

**Analyse von Ereignissen  
mit gemeinsam  
verursachten Ausfällen  
(GVA) aus dem  
internationalen GVA-  
Datenaustauschprojekt  
ICDE**



**Analyse von Ereignissen  
mit gemeinsam  
verursachten Ausfällen  
(GVA) aus dem  
internationalen GVA-  
Datenaustauschprojekt  
ICDE**

Benjamin Brück  
Albert Kreuser  
Julia Simon  
Jan Stiller

August 2014

**Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende FE-Vorhaben 3611 R 01335 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

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

**Deskriptoren:**

Betriebserfahrungsauswertung, CCF, Common cause failures, Gemeinsam verursachte Ausfälle, GVA, ICDE

## Kurzfassung

Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) können die Verfügbarkeit von Sicherheitssystemen 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 reicht die Betriebserfahrung allein mit deutschen Kernkraftwerken für eine umfassende Bewertung von GVA nicht aus. Daher ist es notwendig, auch die Betriebserfahrung aus ausländischen Anlagen, die vergleichbare Technik einsetzen, zu nutzen.

Um die Betriebserfahrung mit GVA aus ausländischen Anlagen zur Weiterentwicklung der Beurteilungsgrundlagen für GVA nutzen zu können, hat die GRS die Etablierung eines internationalen GVA-Arbeitskreises maßgeblich mit initiiert. Dieser Arbeitskreis entwickelte das Projekt „International Common Cause Failure Data Exchange“ (ICDE). Das Ziel dieses Projektes ist es, einen breit angelegten Informationsaustausch über beobachtete Ereignisse mit GVA-Relevanz zu organisieren.

Die Arbeiten zur Bereitstellung und Auswertung der Informationen des ICDE Arbeitskreises 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 Risiko informierten Aufsicht genutzt werden kann,
- quantitative Informationen über GVA Ereignissen 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.

Durch die Zusammenarbeit mit den am ICDE-Projekt beteiligten Partnerorganisationen wird der Umfang des Erfahrungsrückflusses hinsichtlich GVA-Ereignissen gegenüber dem aus der nationalen Betriebserfahrung wesentlich erweitert. Dadurch wird

- die Informationsbasis verbreitert zur frühzeitigen Erkennung von nicht oder wenig bekannten GVA-Phänomenen, einschließlich deren Ursachen und Auswirkungen,
- Erfahrung von in ausländischen Kernkraftwerken getroffenen vorbeugenden Maßnahmen gewonnen,
- Information über die teilweise unterschiedlichen Methoden bei der Erfassung, Auswertung und Modellierung von GVA-Ereignissen in den verschiedenen Ländern gewonnen. Dabei werden Erfahrungen gewonnen, die eine Weiterentwicklung der Methoden im Hinblick auf Angleichung oder Vereinheitlichung fördern.

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 erster Informationsaustausch zu GVA-Ereignissen für einen eingeschränkten Beobachtungszeitraum von in der Regel fünf Jahren, fand bisher zu den Komponententypen „Kreispumpen“, „Notstromdieselmotoren“, „Motorbetätigte Absperrarmaturen“, „Sicherheits- und Entlastungsventile“, „Rückschlagarmaturen“, „Batterien“, „Leistungsschalter“, „Füllstandsmessungen“, „Steuerstäbe und Steuerstabantriebe“ und „Wärmetauscher“ statt. Im Berichtszeitraum wurde für deutsche Anlagen die Erfassung der Betriebserfahrung mit GVA der oben genannten Komponententypen für den Zeitraum 1990 bis 2002 abgeschlossen. Mit ersten Arbeiten für ein entsprechendes Update für den Zeitraum von 2003 bis 2010 wurde begonnen.

Darüber hinaus werden derzeit Betriebserfahrungen mit GVA für die Komponententypen "Frischdampfisolationsventile" und "Lüfter" für einen ersten Datenaustausch ausgewertet. Für die Komponententypenart "digitale Leittechnik" wird ein Datenaustausch vorbereitet. Es wurde eine entsprechende Kodieranleitung erarbeitet und mit der Erfassung der Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken begonnen.

