): Die Komponente war in der Lage ihre spezifizierte sicherheitstechnische Funktion zu erfüllen und wies keine funktionsrelevanten Schädigungen auf, war jedoch von einem GVA-Fehlermechanismus betroffen, der sich zu einem Funktionsausfall hätte entwickeln können.
- Funktionsfähig. (Working – W): Die Komponente war von dem GVA-Fehlermechanismus nicht betroffen.

Weitere Details zum verwendeten Kodierungsschema sind im General Coding Guide, der als Anhang A diesem Bericht beigefügt ist, enthalten.

3.4.2 Weiterentwicklung der ICDE-Datenbanksoftware

Die Datenbanksoftware wird kontinuierlich gepflegt und auf Anforderung des ICDE-Lenkungskreises weiterentwickelt. Suchfunktionen, Navigiermöglichkeiten und die Erzeugung von Reports wurden im Berichtszeitraum optimiert. Z. B. wurde der Report über OP-Records um die Anzeige von Informationen zum Hersteller ergänzt.

4 Ergebnisse des ICDE-Projekts

4.1 Stand des ICDE-Datenaustauschs

Während des Berichtszeitraums erfolgten zu den Komponentenarten Batterien, Leistungsschalter, Kreiselpumpen, Rückschlagarmaturen, Steuerstäbe und Steuerstabantriebe, Notstromdieselgeneratoren, Lüfter, Wärmetauscher, Füllstandsmessungen, Frischdampfisolationsventile, motorbetätigten Absperrarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile sowie Wechselrichter Updates für neue Beobachtungszeiträume. Weiterhin wurden zwei neue Ereignisse als komponentengruppenübergreifende GVA kodiert.

In Tab. 4.1 ist ein Überblick über die Datensätze zu den einzelnen Komponentenarten gegeben. Die Daten beinhalten die zum Vorhabensende 30.06.2023 ausgewertete zugängliche ausländische Betriebserfahrung sowie die ausgewertete deutsche Betriebserfahrung – letztere ist jedoch erst zum Teil von den Betreibern freigegeben worden.

Tab. 4.1 Umfang der ICDE-Datenbank

Komponentenart	Anzahl der Observed Population Records (Komponentengruppen)	Komponentengruppenjahre	Anzahl ICDE-Ereignisse
Batterien	402	6.169	85
Leistungsschalter	1.362	26.106	113
Kreiselpumpen	1.726	38.963	413
Rückschlagarmaturen	1.225	23.904	118
Steuerstäbe und Antriebe	490	7.663	178
Diesel	318	6436	321
Softwarebasierte Leittechnik	4 [†]	41 [†]	4
Ventilatoren	729	13.226	32
Wärmetauscher	606	16.893	59
Wechselrichter	17	384	1
Füllstandsmessungen	583	10.645	165
Frischdampfisolationsventile	184	3.772	12
Motorbetätigte Absperrarmaturen	1.417	30.645	182

Komponentenart	Anzahl der Observed Population Records (Komponentengruppen)	Komponentengruppenjahre	Anzahl ICDE-Ereignisse
Sicherheitsventile	750	16.588	272
Komponentengruppenübergreifende GVA	nicht anwendbar	nicht anwendbar	9
Summe	9.813	201.435	1.955

† Bei der softwarebasierten Leittechnik besteht keine Anforderung, die OP-Records der beobachteten Population vollständig zu ermitteln und einzugeben. Somit ist davon auszugehen, dass im Wesentlichen OP-Records derjenigen Einrichtungen übermittelt werden, bei denen Ereignisse aufgetreten sind. Deshalb ist bei dieser Komponentenart die tatsächlich ausgewertete Betriebserfahrung wesentlich größer als die in der Datenbank enthaltenen Anzahl OP-Records bzw. Komponentengruppenjahre.

4.2 Berichte des ICDE-Projektes

Um die Arbeiten des ICDE-Projekts der Fachwelt transparent zu machen, berichtet der ICDE-Lenkungskreis über die Ergebnisse der Auswertungen zu den einzelnen Komponentenarten bzw. über spezifische, komponentengruppenübergreifende Themen wie z. B. „GVA-Ereignisse durch äußere Einwirkungen“ im Rahmen der Schriftenreihe der OECD/NEA/CSNI. Ziele dieser Berichte sind üblicherweise:

- Entwicklung qualitativer Erkenntnisse über die Ereignisse, ausgedrückt durch Ereignisursachen, Kopplungsfaktoren und Korrekturmaßnahmen,
- Identifizierung von Verbesserungs- und Vorsorgemöglichkeiten,
- Darstellung von gewonnenen Erkenntnissen und Empfehlungen.

Bisher waren bereits folgende Berichte erschienen:

- Komponentenbericht: Kreiselpumpen 1 /NEA 99/,
- Komponentenbericht: Notstromdiesel /NEA 00/,
- Komponentenbericht: Motorbetätigte Absperrarmaturen /NEA 01/,
- Komponentenbericht: Sicherheits- und Entlastungsventilen /NEA 02/,
- Komponentenbericht: Rückschlagarmaturen /NEA 03/,
- Komponentenbericht: Batterien /NEA 03a/,
- Komponentenbericht: Leistungsschalter /NEA 08a/,

- Komponentenbericht: Füllstandsmessungen /NEA 08b/,
- Komponentenbericht: Kreiselpumpen 2 /NEA 13a/ (Update zu /NEA 99/),
- Komponentenbericht: Steuerstäbe und -antriebe /NEA 13b/,
- Komponentenbericht: Wärmetauscher /NEA 15a/,
- Themenbericht: GVA-Ereignisse durch äußere Einwirkungen /NEA 15b/,
- Komponentenbericht: Notstromdiesel 2 (Update zu /NEA 00/) /NEA 17/,
- Themenbericht: GVA-Ereignisse an Notstromdieselgeneratoren, bei denen die komplette Komponentengruppe betroffen war /NEA 18/.

Im Vorhabenszeitraum wurden Berichte zu folgenden Komponentenarten bzw. Themen im Rahmen der OECD/NEA/CSNI-Schriftenreihe veröffentlicht:

- Themenbericht: GVA-Ereignisse infolge von Modifikationen an der Anlage (Collection and Analysis of Common-Cause Failures due to Nuclear Power Plant Modifications) /NEA 20/,
- Themenbericht: Mehrblockanlagen (ICDE Topical Report: Collection and Analysis of Multi-Unit Common-Cause Failure Events) /NEA 22/,
- Themenbericht: Systemübergreifende GVA (Collection and Analysis of Intersystem Common-Cause Failure Events) /NEA 22a/,
- Themenbericht: Verbessern der Prüfungen (ICDE Topical Report: Provision against Common-Cause Failures by Improving Testing) /NEA 22b/.

Aktuell befinden sich folgende Berichte im QS-Prozess bzw. werden bei der OECD/NEA zur Veröffentlichung vorbereitet:

- Komponentenbericht: Sicherheits- und Entlastungsventile (ICDE Topical Report: Common-Cause Failures of Safety and Relief Valves),
- Komponentenbericht: Batterien (ICDE Component Report: Lessons Learned from Common-Cause Failures of Batteries),
- Komponentenbericht: Motorbetätigte Ventile (ICDE Component Report: Common-Cause Failures of Motor Operated Valves (MOV)),

- Themenbericht: GVA durch externe Einwirkungen auf Komponenten (ICDE Topical Report: Operational Experience on Common-Cause Failures due to External Environmental Factors),
- Themenbericht: GVA durch menschliche Fehlhandlungen, die zu latenten GVA führten (ICDE Topical Report: Pre-initiator Human Failure Events),
- Projektbericht: Überblick VIII. Phase des ICDE (Summary of Phase VIII of the International Common-Cause Data Exchange Project).

Im Internet wird das ICDE-Projekt von der OECD/NEA (<http://www.oecd-nea.org/jointproj/icde.html>) vorgestellt, dort sind auch die oben erwähnten veröffentlichten Berichte frei und öffentlich erhältlich. Darüber hinaus sind die Berichte sowie weitere öffentlich zugängliche Dokumente auf der Internetseite des Operating Agent (<https://projectportal.afconsult.com/ProjectPortal/icde>) verfügbar. Vom CSNI akzeptierte, aber noch nicht von der OECD-NEA veröffentlichte Berichte können nicht mehr auf der ICDE-Website öffentlich zugänglich gemacht werden; sie sind auf Anfrage vom Operating Agent erhältlich. Die Kontaktinformationen können der Internetseite <https://projectportal.afconsult.com/ProjectPortal/icde> entnommen werden.

Ein wesentlicher Bestandteil des ICDE-Projekts ist die Präsentation von Arbeitsergebnissen bei internationalen Fachkonferenzen. Im Rahmen der „16th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (PSAM 16)“, die vom 26 Juni bis 1. Juli 2022 in Honolulu stattfand, wurden das ICDE-Projekt, ausgewählte bisher erzielte Ergebnisse sowie Anwendungsmöglichkeiten der Daten vorgestellt /CHA 22/.

4.3 Workshops des ICDE-Projekts

Während der Laufzeit des Vorhabens 4720R01350 wurden vier Workshops durchgeführt, in denen die in der Datenbank enthaltenen Ereignisse hinsichtlich bestimmter Themen ausgewertet wurden.

Die Themen der Workshops werden jeweils in den vorausgehenden Treffen des ICDE-Lenkungskreises festgelegt. Hierbei kann es sich sowohl um themen- wie auch komponentenspezifische Auswertungen handeln. Anschließend werden in Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmern und dem Operating Agent Suchkriterien entwickelt, anhand derer Ereignisse identifiziert werden können, die für das ausgewählte Thema des Work-

shops relevant sind. Hierbei ist es zwingend erforderlich, auf automatisierte Suchverfahren zurückzugreifen, da der Umfang der Datenbank eine manuelle Betrachtung jedes einzelnen Ereignisses nicht mehr zulässt. Ziel der Vorauswahl ist es, einen Satz von 30 bis 50 Ereignissen zu erzeugen, die dann im Rahmen des eigentlichen Workshops vertieft analysiert werden.

Zur Durchführung des Workshops werden Gruppen aus 2 bis 5 Personen gebildet. Die Teilnehmer rekrutieren sich im Wesentlichen aus den Projektverantwortlichen der einzelnen Teilnehmerorganisationen. Die Teilnahme zusätzlicher Experten von Betreibern, Aufsichtsbehörden oder sonstigen Organisationen ist mit Zustimmung des Lenkungs-kreises ebenfalls möglich und hat sich als sehr nützlich erwiesen, um weitere inhaltliche Perspektiven in den Workshop zu integrieren. Je nach Zahl der Ereignisse und Teilneh-mern muss jede Gruppe 5 - 10 Ereignisse analysieren. Dies geschieht anhand eines generischen Workshopformats, das um zusätzliche, themenspezifische Fragestellungen ergänzt wird.

Die Ergebnisse der Expertenanalysen werden in einem vorab definierten Format in der Datenbank abgelegt und anschließend in Zusammenarbeit von ICDE-Lenkungs-kreis und Operating Agent zunächst zu einem „Workshop Summary“ und nach Herausarbei-ten der wesentlichen Inhalte zu einem Bericht verarbeitet, der dann im Rahmen der OECD/NEA/CSNI-Schriftenreihe veröffentlicht wird.

Tab. 4.2 Übersicht der ICDE-Workshops

ICDE-Treffen	Thema des Workshops
Nr. 51 (virtuell)	Sicherheitskultur (1. Workshop)
Nr. 52 (virtuell)	Batterien
Nr. 54 (virtuell)	Quantifizierung
Nr. 56 (hybrid Paris/virtuell)	Sicherheitskultur (2. Workshop)

Auf dem 53. ICDE-Treffen fand statt eines Workshops eine Diskussion über übergrei-fende GVA und über die aktuellen Berichte statt, während auf dem 55. Treffen der Ab-schlussbericht der IX. Periode des OECD/NEA-Projektes entwickelt wurde.

Die Ergebnisse der einzelnen Workshops werden im Folgenden kurz zusammengefasst. Hierbei wird auch auf Arbeiten eingegangen, die der Vor- und Nachbereitung der Work-shops dienten.