In der ICDE-Datenbank sind zurzeit insgesamt ca. 1720 Ereignisse erfasst. Die Anzahl der zur Verfügung gestellten Ereignisberichte übertrifft die aus der deutschen Betriebs- erfahrung vorhandenen Ereignisberichte um ein Vielfaches (z. B. sind bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben von insgesamt 171 Ereignissen in der ICDE-Datenbank nur vier 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 aussage- kräftig genug, um die beobachteten Schadensmechanismen nachvollziehen zu kön- nen.

Während der Laufzeit des jetzt abgeschlossenen Vorhabens, hat der ICDE Lenkungs- kreis in vier Workshops Ereignisse aus der ICDE-Datenbank zu verschiedenen Frage- stellungen diskutiert. Dabei wurde untersucht,

- welche GVA-Phänomene durch Einwirkung von außen ausgelöst wurden,
- welche Mechanismen bei GVA Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren dazu führten, dass alle redundanten Notstromdieselgeneratoren geschädigt wurden,
- wie das Klassifizierungssystem für qualitative Aspekte von GVA-Mechanismen wei- terentwickelt werden kann und
- welche GVA-Ereignisse nach Modifikationen in der Anlage aufgetreten sind.

Daneben hat die GRS die aus ausländischen Anlagen in die ICDE-Datenbank einge- speisten Ereignisberichte systematisch ausgewertet. In den Vorläufervorhaben wurden die in der ICDE-Datenbank vorhandenen Ereignisberichte zu Kreiselpumpen, Not- stromdieseln und Füllstandsmessungen, sowie motorbetätigten Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventilen, Leistungsschaltern und Batterien hinsichtlich der jeweils aufgetreten GVA-Phänomene ausgewertet und mit den aus deutschen Anlagen bekannten Phänomenen verglichen /GRS 08a, b/, /GRS 11a, b/.

In diesem Vorhaben wurden nun Ereignisberichte der Komponentenarten Steuerstäbe und Steuerstabantriebe sowie Wärmetauscher ausgewertet. Dabei wurden in deut- schen Anlagen bisher unbekannte GVA-Phänomene identifiziert, für die überprüft wer- den sollte, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausrei- chend sind.

Für Steuerstäbe und Steuerstabantriebe sind dies Phänomene, die aufgrund von Verbiegungen von Brennelementen, von vorzeitigem Verschleiß, von falscher Wasserchemie und von Instandhaltungsmängeln auftraten. Für Wärmetauscher sind dies Phänomene, die aufgrund von Instandhaltungsmängeln zu Verstopfungen oder innerer Leckage oder aufgrund eines Auslegungsfehlers zu fehlerhaften Durchflussmessungen führten.

## Abstract

Common-cause-failure (CCF) events can significantly impact the availability of safety systems of nuclear power plants. In recognition of this, CCF data are systematically being collected and analysed in several countries. A comprehensive evaluation of CCF events derived only from the operating experience in German nuclear power plants is not sufficient due to the low probability of occurrence of such events. Therefore it is necessary to make use of the operating experience of other countries using similar technology.

In order to be able to use the CCF operating experience from other countries in the aim to carry on the development of the bases for evaluation of CCF GRS decisively 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 tasks for preparation and evaluation of information of the ICDE working group serve for confirmation and extension of the common-cause failure knowledge with regards to probabilistic safety analyses, the better understanding of causes and mechanisms of common-cause failures and the evaluation of preventive measures against the occurrence of common-cause failures.

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 an 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,
- 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 will be 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 partly different methods in collecting, evaluating and modelling CCF events in different countries. Thus, knowledge is gained to promote further development of the methods in the aim of assimilation or standardisation.

Important targets of the group's tasks are the set up of a common data-base with detailed descriptions of failures and failure causes as well as assessments of common cause failure events of the plants in the participating organisations.

The information exchange in the frame of the ICDE project covers meanwhile 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" and "heat exchangers". German operating experience is completely included for the period 1990 to 2002. The event analysis for the period 2003 to 2010 has started.

Furthermore, a first data exchange is currently being carried out for the component types "main steam isolation valves" and "fans". For the component "digital I&C equipment" a data exchange is currently in preparation. The respective Coding guideline has been prepared and data-collection from the German operating experience has started.

In total, the ICDE database currently contains about 1720 events. The number of event reports from foreign countries surpasses the own sources many times (e.g. Control rod drive assemblies: 4 events from German plants, total: 171 events). Especially from the USA and France with their large number of power plants originate large number of events. Extent and grade of details of the participants' event-reports are sufficiently expressive to understand the observed failure mechanisms. During the now finished project several issues were discussed by the ICDE steering group in four workshops. It was analysed

- which CCF-phenomena were caused by external events
- what CCF-mechanism affected all redundant emergency diesel generators
- how the classification system for quantitative evaluation of CCF aspects can be further improved
- which CCF events occurred after modifications in the plant

Furthermore, GRS has systematically assessed the event reports which were provided by organisations from the other countries to the ICDE data exchange. In the previous GRS/ICDE projects, 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, switch gears and breakers and batteries were analysed with regard to the observed CCF phenomena. These phenomena were compared to the phenomena already known in German plants /GRS 08a, b/, /GRS 11a, b/. In this report the same kind of analysis is described for control rod drive assemblies and heat exchangers. As result, some phenomena were identified which are not known yet from German operating experience. The established precautionary measures against CCF should be assessed whether they are sufficient to prevent recurrence of these new phenomena.

For control rod drive assemblies, new phenomena arose due to bending of fuel elements, due to premature wear, due to wrong water chemistry and due to maintenance deficits. For heat exchangers, new phenomena were caused by maintenance errors which led to clogging, inner leakage or by design flaws which led to faulty flow measurements.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Auswertung der ICDE-Ereignisse aus anderen Ländern .....</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlage der Auswertungen .....	5
2.2	Komponentenart Steuerstäbe und Steuerstabantriebe .....	7
2.3	Komponentenart Wärmetauscher .....	13
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung der Auswertungen und Ausblick.....</b>	<b>19</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>21</b>
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>23</b>
	<b>Anhang</b>	
<b>A</b>	<b>Organisation des ICDE-Projekts.....</b>	<b>27</b>
A.1	Aufgabenverteilung innerhalb des Projekts .....	27
A.1.1	ICDE Lenkungskreise .....	27
A.1.2	NEA-Sekretariat.....	29
A.1.3	Operating Agent .....	29
A.2	Vertraulichkeit der ICDE-Daten.....	29
A.3	Zustimmung der deutschen Betreiber .....	30
<b>B</b>	<b>Abstimmung von Art und Umfang der für den ICDE- Datenaustausch vorgesehenen Informationen.....</b>	<b>31</b>
B.1	Allgemeine ICDE-Kodieranleitungen.....	32
B.2	Komponentenartspezifische Kodieranleitungen .....	33
B.3	Kodieranleitung zur Ereignisanalyse .....	34
B.4	ICDE-Datenbank.....	36
B.4.1	Struktur der ICDE-Datenbank .....	37
B.4.2	Weiterentwicklung der ICDE-Datenbank.....	38