4.3.1 Workshops zum Thema „Sicherheitskultur“

Den Auftakt zur Studie über Defizite in der Sicherheitskultur als Ursache von GVA bildete ein im Anschluss an das 51. Lenkungskreistreffen im Oktober 2020 durchgeführter Workshop. Gegenstand dieses Workshops war die Analyse von Ereignissen aus der Betriebserfahrung mit KKW, die einen Bezug zur Sicherheitskultur aufwiesen. Hierzu war vom Operating Agent eine Liste von Ereignissen zusammengestellt worden, die potenziell durch Defizite in der Sicherheitskultur verursacht wurden. Diese wurden von mehreren Gruppen von Experten analysiert und codiert. Als Codierungsschema wurde das IAEA Working Document „A Harmonized Safety Culture Model“ /IAE 20/ verwendet. Die beteiligten Experten umfassten neben Mitgliedern des Management Boards des ICDE auch Mitglieder von WGHOFF und WGSC. Weiterhin wurden der Ansatz und Verbesserungsmöglichkeiten im Plenum diskutiert. Es bestand ein Konsens darüber, dass der Grundansatz zielführend ist. Sicherheitskultur soll umfassend verstanden werden, d.h. informelle Aspekte (Sicherheitskultur im engeren Sinn) und formalisierte Aspekte (z. B. beschriebene Prozeduren, IT-Anwendungen und ein formales Managementsystem) umfassen. Diese werden in /IAE 20/ nicht vollständig abgedeckt, so dass eine Erweiterung dieses Codierungssystems diskutiert wurde. Weiterhin ergab die Diskussion der Analyseergebnisse der einzelnen Gruppen im Plenum, dass verschiedene Ansätze verfolgt worden waren, mit welcher Sicherheit die Merkmale aus den zur Verfügung stehenden Informationsquellen abgeleitet werden können müssen, um berücksichtigt zu werden. Während in einigen Gruppen nur explizit genannte Merkmale codiert wurden, wurden von anderen Gruppen auch Merkmale berücksichtigt, auf die sich indirekt schließen ließ bzw. die nach der Erfahrung der Experten wahrscheinlich vorlagen. Es wurde gefolgert, dass eine Festlegung der erforderlichen Sicherheit in der Codierungsanleitung notwendig sei oder die Aussagesicherheit zusätzlich codiert werden müsse. Dies wurde in folgenden Sitzungen des Management Boards dahingehend konkretisiert, dass auf Vorschlag der GRS eine vierstufige Skala verwendet wird, um die Sicherheit der Codierung zu erfassen:

Explicitly stated: Explicitly stated in the event description and supported by the event coding.

High: Indirectly deducible from event description and coding. Not explicitly stated, but expert is sure from the information in the description and coding that the attribute must have been present. It is not reasonably

conceivable how this event could have happened as described (and coded) if the attribute was not present.

Medium: Very likely, given information in description and coding. Expert rates the presence of the attribute as very likely, given her/his experience and prior knowledge, but another cause cannot be entirely excluded.

Low: Presence of the attribute somewhat supported by the event coding and/or description.

Um auch die Management-System bezogenen Aspekte abzudecken, wurde darüber hinaus ein ergänzender Merkmalkomplex „MS – Management System“ entwickelt, der sieben Aspekte beinhaltet:

MS.1: Integration of the Management System

MS.2: Coverage and Effectiveness of the Management System

MS.3: Measurement, Assessment, and Improvement of the Management System

MS.4: Management of the Supply Chain

MS.5: Implementation, Supervision and Continual Improvement of the Management System

MS.6: Provision of Resources

MS.7: Documentation of the Management System

Dieser beruht auf den Anforderungen im IAEA GSR Part 2 „Leadership and Management for Safety“ /IAEA 16/, die Sicherheitsmanagement-bezogene Aspekte betreffen, und aus einer Auswertung der KTA 1402. Weiterhin wurden abstrakte Codes definiert, die verwendet werden, wenn keine ausreichenden Detailinformationen vorliegen:

MS: Unspecified deficit of the Management System

SC: Unspecified deficit of Safety Culture (in the narrow sense excluding the Management System)

SCM: Unspecified deficit of Safety Culture (in the broad sense including the Management System)

Die Ergänzungen des Codierungsschemas wurden im Folgenden in mehreren Probeanwendungen validiert und werden für die weiteren Analysen eingesetzt.

Insbesondere wurden sie im zweiten Workshop zum Thema „Sicherheitskultur“ im Rahmen der 56. Sitzung des Management Boards im März 2023 angewandt. Es wurden vier Gruppen mit vier bis fünf Experten gebildet, die Ereignisse analysierten und gemäß dem weiterentwickelten Codierungsschema codierten. Das Codierungsschema bewährte sich. Es zeigte sich, dass die identifizierte Merkmale in viele Fällen nur mit einer Sicherheit von „Medium“ oder „Low“ bewertet werden konnten, da keine eindeutigen Informationen vorlagen. Der Operating Agent hat begonnen, die Ergebnisse des Workshops auszuwerten und den Entwurf des Berichts zur Sicherheitskultur entsprechend weiterzuentwickeln. Für das nächste Treffen ist eine Diskussion der Ergebnisse geplant. Ebenfalls soll ein dritter Workshop zum Thema Sicherheitskultur unter Einbeziehung externer Experten in Zukunft stattfinden. Die Ergebnisse sollen später detailliert in einem Bericht veröffentlicht werden. Eine vorläufige Arbeitsversion des Berichtes liegt vor.

4.3.2 Workshop zum Thema „Batterien“

Im Rahmen der 52. Sitzung des Lenkungskreises im April 2021 wurde ein Workshop zum Thema „Batterien“ durchgeführt. Die Analyse der Ereignisse liefert folgende wesentliche qualitative Erkenntnisse:

- Die am häufigsten auftretenden GVA-Phänomene sind Konstruktionsfehler, die zu Ausfällen aufgrund unzureichender Batteriekapazität führen.

- Die meisten der beobachteten Batterieereignisse hatten keine gravierenden Auswirkungen. Sie entwickelten sich im Allgemeinen langsam und wiesen eine hohe Latenzzeit auf; etwa drei Viertel der Ereignisse hatten eine Latenzzeit von mehr als einem Vierteljahr. Verkürzte Testintervalle oder verbesserte Testverfahren könnten hier zu einer Verringerung der Auswirkungen beitragen, da sich entwickelnde Schäden erkannt werden könnten, bevor erhebliche Funktionseinschränkungen auftreten.
- Die schwersten GVA-Ereignisse an Batterien werden durch Betriebsmängeln verursacht, vielfach in Verbindung mit nicht anforderungsgerechten Prüfungen oder unzureichender Testhäufigkeit.
- Die GVA-Ereignisrate ist in den letzten Jahren zurückgegangen und seit den 1990er Jahren sind schwerwiegende GVA-Ereignisse vollständig ausgeblieben. Dies kann damit erklärt werden, dass effektive Verbesserungen beim Batteriedesign, beim Testen und bei der Wartung umgesetzt wurden.

Die Ergebnisse werden detailliert im Bericht „Lessons Learned from Common-Cause Failures of Batteries“ dargestellt. Die Zustimmung des CSNI zu diesem Bericht liegt vor; er befindet sich in der Endredaktion bei der NEA.

Im Nachgang des Workshops wurde in Bezug auf den letzten Punkt die deutsche Betriebsweise und Betriebserfahrung, sowie Änderungen des Regelwerks bezüglich Batterien auf signifikante Veränderungen in den letzten 10 bis 30 Jahren hin geprüft. Für Deutschland waren keine relevanten Veränderungen auszumachen, die im zeitlichen Zusammenhang mit dem Beginn dieses Trends lagen. Betrachtet man die deutschen Ereignisse separiert, ist ein solcher Trend bzgl. GVA-Ereignissen an Batterien auch nicht festzustellen.

4.3.3 Workshop zum Thema „Quantifizierung“

Im Rahmen der 54. Sitzung des Lenkungskreises im März 2022 wurde ein Workshop zum Thema Quantifizierung durchgeführt. Hierbei wurden im Unterschied zu den anderen Workshops keine einzelnen Ereignisse vertieft analysiert, sondern es wurden in einzelnen Gruppen und im Plenum verschiedene Themen, die bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen relevant sind, diskutiert. Diese wurden auf Vorschlag des Operating Agent wie folgt strukturiert:

1. Vollständigkeit der Ereignisse

2. Vollständigkeit der OP-Records, d. h. Vollständigkeit der Bezugszeiten
3. Interpretation der Ereignisse, d. h., wie werden geschädigte, aber nicht ausgefallene Komponenten behandelt.
4. Übertragbarkeit der Ereignisse; dies umfasst
 - a. Ausschluss von nicht übertragbaren Ereignissen,
 - b. Homogenität der Daten,
 - c. Spezielle Fragestellungen wie Behandlung von Ereignissen in Bezug auf Daten für Langzeitszenarien, die Reparierbarkeit berücksichtigen sollen.
5. Anwendbarkeit der OP-Records
6. Schätzung der Parameter aus der Betriebserfahrung

Die Diskussion ergab, dass nach Meinung der Teilnehmer die Punkte 1 und 2 grundsätzlich ausreichend durch die formalen Anforderungen im ICDE, insbesondere durch die Abgabe der „Completeness Statements“, d. h. einer formalen Erklärung über die Vollständigkeit der Daten der jeweils beitragenden Länder, abgedeckt werden.

Die Punkte 3 und 6 sind nicht Kernthema des ICDE; hierzu sind international etablierte Methoden vorhanden (u. a. das Alpha-Faktor-Modell und das Kopplungsmodell bzw. der Low-Bound und der High-Bound-Ansatz), die teilweise auch explizit im nationalen Regelwerk verankert sind. Methoden werden kontinuierlich weiterentwickelt, wie z. B. die Beiträge zu internationalen Fachtagungen zeigen. Der ICDE sollte hier keine speziellen Methoden herausstellen oder empfehlen.

Die Punkte 4a, 4b und 5 sind thematisch verknüpft. Sie betreffen die Übertragbarkeit der Daten (Beobachtungszeiten und Ereignisse) auf bestimmte, in der PSA zu modellierende Einrichtungen (Zielkomponentengruppen) und die bei einer Übertragung zu berücksichtigende Unsicherheit. Problemstellungen umfassen die Behandlung von Ereignissen, denen ein GVA-Phänomen zugrunde liegt, dass in der Zielkomponentengruppe, für die Zuverlässigkeitskenngrößen bestimmt werden sollen, nicht auftreten kann, da die Komponenten z. B. anders konstruiert sind oder andere Materialien aufweisen. Entsprechend sind auch Beobachtungszeiten auszuschließen oder nur eingeschränkt zu berücksichtigen, wenn für an diesen Komponenten auftretende GVA-Phänomene keine Übertragbarkeit gegeben ist. Aber auch aus anderen Gründen wie unterschiedlichem

Betrieb kann die Übertragbarkeit eingeschränkt sein. Darüber hinaus kann durch die unterschiedlichen nationalen Meldekriterien eine Inhomogenität der Daten resultieren, selbst wenn sie formal den Vollständigkeitskriterien genügen. Untersuchungen der GVA-Raten zeigen, dass in vielen Fällen eine Homogenität der Daten verschiedener Länder statistisch ausgeschlossen werden kann. Deshalb ist es nicht zielführend, alle Daten zu einer bestimmten Komponentenart als eine homogene Population zu betrachten. Vielmehr ist eine detaillierte Analyse der einzelnen Ereignisse und OP-Records erforderlich, um eine Datenbasis für eine Quantifizierung von GVA-Raten bzw. GVA-Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln. Ein Poolen aller GVA-Ereignisse und Beobachtungszeiten bzgl. einer Komponenten- und Ausfallart zum Ermitteln generischer GVA-Raten bzw. GVA-Wahrscheinlichkeiten wäre nicht sachgerecht.

Spezielle Fragestellungen (Punkt 4c) erfordern in jedem Fall ebenfalls eine detaillierte Analyse der einzelnen Ereignisse und OP-Records in Bezug auf diesen Aspekt.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die in Entwicklung befindlichen Schriften zur Quantifizierung, der zur Veröffentlichung vorgesehene Leitfaden „Quantification Guideline“ und das zunächst nur für die interne Verwendung vorgesehene „Working Document Quantification Cases“, ein.

4.4 Weitere Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurde weiterhin ein statistisches Verfahren zur Analyse der Daten entwickelt und implementiert, das es erlaubt, aus der Statistik von beobachteten Ereignissen und ihrer Merkmale auf einen Zusammenhang bestimmter Merkmale zu schließen. Um hier zu abgesicherten Aussagen zu kommen, ist es erforderlich, die Signifikanz der statistischen Abhängigkeit zu erfassen. Es konnte damit z. B. bestätigt werden, dass besonders schwere GVA (z. B. sogenannte vollständige GVA, bei denen alle Komponenten ausgefallen sind) besonders häufig durch menschliche Fehlhandlungen verursacht werden. Die detaillierte Ableitung des Verfahrens unter Verwendung bayesischer statistischer Verfahren ist in Anhang B dargestellt. Das Verfahren wurde mithilfe der Software Wolfram Mathematica rechentechnisch implementiert.

5 Sammlung, Analyse und Bereitstellung von Informationen zu deutschen GVA-Ereignissen für den Datenaustausch

5.1 Stand der deutschen ICDE-Betriebserfahrungsauswertung

Im Anschluss an den sogenannten Erstrundendatenaustausch, in dessen Rahmen für eine zuvor neu definierte Komponentenart ein Beobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren ausgewertet wird, wird im ICDE-Projekt eine regelmäßige Aktualisierung der Daten durchgeführt. Hierfür werden für Komponentenarten, bei denen bereits ein erster Datenaustausch stattgefunden hat, kontinuierlich immer weitere Beobachtungszeiträume ausgewertet. Es werden hierbei im ICDE-Lenungskreis keine Mindestauswerteziträume vorgegeben, sondern es wurde jedem Projektteilnehmer freigestellt, in welchem Rhythmus bzw. Modus (z. B. komponenten- oder anlagenweise) er Datenupdates liefern will. Die neusten Daten der teilnehmenden Länder sollen dabei nicht älter als acht Jahre sein. Um hierbei das Gegenseitigkeitsprinzip aufrecht zu erhalten, wurde beschlossen, den Datenbankzugang so zu regeln, dass ein Teilnehmer für diejenigen Komponentenarten und den Beobachtungszeitraum, für den er einen vollständigen eigenen Beitrag für alle Kernkraftwerke aus seinem Herkunftsland liefert, Zugang zu den in der ICDE-Datenbank gespeicherten Informationen der entsprechenden Komponentenarten und Zeiträume erhält, zudem ermöglichen die neuesten Regelungen allen Teilnehmern des ICDE-Projektes Zugriff auf Datensätze bis zum Jahr 2000. Die Teilnehmer des ICDE-Projektes sind angehalten, den Zeitraum ohne Datenaktualisierung kleiner als acht Jahre zu halten.