<b>C</b>	<b>Ergebnisse des ICDE-Projekts</b> .....	<b>41</b>
C.1	Stand des ICDE-Datenaustauschs .....	41
C.2	Berichte des ICDE-Projektes .....	42
C.3	Workshops des ICDE-Projekts.....	43
C.3.1	Workshop über Ereignisse aufgrund von externen Einwirkungen .....	43
C.3.2	Workshops zu GVA-Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren, bei denen alle redundanten Komponenten beeinträchtigt waren.....	45
C.3.3	Workshop zur Erprobung eines neuen Kodierungssystems für Kategorien von Fehlermechanismen bei Notstromdieselgeneratoren .....	47
C.3.4	Workshop zu GVA-Ereignissen, die nach Modifikationen an der Anlage..... aufgetreten sind.....	49
<b>D</b>	<b>Sammlung, Analyse und Bereitstellung von Informationen zu deutschen GVA-Ereignissen für den Datenaustausch</b> .....	<b>51</b>
D.1	Ventilatoren .....	51
D.2	Frischdampfisolationsventile .....	51
D.3	Software-basierte leittechnische Einrichtungen.....	52
D.4	Update des Beitrags mit Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken.....	53
<b>E</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick zum ICDE-Projekt</b> .....	<b>55</b>
	<b>Literaturverzeichnis (Anhang)</b> .....	<b>57</b>

## **1 Einführung und Zielsetzung**

Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) können die Verfügbarkeit von Sicherheitssystemen 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, in denen vergleichbare Technik eingesetzt wird, 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 geschrieben 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 mit initiiert. 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 der wichtigsten Sicherheitssysteme erfasst werden.

Der Lenkungskreis des ICDE-Projektes setzt sich zusammen aus GVA-Experten der teilnehmenden Organisationen. Beteiligt sind hierbei sowohl TSOs, Forschungseinrichtungen wie auch Aufsichtsbehörden. Teilweise werden die teilnehmenden Organisationen durch die Betreiber unterstützt. Der Lenkungskreis definiert den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik bei der Erfassung und Bewertung von gemeinsam verursachten Ausfällen. Dadurch ist der ICDE-Arbeitskreis ein bereits etabliertes Element für den Aufbau eines internationalen Expertennetzwerks, dem in Zukunft, bei

knapper werdenden finanziellen und personellen Ressourcen, eine immer größere Bedeutung bei der Aufrechterhaltung eines hohen Sicherheitsniveaus in der Kerntechnik zukommt. Die im ICDE-Projekt durchgeführte systematische Sammlung und Analyse von Betriebserfahrungen entspricht somit auch dem Sinne von Artikel 19, vii, des Übereinkommens über nukleare Sicherheit /BMU 11/, demzufolge vorhandene Mechanismen dazu genutzt werden sollen, um wichtige Erfahrungen mit internationalen Gremien, anderen Betreiberorganisationen und staatlichen Stellen auszutauschen.

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 im Rahmen mehrerer BMU-Vorhaben und soll fortgesetzt werden.

Die Arbeiten im Rahmen des ICDE-Projektes dienen der Absicherung und Erweiterung der Erkenntnisse über GVA, die im Hinblick auf probabilistische Sicherheitsanalysen und zur Bewertung von vorbeugenden Maßnahmen gegen das Auftreten von GVA genutzt werden können.

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 Risiko informierten Aufsicht genutzt werden kann,
- quantitative Informationen über GVA-Ereignissen 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.

Durch die Zusammenarbeit mit den am ICDE-Projekt beteiligten Partnerorganisationen wird der Umfang des Erfahrungsrückflusses hinsichtlich GVA-Ereignissen gegenüber dem aus der nationalen Betriebserfahrung wesentlich erweitert. Dadurch wird

- die Informationsbasis verbreitert zur frühzeitigen Erkennung von bisher nicht oder wenig bekannten GVA-Phänomenen, einschließlich deren Ursachen und Auswirkungen,
- Erfahrung von in ausländischen Kernkraftwerken getroffenen vorbeugenden Maßnahmen gewonnen,
- Information über die teilweise unterschiedlichen Methoden bei der Erfassung, Auswertung und Modellierung von GVA-Ereignissen in den verschiedenen Ländern gewonnen. Dabei werden Erfahrungen gewonnen, die eine Weiterentwicklung der Methoden im Hinblick auf Angleichung oder Vereinheitlichung fördern.

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.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten im Vorhaben betraf die systematische Auswertung der aus ausländischen Anlagen in die ICDE-Datenbank eingespeisten Ereignisberichte. Bereits in den Vorgängervorhaben wurden die in der ICDE-Datenbank zum damaligen Zeitpunkt vorhandenen Ereignisberichte zu Kreiselpumpen, Notstromdieseln, Füllstandsmessungen, motorbetätigten Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventilen, Leistungsschalter und Batterien ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in /GRS 08a/ und /GRS 11b/ dokumentiert. Entsprechend diesen Vorläufervorhaben wurden jetzt die in der ICDE-Datenbank vorhandenen Ereignisberichte zu Steuerstäben und Steuerstabantrieben sowie zu Wärmetauschern hinsichtlich der den jeweiligen GVA-Ereignissen zu Grunde liegenden Ursachenketten ausgewertet und mit den aus deutschen Anlagen bekannten verglichen. Dabei wurden in deutschen Anlagen bisher unbekannte GVA-Phänomene identifiziert. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind im Folgenden beschrieben.

Im Anhang zu diesem Bericht werden Hintergrundinformationen zum ICDE-Projekt gegeben. Zum einen sind dort die organisatorischen Arbeiten und Entwicklungen beschrieben, die zur Lenkung des Projektes im Rahmen des gerade abgeschlossenen Vorhabens notwendig waren. Dabei sind auch die wesentlichen organisatorischen Rahmenbedingungen des Projekts in ihren aktuellen Fassungen mit aufgeführt. 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 Laufzeit des Vorhabens durchgeführten Auswertungen deutscher Betriebserfahrung mit GVA-Ereignissen und die dabei erzielten Ergebnisse beschrieben.

## **2 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 Zeitraum Verfügbaren um mehr als das Zehnfache erweitert. Dadurch wird die Grundlage für die Bewertung von GVA substantiell verbreitert und abgesichert. Um diese Erweiterung der Datenbasis für aufsichtliche Fragestellungen nutzbar zu machen, wurden Ereignisberichte, die bisher im Rahmen des ICDE-Datenaustauschs von den Teilnehmerorganisationen aus den anderen Ländern erhalten wurden, systematisch ausgewertet.

In den Vorgängervorhaben wurde dazu GVA-Ereignisse bei Kreiselpumpen, Notstromdieselaggregaten Füllstandsmessungen, motorbetätigte Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Batterien und Leistungsschalter ausgewertet (vgl. /GRS 08a, b/ und /GRS 11a, b/). Dabei wurde die Übertragbarkeit der Ereignisse auf deutsche Anlagen untersucht, indem die in ausländischen Anlagen beobachteten Phänomene mit den aus deutschen Anlagen bekannten Phänomenen verglichen wurden. Mit den Komponentenarten Steuerstäbe, Steuerstabantriebe und Wärmetauscher wurde diese Auswertung im aktuellen Vorhaben fortgesetzt. In den nachfolgenden Abschnitten werden für die jetzt ausgewerteten Komponententypen die im Ausland beobachteten Phänomene dargestellt. Für aus deutschen Kernkraftwerken nicht bekannte Phänomene, die im Ausland beobachtet wurden, wird aufgezeigt, welche bisher in deutschen Anlagen nicht aufgetretenen Phänomene bei den Vorsorgemaßnahmen gegen GVA zu berücksichtigen sind. Insbesondere werden auch neue Phänomene beschrieben, die bei langen Anlagenstillstandszeiten, zum Beispiel während der Nachbetriebsphase, von besonderer Bedeutung sind.

### **2.1 Grundlage der Auswertungen**

Für die Auswertung der ausländischen GVA-Ereignisse an Steuerstäben und Steuerstabantrieben und an Wärmetauschern wurde die ICDE-Datenbank mit Stand vom 22.06.2011 verwendet. Diese enthält alle Ereignisse, die der GRS zu Beginn des aktuellen Vorhabens zugänglich waren. In Tabelle 2.1 ist die Anzahl der verfügbaren Ereignisse für die beiden Komponententypen angegeben. In Klammern ist die Anzahl der Ereignisse aus deutschen Kernkraftwerken aufgeführt.