Im Rahmen des Vorgängervorhabens 3614R01301 wurde die Auswertung der Betriebserfahrung für 13 der 17 deutsche Anlagen bis zum 31.12.2010 abgeschlossen und mit der Auswertung für die Anlage KKG wurde für den Zeitraum 01.01.2011 bis 31.12.2015 begonnen. Die Auswertung erfolgt hierbei anlagenweise, d. h. es werden alle Komponentenarten einer Anlage für den entsprechenden Betrachtungszeitraum durch die GRS ausgewertet, in Kooperation mit dem Betreiber der Anlage und dem Operating Agent des ICDE-Projekts qualitätsgesichert und anschließend in die Datenbank eingespeist. Im Vorhaben 3617R01337 bzw. 4720R01337 wurde die Auswertung bis 2010 für alle Anlagen abgeschlossen und mit der Auswertung für den Zeitraum bis 2015 für die Anlagen, die nach 2011 noch eine Berechtigung zum Leistungsbetrieb hatten, fortgefahren. Diese Aktualisierung betraf die Anlagen Isar 2, Grohnde, Philippsburg 2 und Brokdorf. In diesem Vorhaben 4720R01350 sind die Daten für die Anlagen Gundremmingen B und

C, Neckarwestheim 2, Emsland, Brokdorf, Grohnde, Grafenrheinfeld und Isar 2 bis einschließlich 2017 und die Anlage Philippsburg 2 bis einschließlich 2019 aktualisiert worden. Bei den Arbeiten wurde auf die Ergebnisse der GRS-Vorhaben zur Auswertung der deutschen Betriebserfahrungen in Bezug auf GVA (4722R01280, 4719R01371 und ihre Vorgängervorhaben) zurückgegriffen.

Der aktuelle Stand der Auswertung ist in Tab. 5.1 dargestellt:

Tab. 5.1 Stand der ICDE-Auswertung der dt. Betriebserfahrung

Kernkraftwerk	Ende Auswertungszeitraum
Gundremmingen B (KRB-II B)	2017
Gundremmingen C (KRB-II C)	2017
Neckarwestheim 1 (GKN I)	2010
Neckarwestheim 2 (GKN II)	2017
Krümmel (KKK)	2010
Biblis A (KWB-A)	2010
Biblis B (KWB-B)	2010
Emsland (KKE)	2017
Brunsbüttel (KKB)	2010
Unterweser (KKU)	2010
Isar 1 (KKI 1)	2010
Philippsburg 1 (KKP 1)	2010
Grafenrheinfeld (KWG)	2017
Brokdorf (KBR)	2017
Grohnde (KWG)	2017
Isar 2 (KKI-2)	2017
Philippsburg 2 (KKP-2)	2019

In Tabelle 5.2 wird der aktuelle Stand der deutschen ICDE-Betriebserfahrungssammlung aufgeschlüsselt nach Komponentenarten dargestellt. Die neuen OP- und Event-Records bezeichnen hierbei diejenigen Datenbankeinträge, die im Verlauf des Vorhabens 4720R01350 neu erstellt wurden.

Tab. 5.2 Deutsche ICDE-Betriebserfahrung aufgeschlüsselt nach Komponententarten

Komponente	Anzahl dt. OP-Records	Anzahl dt. Event Records	Neue OP-Records	Neue Event-Records
Batterien	51	10	0	0
Leistungsschalter	125	10	0	0
Kreiselpumpen	150	33	0	0
Rückschlagarmaturen	345	19	1	1
Steuerstäbe und Antriebe	59	6	0	0
Diesel	37	33	2	2
Softwarebasierte Leittechnik	4	4	0	0
Ventilatoren	149	2	4	0
Wärmetauscher	49	15	1	1
Wechselrichter	17	1	0	0
Füllstandsmessungen	155	10	0	1
Frischdampf-ISO-Ventile	51	0	0	0
Motorbetätigte Absperrarmaturen	193	18	9	1
Sicherheitsventile	100	26	0	0
Übergreifende GVA	n. a.	9	n. a.	9
Gesamt	1.485	187	17	15

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung ist die Auswertung der deutschen Betriebserfahrung für den deutsche Beitrag zum Erstrundendatenaustausch für alle in Tabelle 5.2 dargestellten Komponententarten abgeschlossen. Für alle deutschen Anlagen, die nach 2011 noch in Betrieb waren, ist die Betriebserfahrung mindestens bis zum 31.12.2017 vervollständigt.

6 Auswertung der ICDE-Ereignisse aus anderen Ländern

Durch den Datenaustausch im Rahmen des ICDE-Projekts wird die Informationsbasis zu GVA-Ereignissen gegenüber der aus deutschen Kernkraftwerken für den gleichen verfügbaren Zeitraum um mehr als das Zehnfache erweitert. Dadurch wird die Grundlage für die Bewertung von GVA substantiell verbreitert und abgesichert. Um diese Erweiterung der Datenbasis zur generischen Unterstützung von aufsichtlichen Fragestellungen nutzbar zu machen, wurden Ereignisberichte, die im Rahmen des ICDE-Datenaustauschs von den Teilnehmerorganisationen aus den anderen Ländern erhalten wurden, systematisch ausgewertet.

Im Vorhaben SR 2545 wurde dazu mit einer Auswertung der Ereignisse zu Kreiselpumpen, Notstromdieselaggregaten und Füllstandsmessungen begonnen (vgl. /GRS 08a/ und /GRS 08b/). Dabei wurde die Übertragbarkeit der Ereignisse auf deutsche Anlagen bewertet, indem die in ausländischen Anlagen beobachteten Phänomene mit den aus deutschen Anlagen bekannten Phänomenen verglichen wurden. Diese Auswertung wurde im Vorhaben 3608R01338 für die Komponentenarten motorbetätigte Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Batterien und Leistungsschalter fortgeführt (vgl. /GRS 11a/, /GRS 11b/).

Mit den Komponentenarten Steuerstäbe, Steuerstabantriebe und Wärmetauscher wurde diese Auswertung im Vorhaben 3611R01335 fortgesetzt. Mit Abschluss des Vorhabens 3611R01335 (/GRS 14a/ sowie /GRS 14b/) waren somit alle ICDE-Komponentenarten mit Ausnahme von Lüftern, Frischdampfisolationsventilen und softwarebasierter Leittechnik erfasst, es bestanden jedoch erhebliche Unterschiede in der verwendeten Datenbasis. Für Kreiselpumpen und Diesel wurde der Auswertung ein Stand der Datenbank vom 06.09.2005 zugrunde gelegt /GRS 08a/, die Auswertung für Steuerstäbe und Wärmetauscher basierte auf einer Datenbasis mit Stand vom 20.06.2011 /GRS 14b/.

Im Rahmen des Vorhabens 3614R01301 wurden erstmals auch die Komponentenarten Lüfter, Frischdampfisolationsventile und softwarebasierte Leittechnik erfasst /GRS 18/. Hinzu kamen im Vorhaben 4720R01337 die Komponententypen Wechselrichter und die komponentenübergreifenden GVA /GRS 20/.

Während der Laufzeit dieses Vorhabens 4720R01350 wurden vom ICDE keine neuen Komponentenarten hinzugefügt, sondern die Auswertungen der bisherigen Komponentenarten um weitere Auswerteziträume erweitert. Die so neu hinzugekommenen Ereignisse aller Komponentenarten wurden analysiert. Dies ist im Folgenden dargestellt.

6.1 Datenbasis und Vorgehensweise

Seit der letzten Auswertung der ICDE-Ereignisse im Jahr 2020 hat sich die Zahl der ausländischen Ereignisse um 192 erhöht. Eine Übersicht über die im Rahmen von /GRS 08a/, /GRS 11b/, /GRS 14b/, /GRS 18/ und /GRS 20/ ausgewertete sowie die in der ICDE-Datenbank seitdem zusätzlich verfügbare Betriebserfahrung mit GVA ist in Tab. 6.1 dargestellt. Der höchste Zuwachs an Ereignissen ist in der Komponentenart Notstromdiesel zu verzeichnen.

Tab. 6.1 Vergleich bereits ausgewerteter und neuer, bisher nicht ausgewerteter ausländischer GVA-Ereignisse

Komponentenart	Ausgewertete ausländische ICDE-Ereignisse		
	Gesamtzahl zum Vorhabensbeginn	Anzahl neuer Ereignisse	Gesamtzahl zum Vorhabensende
Batterien	67	8	75
Digitale Leittechnik	0	0	0
Frischdampfisolationsventile	2	10	12
Füllstandsmessungen	146	9	155
Komponentenübergreifender GVA	0	0	0
Kreiselpumpen	344	37	381
Leistungsschalter	98	5	103
Lüfter	30	0	30
Motorbetätigte Armaturen	151	13	164
Notstromdiesel	210	78	288
Rückschlagarmaturen	98	3	101
Sicherheits- & Entlastungsventile	225	22	247
Steuerstäbe mit Antrieben	167	4	171
Wärmetauscher	41	3	44
Wechselrichter	0	0	0
Summe	1.579	192	1.771

Die von Deutschland in die ICDE-Datenbank eingespeisten Ereignisse wurden hier nicht betrachtet, da deren Fehlermechanismen und Ursachen bereits durch die nationale Vorkommnisauswertung erfasst worden sind.

In den folgenden Abschnitten werden für die in diesem Vorhaben ausgewerteten Komponententypen zunächst jeweils die in der ausländischen Betriebserfahrung identifizierten Fehlermechanismen vorgestellt und kurz beschrieben. Es wurden nur Fehlermechanismen diskutiert, die mehrere Komponenten betroffen haben oder potenziell zum einem GVA mehrerer Komponenten hätten führen können. Ereignisse, bei denen die Ursache unbekannt ist oder bei denen die Ursache der Beschreibung nicht entnommen werden kann, wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Ebenso wurden Ereignisse nicht berücksichtigt, wenn die Ausfälle Folgefehler eines Ausfalls technischer Einrichtungen außerhalb der Komponentengrenze ohne GVA-Charakter sind, z. B. Ausfall einer einzelnen Versorgungseinrichtung für mehrere redundante Komponenten. Deshalb ist die Anzahl diskutierter Ereignisse im Allgemeinen kleiner als die Anzahl bewerteter Ereignisse.

Es wurde jeweils nur der Fehlermechanismus betrachtet, unabhängig davon, wie viele Komponenten auf Grund dieses Fehlermechanismus ausgefallen waren. Wenn sich dabei zeigte, dass ein Fehlermechanismus spezifisch für eine Bauart einer Komponente ist, die in Deutschland nicht eingesetzt wird, wurde auch dieser nicht weiter betrachtet. Wenn eine größere Anzahl von verschiedenen Fehlermechanismen verblieb, wurden diese gruppiert; die Gruppierung erfolgte hierbei hinsichtlich der aufgetretenen Ursachen, betroffenen Einrichtungen (z. B. Bauteilen) oder anderer Gemeinsamkeiten. Anschließend wurde im Rahmen einer Expertenrunde zunächst diskutiert, ob die identifizierten Fehlermechanismen auch für deutsche Anlagen relevant sein können. Ein Fehlermechanismus wurde dabei als relevant bewertet, wenn er auf deutsche Anlagen übertragbar, dort aber noch nicht beobachtet worden ist oder wenn er grundsätzlich aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt ist, jedoch noch neue, sicherheitstechnisch relevante Aspekte beobachtet wurden. Bei den für deutsche KKW relevanten Fehlermechanismen wurde anschließend in der Expertenrunde diskutiert, ob der beobachtete Fehlermechanismus eine Weiterleitungsnachricht erforderlich erscheinen lässt oder ob er in Form eines sicherheitstechnischen Hinweises im Rahmen dieses Berichtes aufgegriffen wird. Es wurde kein Fehlermechanismus identifiziert, der eine Weiterleitungsnachricht notwendig gemacht hätte und zu dem noch keine Weiterleitungsnachricht verfasst wurde.

6.2 Komponentenart Batterien

In der ICDE-Datenbank sind 85 Ereignisbeschreibungen für die Komponentenart Batterien vorhanden. Zehn der Ereignisse beziehen sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden acht neue ausländische Einträge bewertet.