**Tab. 2.1** Anzahl der für die GRS zugänglichen Ereignisse in der ICDE-Datenbank für in diesem Vorhaben ausgewertete Komponentenarten

Komponentenart	ICDE-Ereignisse
Steuerstäbe und Steuerstabantriebe	146 (4)
Wärmetauscher	45 (11)

Für die Auswertung wurden nur Ereignisse aus ausländischen Anlagen betrachtet. Dabei wurden Ereignisse aus der Bewertung ausgeschlossen, bei denen aufgrund der in der ICDE-Datenbank enthaltenen Informationen Zweifel am gleichzeitigen Vorliegen einer Schädigung bzw. an einem gemeinsamen Fehlermechanismus bestanden. Außerdem wurden Ereignisse, die auf Grund völlig anderer technischer Konstruktion nicht auf deutsche Anlagen übertragbar waren, von der Auswertung ausgenommen.

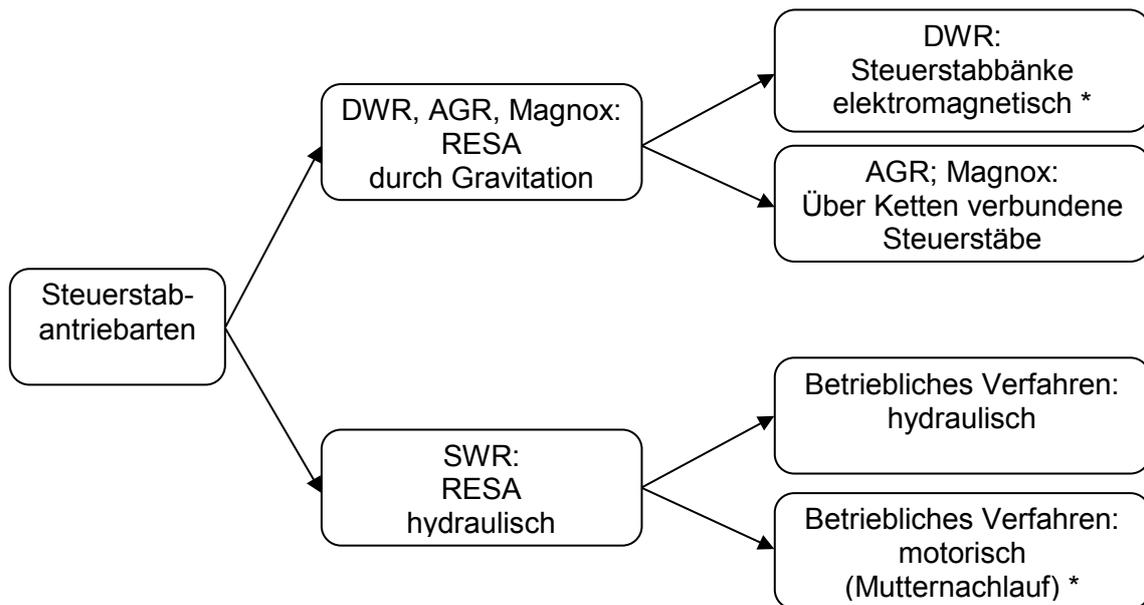
Für die übrigen Ereignisse wurde das beobachtete GVA-Ereignis kurz charakterisiert. Dabei wurde jeweils nur der Fehlermechanismus betrachtet, unabhängig davon, wie viele Komponenten auf Grund dieses Fehlermechanismus ausgefallen waren.

Die identifizierten Fehlermechanismen wurden dann nach vergleichbaren Fehlermechanismen gruppiert. Mit Abfragen in der GVA-Checkliste /GRS 10/ und einer anschließenden Expertenbefragung wurde geprüft, ob die identifizierten Fehlermechanismen auch aus deutschen Anlagen bekannt sind. Ein Fehlermechanismus wurde dabei als bekannt bewertet, wenn auch aus deutschen Anlagen ein GVA-Ereignis bekannt ist, das auf einen vergleichbaren Fehlermechanismus zurückzuführen ist.