Bei sechs Ereignissen traten keine unzulässigen Beeinträchtigungen der Funktion auf, da es sich um langsam wirkende Alterungsphänomene handelte und die Prüfungen, die im Abstand von sechs Monaten durchgeführt wurden, geeignet waren, die Schäden rechtzeitig zu entdecken. Beobachtete Phänomene umfassten

- niedrige Spannungen in insgesamt 18 Zellen von drei von vier redundanten 440 V-Bleiakkumulatoren mit je 216 Zellen. Die betroffenen Zellen wurden ersetzt.
- Oxidation an den Polen bei zwei von vier Batterien, die auf Versprödung der Gehäusedichtungen zurückgeführt wurden. Die Batterien wurden durch Batterien eines anderen Typs ersetzt.
- Reduktion der Kapazität um 12 bzw. 14 % in zwei von vier Batterien. Die Batterien wurden ersetzt.
- Abheben der Pole vom Batteriekörper (in einer Anlage in zwei von zwei Batterien geringfügig und in einer baugleichen Anlage in zwei von zwei Batterien erheblich). Die Batterien wurden ersetzt.
- Anschwellen von Batterieelektroden. Die Batterien wurden ersetzt.

Entsprechende Alterungsphänomene sind auch aus deutschen Anlagen bekannt.

Demgegenüber trat bei zwei Ereignissen eine erhebliche Beeinträchtigung der Funktion auf:

Bei einem Ereignis traten an zwei von vier Batterien externe Leckagen auf. Diese wurden Herstellungsfehlern oder Beschädigungen beim Transport zugerechnet. Die Batterien wurden ersetzt. Probleme mit Batteriegehäusen sind auch in Deutschland bereits aufgetreten.

Bei einem Ereignis unterschritten zwei von vier Batterien die erforderliche Kapazität von 80 % der Nennkapazität. Um Alterungsphänomene zu verlangsamen, war die Temperatur in den Batterieräumen zuvor auf 21 Grad Celsius statt der der Auslegung ursprünglich

zugrundeliegenden Temperatur von 25 Grad Celsius abgesenkt worden. Die niedrige Temperatur führte zu einem geringeren Ladestrom, der eine nicht vollständige Aufladung der Batterien verursachte. Als Vorkehrungsmaßnahme wurde im Rahmen einer Änderung („design change“) die Raumtemperatur wieder auf 25 Grad Celsius erhöht. Dieser konkrete GVA-Mechanismus ist aus Deutschland nicht bekannt, aber grundsätzlich auch auf Batterien deutscher Anlagen übertragbar, wenn entsprechende Änderungen durchgeführt würden.

Änderungen der Betriebsbedingungen können sich auch indirekt ergeben, indem sich z. B. die Raumtemperatur aufgrund eines geänderten Betriebs, der zu verringerter Abwärme führt, ändert.

Der grundlegende Mechanismus, dass bei Änderungen des Betriebs von Einrichtungen nicht alle Folgen erkannt werden und sich dadurch unerwünschte Konsequenzen ergeben, ist für alle Komponentenarten relevant; er ist auch bereits aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

6.3 Komponentenart Frischdampfisolationsventile

In der ICDE-Datenbank sind zwölf Ereignisbeschreibungen für die Komponentenart Frischdampfisolationsventile vorhanden. Keines der Ereignisse bezieht sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden zehn neue ausländische Einträge bewertet. Hiervon sind zwei Ereignisse keine GVA, da es sich um Folgeausfälle bzw. um zwei gleichzeitige Ausfälle aus unterschiedlichen, latent vorliegenden Ursachen handelte⁴.

In drei Ereignissen wurde ein zu langsames Schließen beobachtet. Ursache zweier Ereignisse war überschüssiges Schmiermittel auf Zylindern und Federn der Vorsteuerventile. Probleme mit Schmiermitteln an Vorsteuerventilen sind auch aus Deutschland bekannt. Es handelte sich hier um die Verwendung ungeeigneter Schmiermittel, die durch Alterung ihre Eigenschaften veränderten bzw. Korrosion verursachten. Beeinträchtigungen durch einen Überschuss an Schmiermitteln wurden demgegenüber noch nicht als Ursache systematischer Ausfälle beobachtet.

⁴ Weil Ereignisse keine GVA sind bzw. weil das betreffende GVA-Phänomen unbekannt oder nicht aus der Ereignisbeschreibung ermittelbar ist, ist auch bei den anderen Komponentenarten die Anzahl der diskutierten Ereignisse im Allgemeinen kleiner als die Anzahl ausgewerteter neuer ausländischer Datensätze. Hierauf wird im Folgenden nicht jedes Mal explizit hingewiesen.

Für ein Ereignis war ein Designfehler in Form eines zu engen Abluftpfads die Ursache. Systematische Ausfälle aufgrund von Konstruktionsfehlern sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Bei einem Ereignis wurden Gerüste so aufgebaut, dass die Schließfunktion von zwei Frischdampfisolationsventilen behindert wurde. Die Behinderung der Funktion von Ventilen durch Gerüste ist auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Hierzu hat die GRS die WLN 2019/09 verfasst. Das Ereignis zeigt darüber hinaus das dabei bestehende GVA-Potential.

Bei mehreren Ereignissen wurden vollständige Ausfälle der Schließfunktion beobachtet durch

- zu starkes Festziehen der Stopfbuchsen,
- starke Reibung, die durch unerwartete Korrosion am Kolbenring verursacht wurde und
- einen Bruch der Spindel aufgrund thermischer Versprödung, die auf eine langfristige Einwirkung von hohen Temperaturen von über 260 Grad Celsius zurückzuführen war.

Entsprechende Ursachen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

6.4 Komponentenart Füllstandsmessungen

In der ICDE-Datenbank sind 165 Ereignisse der Komponentenart Füllstandsmessungen vorhanden. Zehn der Ereignisse beziehen sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden neun neue ausländische Einträge bewertet.

In einem Ereignis kam es zu Fehlkalibrierungen, die vermutlich durch eingeschlossenes Wasser verursacht wurden. Ursache ist eine unzureichende Entwässerung, die auf eine ungünstige Prozedur zurückzuführen ist. Systematische Fehlkalibrierungen durch unzureichende Entwässerung sind auch aus Deutschland bekannt.

In zwei Ereignissen fielen mehrere Füllstandssensoren aus. Durch Herstellungs- und Montagefehler waren Bauteile falsch montiert und es waren Metallspäne entstanden, die

ein Versagen der Schalter verursachten. Zu dem Ereignis trugen eine mangelhafte Überwachung der Installationsarbeiten und unzureichende Prüfungen nach Abschluss der Arbeiten bei. Montagefehler und Fehler bei der Überwachung und bei Prüfungen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Auch in Deutschland wurden bereits systematische Fehler bei der Montage von Bauteilen beobachtet.

Bei einem Ereignis traten kurz hintereinander abwechselnd Fehlsignale „RDB-Füllstand tief“ und „RDB-Füllstand hoch“ auf. Ursache war eine falsch festgelegte Dämpfung der Messumformer. Fehleinstellungen der Dämpfung sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Bei einem Ereignis traten Erdschlüsse durch Verwendung von nicht vorgesehenem, nicht qualifiziertem und ungeeignetem Isolationsmaterial (Schrumpfschlauch) auf, das durch Alterung porös wurde. Die Verwendung von ungeeigneten und nicht qualifizierten Betriebsmitteln ist aus Deutschland bekannt.

Bei einem Ereignis traten Fehlsignale an allen Sensoren zur Detektion eines tiefen Füllstandes im RDB auf. Ursache war massive Korrosion an den Metallteilen innerhalb der elektrischen Anschlusskästen, verursacht durch ungeeignete Verkabelung mit PVC-haltigen Kabeln. Diese setzten bei der Temperatur am Installationsort von über 200°C Chlor frei. Da die Anschlusskästen in Räumen montiert sind, in denen eine feuchte Umgebungsatmosphäre herrscht, kam es zu starker Korrosion. Als Ursache wurden unzureichende Prozeduren und eine unzureichende Überwachung identifiziert. Unzureichende Prozeduren und eine unzureichende Überwachung sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Das Ereignis ist nicht unmittelbar übertragbar, da sich in Deutschland Anschlusskästen in Trockenräumen befinden bzw., wenn eine feuchte Umgebungsatmosphäre zu besorgen ist (z. B. im Störfall), entsprechend geschützt sind.

6.5 Komponentenart Kreiselpumpen

Die Komponentenart Kreiselpumpen enthält Pumpen in den redundant ausgelegten Sicherheitsteilsystemen. Sie umfasst z. B. Sicherheitseinspeisepumpen, Not- und Nachkühlpumpen, Zwischenkühlpumpen und Nebenkühlwasserpumpen. Den Pumpen sind die jeweiligen elektro- und leittechnischen Einrichtungen zugeordnet, die alleinig dem Betrieb der jeweiligen Komponenten dienen, wie z. B. die Antriebssteuerung und der Leistungsschalter der jeweiligen Pumpe.

Von den insgesamt 413 GVA-Ereignissen in der ICDE-Datenbank für diese Komponentenart stammen 32 aus deutschen Anlagen. 37 neue ausländische Ereignisse wurden seit der letzten Auswertung in die Datenbank eingetragen. Für diese Ereignisse wurden die beobachteten GVA-Phänomene zusammengefasst und durch eine Expertengruppe auf ihre Relevanz für deutsche Anlagen bewertet. In Tab. 6.2 sind die mehrfach aufgetretenen Fehlerkategorien mit der jeweiligen Ereignisanzahl dargestellt.

Tab. 6.2 Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Kreiselpumpen

Fehlerkategorien	Ereignisanzahl ⁵
Mängel der elektrischen Energieversorgung	10
- davon Fehlkonfiguration des Überstromschutzes	4
- davon Mängel an Leistungsschaltern	4
- davon Mängel an der Verkabelung	2
Eintrag von Fremdmaterial	8

Weitere Mechanismen wie Vibrationen, Auslegungs- bzw. Konstruktionsfehler und Defizite im Alterungsmanagement traten jeweils nur einmal auf. Diese GVA-Ursachen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Vier Fälle betrafen Leistungsschalter. Hier waren in einem Fall gebrochene Gestänge die Ursache, in zwei Fällen behinderte die Verkabelung den Schließmechanismus. Ursache dafür war eine fehlende bzw. fehlerhafte Dokumentation des Herstellers. In einem Fall öffneten sich Klinken nicht zuverlässig. Entsprechende mechanische Probleme sind auch an Leistungsschaltern in deutschen Anlagen bereits aufgetreten.

In drei Fällen wurden die Überstromsicherungen der Not- und Nachkühlumpen, Notspisepumpen bzw. Zwischenkühlumpen systematisch falsch konfiguriert, da bei der Festlegung der Werte von der Schienen-Nennspannung ausgegangen wurde und nicht berücksichtigt wurde, dass die Spannung auf Notstromschienen auslegungsgemäß bis auf 80 % der Nennspannung abfallen kann; die Pumpen wären jedoch aufgrund der Konfiguration der Überstromsicherungen bereits bei 95 % der Nennspannung ausgefallen.

⁵ Die genannten Ereignisanzahlen summieren sich im Allgemeinen nicht zu der Gesamtzahl der analysierten Ereignisse auf, da für einige analysierte Ereignisse das zugrundeliegende GVA-Phänomen nicht ermittelbar war, es sich um keine systematischen Ausfälle handelte bzw. einzelnen Ereignissen mehrere Fehlerkategorien zugeordnet werden konnten; weiterhin wurden nur Fehlerkategorien aufgeführt, denen mehrere Ereignisse zugeordnet wurden.

In einem weiteren Ereignis war die Überstromsicherung aufgrund von Fehlern in der Dokumentation auf einen zu niedrigen Wert eingestellt worden.

Bei einer Modifikation des Rotors des elektrischen Motors hatten sich seine elektrischen Eigenschaften geändert. Dies führte zu zu niedrigen Sicherheitsmargen beim Überstromschutz. Diese Auswirkungen waren bei der Änderung nicht bedacht worden.

Grundsätzlich sind systematische Fehleinstellungen von Überstromsicherungen aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Diese speziellen GVA-Mechanismen sind hier allerdings noch nicht aufgetreten. Sie sind auf deutsche Anlagen übertragbar. Fehler in der Dokumentation sind auch in Deutschland bereits beobachtet worden.

Zwei weitere Fälle betrafen den elektrischen Anschluss der Pumpenmotoren. In einem Fall führte der Anschluss mehrerer Kabel in Kabelschuhen, die für einzelne Kabel größeren Durchmessers ausgelegt waren, zu erhöhten Widerständen. In einem Fall kam es zu einem Erdschluss aufgrund unzureichend festgezogener Klemmen in einer Anschlussleiste, die aufgrund einer ungünstigen Konstruktion mit mehreren Ebenen das Herstellen der Verbindungen und Inspektionen erschwerte. GVA, die den elektrischen Anschluss von Verbrauchern betrafen, sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Eintrag von Fremdmaterial betraf sowohl das Betriebsmittel Pumpe (drei Fälle) als auch das Betriebsmittel Ölkühler (fünf Fälle). Es wurde Fremdmaterial durch Lücken in den Einlaufrechen, ein Schlauch bei Wartungsarbeiten und Schlauchmaterial unbekannter Herkunft angesogen, was die Funktion der Pumpe beeinflusste. Die Kühlleistung von Ölkühlern war in fünf Fällen reduziert. Hierbei war teilweise Fremdmaterial im Ölkühler selbst, teilweise in den Zuleitungen die Ursache. Dies war in einem Fall durch ein erhöhtes Fremdmaterialaufkommen im Fluss aufgrund von Überflutung bedingt, in einem anderen Fall durch Sedimenteintrag wegen eines besonders niedrigen Wasserstands; bei den anderen drei Ereignissen war keine Ursache angegeben. Letztgenannte Phänomene sind nicht auf deutsche Anlagen übertragbar, da hier entsprechende Kühler nicht mit Meeres- oder Flusswasser betrieben werden. Probleme durch Eintrag von Fremdmaterial in andere Kühler, die von Meeres- oder Flusswasser durchflossen werden (Kühler des Nebenkühlwassers), sind auch aus Deutschland bekannt.

In einem Fall drang durch Kühler, die durch Erosion undicht geworden waren, Wasser in den Ölkreislauf der Pumpen ein. Leckagen durch Erosion in Kühlern ist aus der deutschen Betriebserfahrung ebenfalls bekannt.

In einem Fall trat eine erhöhte Lagertemperatur an Rollenlagern einer Pumpe auf. Während des Stillstands der Pumpe waren durch Vibrationen, die über Fundamente und Rohrleitungen von laufenden anderen Aggregaten auf die besagte Pumpe übertragen wurden, Lagerschäden verursacht worden. Als Vorkehrungsmaßnahme werden Kugellager verwendet; von diesen wird eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen erwartet. GVA durch Schäden an Lagern sind aus der deutschen Betriebserfahrung ebenfalls bekannt. Dieses spezielle Phänomen, dass Lagerschäden durch den Stillstand der Pumpe bedingt werden, ist hier allerdings noch nicht beobachtet worden. Er ist auf deutsche Anlagen übertragbar – insbesondere, wenn Systeme nur noch sporadisch betrieben werden, kann dieses Phänomen relevant werden.

In einem Fall kam es zu einem Versagen von Pumpen durch Luftansammlung. Dies war durch konstruktive Änderung der Entwässerung in allen Redundanten verursacht worden, die zu Unterdruck und Luftansammlung führte. Systematische Ausfälle durch Luftansammlung aufgrund von Unterdruck in Rohrleitungen sind aus Deutschland bekannt.

6.6 Komponentenart Leistungsschalter

Die Datensammlung der Komponentenart Leistungsschalter umfasst diejenigen sicherheitstechnisch wichtigen Leistungsschalter, die nicht innerhalb der Komponentengrenzen aktiver Komponenten wie Pumpen, Lüfter oder Dieselaggregaten sind. Neben den Schaltern zur Ausführung der Reaktorschnellabschaltung handelt es sich um Kuppelschalter zwischen verschiedenen Schienen. In der ICDE-Datenbank sind 113 Ereignisse der Komponentenart Leistungsschalter vorhanden. Zehn der Ereignisse beziehen sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden fünf neue ausländische Einträge analysiert.

Bei einem Ereignis wurde überschüssiges Schmiermittel als Ausfallursache gefunden, bei einem weiteren waren Konfigurationsfehler in Form einer nicht ausreichenden Selektivität der Überstromauslösung die Ursache. Diese Phänomene sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Für die verbleibenden Ereignisse war keine Ursache ermittelbar.

Es wurden weitere systematische Fehler am Betriebsmittel Leistungsschalter beobachtet. Diese sind bei den Arten der Komponenten dargestellt, von denen diese Betriebsmittel ein Teil waren.

6.7 Komponentenart Motorbetätigte Armaturen (MOVs)

Im Rahmen des ICDE-Projekts werden Ereignisse an motorbetätigten Absperrarmaturen in sicherheitstechnisch wichtigen Systemen gesammelt; dies umfasst unter anderem folgende Systeme:

- Notspeisesystem,
- Not- und Nachkühlsystem,
- Zwischenkühlwassersystem,
- Nebenkühlwassersystem sowie die
- Absperrventile vor den Druckhalterabblaseventilen.

Den Ventilen sind die jeweiligen elektro- und leittechnischen Einrichtungen zugeordnet, die alleinig dem Betrieb der jeweiligen Komponenten dienen, wie z. B. die Antriebssteuerung und der Leistungsschalter.

Von 182 Einträgen in der ICDE-Datenbank stammen 17 aus deutschen Anlagen. Es wurden seit der letzten Auswertung 13 neue ausländische GVA-Ereignisse zu der Datenbank hinzugefügt.

Bei zehn Ereignissen waren Probleme mit elektrischen Kontakten – diese waren am häufigsten durch Korrosion bedingt – die Ursache:

- Drei Ereignisse wurden durch Kontaktprobleme von Relais mit Kontakten mit Silberbeschichtung durch Korrosion verursacht, die ihre Ursache im Chloridgehalt der Luft in Meeresnähe hatten. Dies führte zum Ersatz von etwa 2000 Relais durch Relais mit Kontakten mit Goldbeschichtung. Vier weitere Ereignisse wurden durch Oxidation von bzw. Oxidation in Verbindung mit Verunreinigungen, durch Alterung bzw. durch Festkleben von Kontakten verursacht. Kontaktprobleme an Relais durch Korrosion sind auch aus Deutschland bekannt.

- Bei einem Ereignis fiel die Anzeige der Ventilstellung aus aufgrund von Kontakten, die durch Herstellungsfehler systematisch die zulässigen Toleranzen überschritten. Systematische Herstellungsfehler und Probleme mit der Stellungsanzeige von Ventilen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.
- Bei einem weiteren Ereignis fiel die Anzeige der Ventilstellung aus, was zur Nichtverfügbarkeit der Ventile führte. Als Ursache wird ein Konstruktionsfehler vermutet. Systematische Konstruktionsfehler und Probleme mit der Stellungsanzeige sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.
- In einem Ereignis kam es zu einem Öffnungsversagen. Dies wurde auf eine Beschädigung der Mikroschalter zurückgeführt durch starkes Rütteln und Vibrationen, die entstehen, wenn der Kegel aus dem Sitz gezogen wird. Diese Vibrationen führten darüber hinaus zu großen mechanischen Beanspruchungen der Spindelmutter. Schäden durch Vibrationen an Ventilen und systematische Schädphänomene an Wegendschaltern sind auch in der Deutschen Betriebserfahrung bereits aufgetreten.

Drei Ereignisse hatten ihre Ursache im Ventil selbst:

- Zwei Ereignissen mit Öffnungsversagen lag ein systematisch zu festes Anziehen der Stopfbuchse in Verbindung mit einer ungeeigneten Materialpaarung mit zu hoher Reibung zugrunde.
- Bei einem weiteren Ereignis saß der Kolben im Sitz fest, was vom Betreiber auf Korrosion und Verunreinigungen aufgrund zu langer Wartungsintervalle zurückgeführt wurde.

Diese Phänomene sind ebenfalls aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

6.8 Komponentenart Notstromdiesel

Die Komponentenart Notstromdiesel umfasst das Notstromaggregat mit dem zugehörigen Notstromgenerator und Generatorschalter; zudem wird die Leittechnik zur Steuerung der Komponente miteinfasst. Von den insgesamt 321 Ereignissen in der ICDE-Datenbank stammen 33 aus deutschen Anlagen. Es wurden seit der letzten Auswertung 75 neue ausländische Ereignisse zu der Datenbank hinzugefügt. Die Ausfallmechanismen wurden im Rahmen des Vorhabens ausgewertet und nach der unten dargestellten Tabelle 6.3 in Kategorien nach Gemeinsamkeiten mehrerer Ereignisse, wie Ursachen und betroffene Bauteile, gruppiert.

Tab. 6.3 Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Notstromdieselaggregaten

Ausfallkategorie	Ereignisanzahl ⁵
Auslegungs-, Konstruktions- und Herstellungsfehler	5
Schäden durch Vibrationen	6
Instandhaltungsfehler	6
- davon aufgrund unvollständiger Dokumentation	2
Fehler bei Modifikationen/Defizite im Änderungsmanagement	6
Falsche Einstellungen von Grenzwerten	3
Fehlende Erdbebenqualifikation	3
Schäden an Halterungen	4
Ungeeignetes Betriebsmittel (Bauteil)	10
Fehlsignale der Drehzahlmessungen	4
Leckagen	2

Bei einem Ereignis wurden für Erdbeben qualifizierte Rohrhalterungen installiert, die den Belastungen durch den Betrieb (Vibrationen) nicht standhielten.

Bei einem Ereignis lösten sich Kondensatoren in einem Diesel durch Vibrationen; sie wurden durch neue Typen ersetzt, die kleiner und deshalb weniger vibrationsempfindlich sind.

Bei drei Ereignissen lösten sich Kabelverbindungen am Drehzahlmesser aus unbekannter Ursache.

Bei Instandhaltungsarbeiten zeigte sich an Dieseln eine erhöhte Abnutzung. Diese resultierten aus starken Vibrationen bei Nennleistung. Beim Hersteller war das Problem bekannt gewesen; es wurde aber nicht dem Betreiber mitgeteilt. Durch eine Absenkung der maximalen Leistung wurden die Vibrationen auf ein normales Maß reduziert.

Probleme mit Vibrationen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung an Dieseln bekannt.

Bei vorangegangenen Instandhaltungsarbeiten war keine Drossel vor Manometern für die Öldruckmessung eines Diesels eingebaut worden. Dies verursachte starke Pulsationen und Risse am Manometer, die zu Ölleckagen führten. Die Drossel war in den Instandhaltungsunterlagen nicht erwähnt gewesen. Das Problem unvollständiger Instandhaltungsdokumentation ist aus Deutschland bekannt.

Ein unerwartet hoher Verschleiß wurde in Einspritzpumpen beobachtet; als Maßnahme hat der Hersteller eine Modifikation entwickelt.

Bei einem Ereignis trat ein zu hoher Öldruck auf; zuvor waren in zwei Dieseln Federn in Ventilen des Ölkreislaufs ersetzt worden – die neuen Federn waren geringfügig härter als die alten.

Bei einem Ereignis trat ein Startversagen des Diesels auf. Als Ursache wurden Schäden an den Dichtungen in den Startluftventilen gefunden. Diese waren für den auftretenden Druck von 40 bar nicht qualifiziert und auch nicht geeignet.

Der Dieselhersteller lieferte Einspritzdüsen eines anderen Zulieferers, von dem er fälschlich annahm, dass sie kompatibel seien. In mehreren Dieseln traten Beschädigungen dieses Bauteils auf, u. A. verursachte eine zerstörte Düse eine erhöhte Abgastemperatur in einem Zylinder.

An Dieseln des Herstellers trat sporadisches Startversagen auf. Dies wurde zunächst auf zu viel Schmiermaterial im pneumatischen Starter zurückgeführt. Das Problem bestand aber weiter. Eine Lösung wurde erst durch andere pneumatische Startermotoren eines neuen Herstellers und eine Änderung der Startsequenz erreicht.

In drei Ereignissen wurden bei Modifikationen nicht für Erdbeben qualifizierte Rohrhalterungen verwendet. Dies führt der Betreiber auf Defizite im Änderungsmanagement zurück.

Auch aus der deutschen Betriebserfahrung ist bekannt, dass sich Bauteile als ungeeignet erweisen bzw. dass unqualifizierte Bauteile verwendet werden.

In einem Fall führte die Ermüdung von Stiftschrauben, die zur Befestigung der Startluftventile dienen, in Dieseln zum Bruch der Stiftschrauben; dies führte zu abnormen Geräuschen und einer Leckage. Durch Farbeindringprüfung wurden Beschädigungen auch

an allen anderen entsprechenden Stiftschrauben nachgewiesen. Vom Hersteller war keine Instandhaltung der Stiftschrauben vorgesehen gewesen. Der Betreiber hatte eine visuelle Inspektion der Stiftschrauben alle sechs Jahre vorgesehen. Diese erwies sich jedoch als ungeeignet, die Ermüdung rechtzeitig zu erkennen. Als Vorkehrungsmaßnahme wurde eine Farbeindringprüfung alle sechs Jahre und ein Austausch alle zwölf Jahre vorgesehen. Eine unvollständige Instandhaltungsdokumentation des Herstellers und nicht ausreichende Prüfungen sind auch aus Deutschland bekannt.

Ursache eines weiteren Ereignisses war eine mangelnde mechanische Verbindung des Drehzahlmessers zur Nockenwelle. Die vorgesehene Nut und Feder fehlten. Die Verbindung war ausschließlich mit dem Klebstoff Loctite gemacht worden; sie hatte sich gelöst. Herstellungsfehler sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Bei einem Ereignis an zwei redundanten Dieseln wurde der Drehzahl-Sollwert zu niedrig auf 1.600 Umdrehungen pro Minute statt 1.720 Umdrehungen pro Minute eingestellt. Dies führte im Notstrombetrieb zu einer Abschaltung wegen Überdrehzahl.

Bei der Ausrüstung der Diesel mit neuer Leittechnik wurde der Differentialschutz auf 5 % des Nennstroms festgelegt. Dieser Wert erwies sich als zu niedrig, um unter allen Bedingungen ein sicheres Starten der Diesel zu erlauben; dieser Schutz ist im Gegensatz zu anderen ständig aktiv. Als Vorkehrung gegen Wiederholung wurde der Wert auf 20 % des Nennstroms erhöht.

In einem Ereignis war, da der Alarm für Temperaturüberwachung der Dieselmotoren zu hoch auf 55 Grad Celsius eingestellt war, nicht ausgeschlossen, dass die maximal zulässige Umgebungstemperatur der Diesel von 40 Grad Celsius überschritten wird.

Falsch festgelegte bzw. eingestellte Grenzwerte sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

In der Leittechnik der Diesel wurden Relais wegen Ende der Lebenszeit durch neue Relais eines anderen Typs ersetzt. Nachdem gehäuft Ausfälle auftraten, wurde die Ursache untersucht. Der Hersteller fand systematische Fabrikationsfehler: Zu geringe Abstände zwischen beweglichen Teilen führten zu erhöhter Reibung. Es wurde auch entdeckt, dass ein falscher, nicht qualifizierter Relais Typ eingebaut worden war, der eine programmierbare Steuerung beinhaltete. Dieses Ereignis wurde bereits in der WLN 2017/05 diskutiert (Abschnitt 1.4).

Herstellungsfehler und die Verwendung unqualifizierter Bauteile sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

In einem Ereignis trat eine Kühlmittleckage wegen Verwendung eines ungeeigneten Werkzeugs auf⁶. Die systematische Verwendung ungeeigneter Werkzeuge ist auch in Deutschland bereits beobachtet worden.

Bei der Modifikation an der Kühlung der Diesel, d. h. der Änderung der Wärmesenke von Wasser zu Luft, wurde eine Anpassung der Frostsicherheit der Kühlflüssigkeit vorgesehen. Diese wurde aber nur an je einem von je zwei Kreisläufen auch tatsächlich durchgeführt, so dass bei sehr niedrigen Außentemperaturen Frostschäden zu befürchten waren. Nicht vollständig ausgeführte Instandhaltungsarbeiten sind auch aus Deutschland bekannt.

6.9 Komponentenart Rückschlagarmaturen

In der ICDE-Datenbank sind 118 Ereignisbeschreibungen für die Komponentenart Rückschlagarmaturen vorhanden. 17 der Ereignisse beziehen sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden drei neue ausländische Einträge bewertet.

Bei allen drei Ereignissen kam es zu internen Leckagen. Während in einem Fall keine Ursache angegeben wurde, wurden die Schäden in zwei Fällen auf Abnutzung zurückgeführt, wobei in einem Fall eine ständige Bewegung der Klappe während des Betriebes als Ursache angegeben wurde. Diese Phänomene sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

6.10 Komponentenart Sicherheits- und Entlastungsventile

In der ICDE-Datenbank sind 272 Ereignisse der Komponentenart Sicherheits- und Entlastungsventile vorhanden. Diese umfasst Sicherheitsventile, Entlastungsventile und Sicherheits- und Entlastungsventile (S&E-Ventile). 25 der Ereignisse beziehen sich auf deutsche Anlagen. Für die Auswertung wurden 22 neue ausländische Einträge bewertet.

⁶ Details sind der Ereignisbeschreibung nicht zu entnehmen.

In Tabelle 6.4 sind Kategorien, denen mehrere Ereignisse zugeordnet werden konnten, dargestellt.

Tab. 6.4 Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Sicherheits- und Entlastungsventilen

Ausfallkategorie	Ereignisanzahl ⁵
Schäden durch Vibrationen	2
Sitzverklebung durch Oxidation	2
Fehlkalibrierung	2
Unzureichende Druckluftversorgung durch Fehler bei Instandhaltungsarbeiten	2

Bei zwei Ereignissen kam es nach einer Leistungserhöhung der Anlage zu verstärkten Vibrationen der Frischdampfleitung. Die Vibrationen überschritten die Auslegung der Ventile und führten zu Beschädigungen. Schädigungen an Ventilen durch Vibrationen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Bei zwei Ereignissen öffneten Ventile nicht aufgrund einer Sitzverklebung durch Oxidbildung. Dieses Phänomen ist aus Deutschland bekannt.

Falsche Kalibrierungen waren bei zwei Ereignissen die Ursache:

- Bei einem Ereignis wurde bei zwei Ventilen eine Fehlkalibrierung festgestellt, so dass sie unter bestimmten Bedingungen fälschlicherweise bei einem zu niedrigen Wert ansprechen konnten. Je ein Endschalter und ein Drehmomentschalter waren aufgrund einer mangelhaften Prozedur falsch eingestellt.
- Bei einem Ereignis war die zulässige Einstelltoleranz zu groß, so dass die normale Drift während des Betriebs zu einer unzulässigen Abweichung des Öffnungsdrucks führte.

GVA durch falsche Kalibrierungen sind auch aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Zwei Ereignisse wurden durch Probleme mit der Druckluftversorgung verursacht:

- Bei einem Ereignis war die Druckluftzufuhr abgesperrt. Ursache war eine Abweichung von Prozeduren. Als wahrscheinlichste Ursache hierfür wird angegeben, dass der Anschluss (Schnellkupplung), über die normalerweise das Ventil angeschlossen

ist, als Druckluftquelle bei Instandhaltungsarbeiten verwendet worden war. Zum Wiederanschießen des Ventils war die Absperrarmatur vor dem Anschluss geschlossen worden. Es wurde versäumt, sie wieder zu öffnen. GVA durch Abweichung von Prozeduren sind auch aus Deutschland bekannt.

- Bei einem Ereignis war für Instandhaltungsarbeiten der Druck der Druckluftversorgung reduziert worden. Es wurde versäumt, ihn nach Abschluss der Arbeiten wieder zu erhöhen. Versäumnisse bei der Rückstellung von Systemen nach Instandhaltungsarbeiten sind auch aus Deutschland bekannt.

Bei einem Ereignis kam es zum Ausfall mehrerer Vorsteuerventile aufgrund verhärteter Membranen. Dies wurde mit Defiziten bei Prüfungen in Zusammenhang gebracht. Auch in Deutschland sind bereits GVA an Membranen – auch durch Alterungsvorgänge – beobachtet worden.

Nach einer Modifikation von zwölf Ventilen wurden an mehreren Ventilen Undichtigkeiten festgestellt. Ursache war, dass die Ventile falsch vermessen worden waren. Diese Messung wurde als Grundlage der Konstruktionsreferenz für die Modifikation verwendet. Die fehlerhafte Konstruktion wurde während der Anlagenänderung nicht erkannt. Bei der Ursachenanalyse wurde festgestellt, dass Rollen, Verantwortlichkeiten und Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten unklar waren. Es wurde keine Prüfung für die modifizierten Ventile spezifiziert mit der Folge, dass keine Verifizierung oder Validierung der Modifikation stattfand. Auch aus Deutschland ist das grundlegende Phänomen bekannt, dass eine falsche Konstruktions- bzw. Auslegungsgrundlage verwendet wird, die zu systematischen Fehlern in redundanten Einrichtungen führt. Die konkrete Ursache eines falschen Aufmaßes ist neu.

In einem Ereignis wurde eine starke Abnutzung aller redundanter Ventile festgestellt – diese führte allerdings zu keinem Ausfall. Probleme mit übermäßiger Abnutzung sind auch aus Deutschland bekannt.

Ein Ereignis betraf die elektrische Ansteuerung; hier führte der gleichzeitige Ausfall⁷ von drei Schutzdioden von Relais zum Ausfall dreier Ventile. GVA von Dioden sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

⁷ Die Ursache des Ausfalls der Dioden ist unbekannt.

6.11 Komponentenart Steuerstäbe mit Antrieben

Für die Komponentenart „Steuerstäbe mit Antrieben“ sind in der ICDE-Datenbank insgesamt 177 Einträge vorhanden, wobei sechs aus deutschen Anlagen stammen. In der ausgewerteten Datenbasis waren drei neue, noch nicht ausgewertete ausländische Einträge vorhanden.

In einem Fall ließen sich zwei Steuerstäbe wegen des Ausfalls zweier Sicherungen nicht verfahren. Die Ursache des Ausfalls der Sicherungen ist unbekannt. In einem Fall versagte das motorische Steuerstabeinfahren dreier Stäbe aufgrund einer Drehmomentüberschreitung des Antriebs, einen Tag später bei einem weiteren Stab. Als Grund wird der Eintrag von Fremdmaterial ins Kühlwasser vermutet. Bei einem weiteren Ereignis traten drei Ausfälle und drei Schädigungen an Steuerstäben auf. Die Ausfallursachen waren verschieden; nur bei einem Ausfall und einer Schädigung wurde dieselbe Ursache – ein loser Halter einer elektrischen Sicherung – gefunden.

Aufgrund der Beendigung des Leistungsbetriebs hat ein Versagen des Einfalls bzw. des Einfahrens von Steuerstäben für deutsche Anlagen keine Bedeutung mehr.

6.12 Komponentenart Wärmetauscher

Die Komponentenart Wärmetauscher enthält sicherheitstechnisch wichtige Wärmetauscher, die sich nicht innerhalb der Komponentenabgrenzung einer anderen Komponentenart befinden (z. B. bei den Notstromdieselaggregaten). Von den insgesamt 59 Ereignissen in der ICDE-Datenbank stammen 15 aus deutschen Anlagen. Drei neue, noch nicht ausgewertete ausländische Einträge wurden analysiert.

Bei zwei Ereignissen trat eine unzulässig verringerte Wärmeübertragung auf. Bei einem Ereignis war nach mehreren Vorgängerereignissen beschlossen worden, die Wärmetauscher, die mit Seewasser beaufschlagt werden, zweimal jährlich zu reinigen. Dies erwies sich als nicht ausreichend. Bei einem weiteren Ereignis mit unzulässig verringerter Wärmeübertragung wurde kein konkreter Schädigungsmechanismus genannt. Das GVA-Phänomen einer reduzierten Wärmeübertragung durch Verschmutzung ist auch aus Deutschland bekannt.

Bei einem Ereignis traten interne Leckagen auf, die auf Vibrationen zurückgeführt wurden. Diese ergaben sich durch eine neue Betriebsweise mit einer auf das Doppelte erhöhten Durchflussmenge. Eine maximale Durchflussmenge für den Wärmetauscher war weder vom Hersteller noch in der Anlagendokumentation spezifiziert. Generell sind interne Leckagen von Wärmetauschern durch Vibration auch aus Deutschland bekannt – dieses spezielle Phänomen wurde jedoch so noch nicht beobachtet.

6.13 Zusammenfassung der Auswertungen

Im Rahmen von AP 2 des Vorhabens wurde die in der aktuellen ICDE-Datenbasis enthaltene internationale Betriebserfahrung mit GVA ausgewertet. Insgesamt wurden bis jetzt 1771 ausländische GVA-Ereignisse ausgewertet; davon wurden 192 GVA-Ereignisse im Rahmen dieses Vorhabens analysiert. Durch diese Auswertungen konnte der Erfahrungsumfang bezüglich GVA-Ereignisse und somit auch bezüglich der zugrunde liegenden Fehlermechanismen im Vergleich zur rein deutschen GVA-Betriebserfahrung erheblich ausgeweitet werden.

Hierbei wurden unter anderem neue, in der deutschen Betriebserfahrung noch nicht beobachtete GVA-Phänomene identifiziert. Dies umfasst die systematisch falsche Festlegung von Grenzwerten von Schutzeinrichtungen, da zulässige Spannungsabfälle auf Notstromschienen nicht berücksichtigt wurden, Schädigung von Vorsteuerventilen durch einen Überschuss an Schmiermitteln sowie ein unzureichender Ladezustand von Batterien durch Absenkung der Raumtemperatur. Bei einem bereits bekannten Mechanismus, der Funktionsbeeinträchtigung von Ventilen durch den Aufbau von Gerüsten, der zu einem Einzelausfall führte, wurde durch ein internationales Ereignis das GVA-Potential dieses Mechanismus aufgezeigt.

Mehrere Ereignisse waren mit Änderungen des Betriebs von Systemen verknüpft. Hier waren die Konsequenzen der Änderungen nicht vollständig bedacht worden, so dass sich unerwartet unerwünschte Folgen ergaben. So war in einem Ereignis die Temperatur in den Batterieräumen leicht abgesenkt worden, um Alterungsphänomene zu verlangsamen. Dabei war nicht berücksichtigt worden, dass eine niedrigere Batterietemperatur zu einem niedrigeren Ladestrom führt; dies resultierte in einem unzureichendem Ladezustand aller Batterien. Die Erhöhung der Durchflussmenge durch einen Wärmetauscher führte unerkannt zu Vibrationen, die zu Beschädigungen und Leckagen führten. Die Er-

höhung des Dampfdurchflusses nach einer Leistungserhöhung führte zu verstärkten Vibrationen der Frischdampfleitungen – eine Beschädigung von Ventilen war die Folge. Das Lager von Pumpen wurde beschädigt, weil die Pumpen im Gegensatz zu früheren Betriebsweisen lange Stillstandszeiten aufwiesen. Dabei führten die Vibrationen, die von anderen – laufenden – Komponenten übertragen wurden, zu Lagerschäden. Phänomene, die durch Änderungen des Betriebs von Systemen bedingt sind, sind insbesondere auch beim Übergang von Leistungsbetrieb zum Nachbetrieb und Rückbau relevant, da hier Änderungen des Betriebs der Systeme, insbesondere auch gleichzeitige Änderungen mehrerer redundanter Einrichtungen, notwendig sind.

Auch technische Änderungen können ein verstärktes GVA-Potential auslösen. So wurden z. B. durch konstruktive Änderungen von Entwässerungen Luftansammlungen verursacht, die zum Ausfall von Pumpen führten. Bei der Änderung der Wärmesenke eines Diesels zur Umgebungsluft wurde die daraus folgende notwendige Änderung des Kühlmittels in Bezug auf den Frostschutz nur teilweise tatsächlich durchgeführt. Bei Änderungen an der Leittechnik von Dieseln wurden falsche Grenzwerte verwendet. Bei einer Modifikation von Ventilen wurden falsch dimensionierte Teile eingebaut. Ursache war, dass die Ventile falsch vermessen worden waren. Bei einer Modifikation des Rotors eines Elektromotors änderten sich die elektrischen Eigenschaften, was zu niedrigen Sicherheitsmargen beim Überstromschutz zur Folge hatte.

Diese Ereignisse bestätigen die hohe Bedeutung des Änderungsmanagements als Vorkehrung gegen GVA, insbesondere wenn technische Änderungen oder Änderungen des Betriebs an redundanten Komponenten bzw. Systemen gleichzeitig durchgeführt werden müssen, wie es insbesondere bei Änderung des Betriebs der gesamten Anlage erforderlich ist, z. B. beim Übergang vom Leistungsbetrieb zum Nachbetrieb. Insbesondere ist dabei auch das „know-why“ ein relevanter Aspekt, d. h. die Beachtung der – ggf. nicht ausreichend dokumentierten – Grundlage von Festlegungen.

6.14 Hinweise

Wie im Abschnitt 6.1 beschrieben, wurde für die gefundenen neuen Fehlermechanismen jeweils in der Expertenrunde diskutiert, ob der beobachtete Fehlermechanismus eine Weiterleitungsnachricht erforderlich erscheinen lässt oder ob er in Form eines sicherheitstechnischen Hinweises im Rahmen dieses Berichtes aufgegriffen wird. Es wurde dabei kein Fehlermechanismus identifiziert, der eine Weiterleitungsnachricht notwendig

gemacht hätte und zu dem noch keine Weiterleitungsnachricht verfasst wurde. Jedoch ergeben sich aus den Auswertungen folgende Hinweise, die zur Vorbeugung gegen GVA berücksichtigt werden sollten:

1. Änderungen der Betriebsweise von Komponenten bedingen ein erhöhtes GVA-Potential. Deshalb sind die möglichen Auswirkungen solcher Änderungen systematisch zu betrachten. Neben bekannten Phänomenen wie z. B. verstärkten Vibrationen durch erhöhten Durchsatz (z. B. von Rohrleitungen, Ventilen oder Wärmetauschern) können auch unerwartete Phänomene auftreten. Insbesondere sind folgende neu beobachtete Phänomene zu berücksichtigen:
 - a. Durch den Stillstand von Komponenten können Lagerschäden auftreten, da die Auswirkungen der von anderen, laufenden Komponenten übertragenen Vibrationen bei stehenden Komponenten erheblich stärker sein können als bei laufenden.
 - b. Die Reduzierung der Betriebstemperatur von Batterien kann (bei identischer Ladespannung) einen geringeren Ladestrom verursachen, was zu einem verringerten Ladezustand führen kann.
2. Technische Änderungen an redundanten Komponenten, insbesondere gleichzeitige Änderungen, bedingen ebenfalls ein erhöhtes GVA-Potential. Es ist sicherzustellen, dass Informationen und Festlegungen, die alle Redundanten betreffen, korrekt sind. Insbesondere ist folgendes zu beachten:
 - a. Bei einem Aufmaß, das als Basis für die Konstruktion von Bauteilen dient, ist die Korrektheit sicherzustellen, z. B. durch unabhängige Messungen durch verschiedene Personen an mehreren Komponenten.
 - b. Bei der Festlegung von Grenzwerten ist sicherzustellen, dass alle erforderlichen Informationen vorliegen – insbesondere zulässige Abweichungen von Nennwerten wie z. B. zulässige Spannungsabweichungen auf Notstromschienen während des Notstrombetriebes. Vorherige Festlegungen der Grenzwerte sollten betrachtet und die Gründe, warum sie so gewählt wurden, analysiert werden.
3. Bei der Modifikation von Komponenten ist zu überprüfen, ob die Einstellungen von Schutzeinrichtungen angepasst werden müssen. Insbesondere kann die Modifikation von Elektromotoren zu Veränderungen der elektrischen Eigenschaften führen, die eine Änderung der Einstellung des Überstromschutzes erforderlich machen.

4. Die Funktion von Vorsteuerventilen kann durch einen Überschuss an Schmiermittel beeinträchtigt werden.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass das bereits bekannte Phänomen der Beeinträchtigung der Ventulfunktion durch Gerüste (siehe WLN 2019/09) auch GVA-Potential beinhaltet.

7 Zusammenfassung und Ausblick zum ICDE-Projekt

Im Rahmen des ICDE-Projekts der OECD/NEA wird seit 25 Jahren auf internationaler Ebene Betriebserfahrung zum Thema „gemeinsam verursachte Ausfälle“ (GVA, oder Common-cause Failures, CCF) systematisch in einer Datenbank gesammelt, ausgetauscht und analysiert. Beteiligt an diesem Projekt sind sowohl Behörden als auch Gutachterorganisationen und Forschungseinrichtungen. Der internationale Austausch bezüglich GVA ist erforderlich, da derartige Ausfälle zum einen große Auswirkungen auf das Sicherheitssystem kerntechnischer Anlagen haben können, zum anderen jedoch – verglichen mit Einzelfehlern – deutlich seltener auftreten. Aus diesem Grund ist internationale Betriebserfahrung erforderlich, um die Thematik abdeckend zu erfassen.

Mit dem abgeschlossenen Vorhaben 4720R01350 „Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) im Rahmen einer internationalen Expertengruppe ICDE (Internationales GVA-Datenaustauschprojekt der OECD/NEA)“ wurden drei übergeordnete Ziele verfolgt und umgesetzt:

- Sicherstellung der weiteren Beteiligung am ICDE-Projekt durch systematische Erfassung und Einspeisung der deutschen Betriebserfahrung mit GVA,
- Auswertung der internationalen Betriebserfahrung im Hinblick auf aktuelle Informationen über GVA, insbesondere auch für deutsche KKW relevante GVA-Effekte und GVA-Fehlermechanismen und
- Fortschreibung des Standes von Wissenschaft und Technik bezüglich GVA.

Im Rahmen des Vorhabens wurde die GVA-Betriebserfahrung des Zeitraums bis zum 31.12.2017 von insgesamt acht deutschen Anlagen sowie für eine Anlagen bis zum 31.12.2019 ausgewertet und für die Einspeisung in die ICDE-Datenbank aufbereitet. Da der Zugang zu den Daten innerhalb des Projekts nach dem Quid-pro-quo-Prinzip organisiert ist, d. h., dass jeder in dem Maße Zugang zu den Daten der anderen Projektteilnehmer erhält, in dem er selbst Informationen bereitstellt, ist nur durch einen kontinuierlichen Beitrag sichergestellt, dass die GRS auch weiterhin Zugriff auf die ausländische Betriebserfahrung hat.

Die Auswertung der ausländischen Betriebserfahrung mit GVA umfasste insgesamt 192 ICDE-Ereignisse, die analysiert und dargestellt wurden. Hierbei wurden auch GVA-Mechanismen gefunden, die noch nicht in der deutschen Betriebserfahrung beobachtet wurden. Insbesondere wurden auch neue GVA-Mechanismen gefunden, die durch die

Änderung des Betriebes von Komponenten bedingt waren und für den Übergang zum Nachbetrieb eine erhöhte Bedeutung haben.

Während der Laufzeit des Vorhabens wurden im Rahmen der halbjährlichen Treffen des ICDE-Lenkungskreises insgesamt vier Workshops durchgeführt. Beteiligt waren jeweils die Mitglieder des Lenkungskreises sowie ggf. weitere Personen (z. B. von Behörden) auf Einladung des Lenkungskreises. Im Zuge der Workshops wurden sowohl komponenten- wie auch themenspezifische Auswertungen bezüglich GVA-Phänomene durchgeführt. So wurden

- zwei Workshops zum Thema Sicherheitskultur,
- ein Workshop zum Thema Quantifizierung und
- ein komponentenspezifischer Workshop zu Batterien

durchgeführt. Im Vorhabenszeitraum wurden vier CSNI-Berichte fertiggestellt und veröffentlicht. Dies sind Berichte zu den Themen

- GVA infolge von Modifikationen an der Anlage,
- GVA in Mehrblockanlagen,
- systemübergreifende GVA und
- Verbesserung von Prüfungen als Vorbeugemaßnahme gegen GVA.

In der Vorbereitung zur Veröffentlichung befinden sich Komponentenberichte zu

- Sicherheits- und Entlastungsventilen,
- Batterien und
- motorbetätigten Ventilen

sowie Themenberichte zu

- GVA durch externe Einwirkungen auf Komponenten und
- GVA durch menschliche Fehlhandlungen, die zu latenten GVA führten (Pre-initiator Human Failure Events)

und ein Projektbericht mit einem Überblick über die VIII. Phase des ICDE.

Darüber hinaus wurde im Rahmen des ICDE-Projekts aktiv an der Fortschreibung des Standes von Wissenschaft und Technik bezüglich GVA gearbeitet. Dies umfasst die Analyse von Ereignissen mit Defiziten in der Sicherheitskultur, die Entwicklung eines quantitativen Verfahrens zur statistischen Analyse der Abhängigkeit von Ereignismerkmalen und die Weiterentwicklung der Methodik zur Datenanalyse zum Zwecke der Quantifizierung von GVA.

Literaturverzeichnis

- /CHA 22/ Chatri H., G. Johanson, J. Stiller, J. Wood: Recent Insights from the International Common Cause Failure Data Exchange (ICDE) Project, Proceedings of the 16th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (PSAM16), Honolulu, HI, United States of America, Juli 2022,
<https://www.iapsam.org/PSAM16/papers/HA48-PSAM16.pdf>
- /GRS 08a/ Kreuser, A., H. Holtschmidt, J. C. Stiller: Auswertung von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, GRS-A-3403, Januar 2008.
- /GRS 08b/ Kreuser, A., H. Holtschmidt, H., J. C. Stiller: Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) im Rahmen einer internationalen, Expertengruppe, Abschlussbericht Phase 2005-2008, GRS-A-3399, Januar 2008.
- /GRS 11a/ Kreuser, A., S. Arnold, J. Voelskow: Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, Abschlussbericht Phase 2008-2010, GRS-A-3578, Januar 2011.
- /GRS 11b/ Kreuser, A., J. Voelskow: Auswertung von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, Teil 2, GRS-A-3588, Februar 2011.
- /GRS 14a/ Brück, B., A. Kreuser, J. Simon: Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, Abschlussbericht Phase 2011-2014 GRS-A-3748, Juni 2014.
- /GRS 14b/ Brück, B., A. Kreuser, J. Simon: Analyse von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, GRS-340, August 2014.
- /GRS 18/ Brück, B., A. Kreuser, D. Voß: Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen im Rahmen einer internationalen Expertengruppe, GRS-447, März 2018.

- /GRS 20/ Foldenauer, M., M. Homann, A. Kreuser, C. Lambertus: Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE 2017 bis 2020 – Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen im Rahmen einer internationalen Expertengruppe, GRS-592, November 2020.
- /IAEA 16/ International Atomic Energy Agency (IAEA): IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2, Leadership and Management for Safety, Vienna, 2016.
- /ICD 23/ International Common-cause Failure Data Exchange (ICDE): General Coding Guidelines, Issue 4c, Mai 2023.
- /NEA 99/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Centrifugal Pumps, NEA/CSNI/R(99)2, September 1999.
- /NEA 00/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Emergency Diesel Generators, NEA/CSNI/R(2000)20, 19. Februar 2001.
- /NEA 01/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Motor Operated Valves, NEA/CSNI/R(2001)10, 27. Juli 2001.
- /NEA 02/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Safety and Relief Valves, NEA/CSNI/R(2002)19, Oktober 2002.
- /NEA 03/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Check Valves, NEA/CSNI/R(2003)15, Mai 2003.

- /NEA 03a/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Batteries, NEA/CSNI/R(2003)19, September 2003.
- /NEA 08a/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures, Switching Devices and Circuit Breakers, NEA/CSNI/R(2008)1, Januar 2008.
- /NEA 08b/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures, Level Measurement Components, NEA/CSNI/R(2008)8, Juni 2008.
- /NEA 13a/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Centrifugal Pumps, NEA/CSNI/R(2013)2, Juni 2013.
- /NEA 13b/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Control Rod Drive Assemblies, NEA/CSNI/R(2013)4, Juni 2013.
- /NEA 15a/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Heat Exchangers, NEA/CSNI/R(2015)11, August 2015.
- /NEA 15b/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Workshop on Collection and Analysis of Common-Cause Failures due to External Factors, NEA/CSNI/R(2015)17, Oktober 2015.
- /NEA 17/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, Workshop on the Collection and Analysis of Emergency Diesel Generator Common-Cause Failures Impacting Entire Exposed Populations, NEA/CSNI/R(2017)8, August 2017.

- /NEA 18/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, Lessons Learnt from Common-Cause Failure of Emergency Diesel Generators in Nuclear Power Plants, NEA/CSNI/R(2018)5, September 2018.
- /NEA 20/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, Collection and Analysis of Common-Cause Failures due to Nuclear Power Plant Modifications - Topical Report of the Nuclear Energy Agency International Common-Cause Failure Data Exchange Project, NEA/CSNI/R(2019)4, März 2020.
- /NEA 22/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Topical Report: Collection and Analysis of Intersystem Common-Cause Failure Events, NEA/CSNI/R(2020)1, Mai 2022.
- /NEA 22a/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Topical Report: Collection and Analysis of Multi-Unit Common-Cause Failure Events, NEA/CSNI/R(2019)6, November 2022.
- /NEA 22b/ Nuclear Energy Agency (NEA): Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Topical Report: Collection and Analysis of Multi-Unit Common-Cause Failure Events, NEA/CSNI/R(2019)5, November 2022.

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Umfang der ICDE-Datenbank	19
Tab. 4.2	Übersicht ICDE-Workshops	23
Tab. 5.1	Stand der ICDE-Auswertung der dt. Betriebserfahrung	32
Tab. 5.2	Deutsche ICDE-Betriebserfahrung aufgeschlüsselt nach Komponentenarten.....	33
Tab. 6.1	Vergleich bereits ausgewerteter und neuer, bisher nicht ausgewerteter ausländischer GVA-Ereignisse.....	36
Tab. 6.2	Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Kreiselpumpen	42
Tab. 6.3	Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Notstromdieselaggregaten	47
Tab. 6.4	Kategorisierung der identifizierten Fehlermechanismen an Sicherheits- und Entlastungsventilen	51

A Anhang: Entwicklung eines statistischen Verfahrens zur Identifizierung und zum Nachweis von Abhängigkeiten von Merkmalen

Wenn beobachtet wird, dass ein Merkmal innerhalb einer Teilpopulation mit einer höheren oder niedrigeren Wahrscheinlichkeit auftritt als in der Gesamtpopulation, so stellt sich die Frage, ob diese Unterschiede zufällig oder systematisch sind. Ein Verfahren zur Beurteilung der statistischen Aussagekraft von beobachteten Unterschieden wird im Folgenden abgeleitet. Hierbei werden bayessche statistische Verfahren verwendet.

Wenn ein bestimmtes Merkmal statistisch bei den einzelnen Fällen unabhängig auftritt und es insgesamt g Fälle gibt, ist die Anzahl der Fälle m , die dieses Merkmal haben, binomialverteilt:

$$p(m|g, \mu) = p_{\text{Binomial}}(m|g, \mu) = \binom{g}{m} \mu^m (1 - \mu)^{g-m} \quad (\text{A.1})$$

Hierbei bezeichnet μ den Verteilungsparameter der Binomialverteilung. Es gilt $\mu \in [0, 1]$.

Sind zwei Mengen von Beobachtungen vorhanden, bei denen das Merkmal in m_1 von g_1 Fällen bzw. m_2 von g_2 auftritt, so gilt

$$p(m_1|g_1, \mu_1) = p_{\text{Binomial}}(m_1|g_1, \mu_1) \quad (\text{A.2})$$

$$p(m_2|g_2, \mu_2) = p_{\text{Binomial}}(m_2|g_2, \mu_2)$$

Ob das Merkmal in beiden Gruppen unterschiedlich häufig auftritt, hängt von den Werten μ_1 und μ_2 ab; eine Gleichheit ist gegeben, wenn $\mu_1 = \mu_2$ gilt. Die wahren Werte μ_1 und μ_2 sind allerdings im Allgemeinen nicht bekannt. Aussagen über μ_1 und μ_2 müssen aus den bekannten beobachteten Größen m_1 , g_1 , m_2 und g_2 geschlossen werden. Aussagen über μ_1 und μ_2 werden im Folgenden mithilfe bayesscher statistischer Methoden hergeleitet.

Der Satz von Bayes lautet angewandt auf die Binomialverteilung

$$p(\mu|m, g) \propto p(m|g, \mu)\pi(\mu) \propto \binom{g}{m} \mu^m (1 - \mu)^{g-m} \pi(\mu) \quad (\text{A.3})$$

Hierbei steht \propto für die Proportionalität. $\pi(\mu)$ bezeichnet die A-Priori-Verteilung von μ .

Die konjugierte Verteilung der Binomialverteilung ist die Betaverteilung

$$p(\mu|\alpha, \beta) = p_{Beta}(\mu|\alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \mu^{\alpha-1} (1 - \mu)^{\beta-1} \quad (\text{A.4})$$

wobei die Normierungskonstante gegeben ist als

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 \mu^{\alpha-1} (1 - \mu)^{\beta-1} d\mu = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \quad (\text{A.5})$$

mit der Gammafunktion $\Gamma(\cdot)$.

Wählt man die A-Priori-Verteilung $\pi(\mu)$ nach dem Verfahren von Jeffreys /Box 73/, so erhält man:

$$\pi(\mu) \propto \frac{1}{\sqrt{\mu} \sqrt{1 - \mu}} \quad \Rightarrow \quad \pi(\mu) = p_{Beta}\left(\mu \mid \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) \quad (\text{A.6})$$

Es ist anzumerken, dass diese A-Priori-Verteilung irregulär, d. h. nicht normierbar, ist:

$$\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{\mu} \sqrt{1 - \mu}} d\mu \text{ ist divergent.}$$

Wenn man m mal das Merkmal bei g Fällen beobachtet hat, ergibt sich als A-Posteriori-Verteilung

$$p(\mu|m, g) \propto \binom{g}{m} \mu^m (1 - \mu)^{g-m} \frac{1}{\sqrt{\mu} \sqrt{1 - \mu}} \quad (\text{A.7})$$

und somit

$$p(\mu|m, g) = p_{Beta} \left(\mu \middle| \frac{1}{2} + m, \frac{1}{2} + g - m \right) \quad (\text{A.8})$$

Wie oben bereits dargestellt, werden die (möglichen) Unterschiede der wahren Wahrscheinlichkeiten des Auftretens des Merkmals in den beiden Mengen durch die Unterschiede zwischen μ_1 und μ_2 charakterisiert. Nur in speziellen Fällen liegt ein Kriterium vor, dass relevante Unterschiede charakterisiert, z. B. als Aussage über die Differenz $\mu_2 - \mu_1$ oder das Verhältnis μ_2/μ_1 der wahren Wahrscheinlichkeiten, z. B. $|\mu_2 - \mu_1| > \Delta_{Min}$ oder $\max\{\mu_1/\mu_2, \mu_2/\mu_1\} > r_{Min}$. Deshalb werden im Folgenden alle statistisch signifikanten Unterschiede – unabhängig von ihrer Größe – betrachtet, was im Rahmen einer bayesschen Analyse möglich ist und eine willkürliche vorherige Wahl eines Maßes, insbesondere eines konkreten Wertes für Δ_{Min} bzw. r_{Min} vermeidet.

Somit wird im Folgenden untersucht, ob beide Gruppen statistisch identisch sind, d. h. $\mu_2 = \mu_1$ ist.

Die A-Priori-Verteilung ist für den Fall identischer $\mu_2 = \mu_1$

$$\pi(\mu_1, \mu_2) \propto \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1 - \mu_1}} \delta(\mu_2 - \mu_1) \quad (\text{A.9})$$

wobei $\delta(\cdot)$ die Delta-Distribution ist, die durch $\int \delta(a)f(a)da = f(0)$ charakterisiert ist.

Für unabhängige, nicht notwendig identische μ_1 und μ_2 faktorisiert die A-Priori-Verteilung:

$$\pi(\mu_1, \mu_2) \propto \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1 - \mu_1}} \frac{1}{\sqrt{\mu_2} \sqrt{1 - \mu_2}} \quad (\text{A.10})$$

Wenn a priori beide Alternativen als möglich angesehen werden, ist die A-Priori-Verteilung eine Mischverteilung:

$$\begin{aligned}
\pi(\mu_1, \mu_2) &\propto u \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \delta(\mu_2 - \mu_1) \\
&+ v \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \frac{1}{\sqrt{\mu_2} \sqrt{1-\mu_2}}
\end{aligned} \tag{A.11}$$

Wegen der Irregularität der A-Priori-Verteilungen kann $u/(u+v)$ nicht mit der A-Priori-Wahrscheinlichkeit identifiziert werden, dass μ_1 und μ_2 gleich sind.

Für die A-Posteriori-Verteilung von μ_1 und μ_2 gilt nach oben gesagtem

$$\begin{aligned}
p(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) &\propto p(m_1, m_2 | g_1, g_2, \mu_1, \mu_2) \pi(\mu_1, \mu_2) \\
&\propto \binom{g_1}{m_1} \mu_1^{m_1} (1-\mu_1)^{g_1-m_1} \binom{g_2}{m_2} \mu_2^{m_2} (1 \\
&- \mu_2)^{g_2-m_2} \left(u \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \delta(\mu_2 - \mu_1) \right. \\
&\left. + v \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \frac{1}{\sqrt{\mu_2} \sqrt{1-\mu_2}} \right)
\end{aligned} \tag{A.12}$$

Die unnormierte Wahrscheinlichkeit $\hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2)$ wird definiert als

$$\begin{aligned}
\hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) &:= \mu_1^{m_1} (1-\mu_1)^{g_1-m_1} \mu_2^{m_2} (1-\mu_2)^{g_2-m_2} \times \\
&\left(u \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \delta(\mu_2 - \mu_1) + v \frac{1}{\sqrt{\mu_1} \sqrt{1-\mu_1}} \frac{1}{\sqrt{\mu_2} \sqrt{1-\mu_2}} \right)
\end{aligned} \tag{A.13}$$

Somit ist

$$p(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) = \frac{\hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2)}{\int_0^1 \int_0^1 \hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) d\mu_1 d\mu_2} \tag{A.14}$$

Im Folgenden bezeichnet $I(\mu_1, \mu_2)$ die Indikatorfunktion, dass μ_1 und μ_2 identisch sind. Dann ist der Erwartungswert von I die Wahrscheinlichkeit p_I , dass μ_1 und μ_2 gleich sind.

$$\begin{aligned}
p_I(m_1, m_2, g_1, g_2) &= \int_0^1 \int_0^1 I(\mu_1, \mu_2) p(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) d\mu_1 d\mu_2 \\
&= \frac{\int_0^1 \int_0^1 I(\mu_1, \mu_2) \hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) d\mu_1 d\mu_2}{\int_0^1 \int_0^1 \hat{p}(\mu_1, \mu_2 | m_1, m_2, g_1, g_2) d\mu_1 d\mu_2} \\
&= \frac{u\phi(m_1+m_2, g_1+g_2)}{u\phi(m_1+m_2, g_1+g_2) + v\phi(m_1, g_1)\phi(m_2, g_2)}
\end{aligned} \tag{A.15}$$

mit

$$\phi(m, g) = \int_0^1 \mu^{m-\frac{1}{2}} (1-\mu)^{g-m-\frac{1}{2}} d\mu = \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right) \Gamma\left(g - m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(1+g)} \tag{A.16}$$

wobei $\Gamma(\cdot)$ die Gamma-Funktion bezeichnet.

Wenn die a priori-Annahme ist, dass Gleichheit und Ungleichheit der Verteilungen gleich wahrscheinlich sind, gilt

$$p_I(0,0,0,0) = \frac{1}{2} \tag{A.17}$$

da $m_1 = m_2 = g_1 = g_2 = 0$ der Abwesenheit von jeglichen Beobachtungen entspricht. Daraus folgt, da⁸ $\phi(0,0) = \pi$:

$$\frac{1}{2} = \frac{u\pi}{u\pi + v\pi^2} = \frac{u}{u + v\pi} \tag{A.18}$$

und somit

⁸ Mit π wird die Kreiszahl bezeichnet (während $\pi(\cdot)$ eine A-Priori-Verteilung bezeichnet).

$$v = \frac{u}{\pi} \quad (\text{A.19})$$

Daraus folgt

$$p_I(m_1, m_2, g_1, g_2) = \frac{\phi(m_1+m_2, g_1+g_2)}{\phi(m_1+m_2, g_1+g_2) + \frac{1}{\pi} \phi(m_1, g_1) \phi(m_2, g_2)} \quad (\text{A.20})$$

Analog lässt sich vorgehen für den höherdimensionalen Fall, wenn $d \geq 3$ Gruppen verglichen werden sollen, d. h., wenn von g_i Fällen m_i das Merkmal aufweisen, $i = 1 \dots d$.

Hier lautet die Entsprechung von Gleichung (A.18):

$$\frac{1}{2} = \frac{u\pi}{u\pi + v\pi^d} = \frac{u}{u + v\pi^{d-1}} \quad (\text{A.21})$$

Daraus folgt

$$v = \pi^{1-d} u \quad (\text{A.22})$$

Damit gilt für die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit, dass alle wahren Werte μ_i identisch sind:

$$p_I(\{m_1, \dots, m_d\}, \{g_1, \dots, g_d\}) = \frac{\phi(\sum_{i=1}^d m_i, \sum_{i=1}^d g_i)}{\phi(\sum_{i=1}^d m_i, \sum_{i=1}^d g_i) + \pi^{1-d} \prod_{i=1}^d \phi(m_i, g_i)} \quad (\text{A.23})$$

**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