Im Folgenden werden für die zwei in diesem Vorhaben ausgewerteten Komponentenarten zunächst die in der ausländischen Betriebserfahrung identifizierten Gruppen von Fehlermechanismen vorgestellt und kurz charakterisiert. Dabei werden die GVA-Fehlermechanismen, die aus deutschen Anlagen nicht bekannt sind, als solche identifiziert. Diese werden abschließend nochmals für jede ausgewertete Komponentenart zusammengestellt. Diese Zusammenstellung kann als Ausgangsbasis verwendet werden um zu überprüfen, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind um ein Auftreten vergleichbarer GVA-Ereignisse zu vermeiden.

## 2.2 Komponentenart Steuerstäbe und Steuerstabantriebe

Im Rahmen des ICDE-Projekts werden Ereignisse an Steuerstäben und Steuerstabantrieben von Druck- und Siedewasserreaktoren und von gasgekühlten Reaktoren (GCR, Typen: Magnox, AGR) erfasst. Für diese werden unterschiedliche Antriebsarten eingesetzt, teilweise auch länderspezifisch /NEA 12a/. Die in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Antriebsarten sind in der unten gezeigten Abbildung mit einem Stern (\*) gekennzeichnet.



**Abb. 2.1** Überblick über verschiedene Antriebsprinzipien von Steuerstäben

Einige Ereignisse sind aufgrund der unterschiedlichen Antriebsprinzipien oder aufgrund anderer technischer Unterschiede nicht auf deutsche Anlagen übertragbar und wurden daher von der Auswertung ausgeschlossen. Einige dieser nicht übertragbaren Ereignisse fielen jedoch aufgrund einer außerordentlichen sicherheitstechnischen Bedeutung auf, aufgrund derer sie in einem gesonderten Abschnitt kurz beschrieben werden.

Mit vier aus deutschen Anlagen eingespeisten GVA-Ereignissen an Steuerstäben und Steuerstabantrieben ist ein Zugang zu insgesamt 142 ausländischen GVA-Ereignissen in der ICDE-Datenbank möglich geworden. Davon entfallen 86 Ereignisse auf DWR-Anlagen, 45 auf SWR-Anlagen und 11 auf GCR-Anlagen. In Tab. 2.2 ist die Verteilung der Ereignisse auf die einzelnen Anlagentypen und die Zahl der auf deutsche Anlagen übertragbaren Ereignisse, die dann weiter ausgewertet wurden, dargestellt.

**Tab. 2.2** Verteilung der Ereignisse und Phänomene an Steuerstäben und Steuerstabantrieben aus der ICDE-Datenbank auf die verschiedenen Anlagentypen

Anlagentypen	Anzahl verfügbarer ausländischer Ereignisse	Anzahl übertragbarer ausgewerteter Ereignisse
DWR	86	86
SWR	45	14
GCR (Magnox und AGR)	11	0
<b>Gesamt</b>	<b>142</b>	<b>100</b>

- Auswertung von Ereignissen aus DWR-Anlagen:

Die Untersuchung der Ereignisse aus DWR-Anlagen ergab, dass 83 der 86 Ereignisse auf nur zwei unterschiedliche GVA-Fehlermechanismen zurückzuführen waren, die zudem in analoger Form auch bei SWR-Anlagen gefunden wurden. Eine weitere Unterteilung in Gruppen ist daher nicht sinnvoll. Die unterschiedlichen Fehlermechanismen werden im Folgenden beschrieben.

Bei 68 Ereignissen wurde bei Fallzeitversuchen der Stabeinfall wegen Deformation von Brennelementen behindert, so dass es zum Hängenbleiben von jeweils mehreren Steuerstäben im unteren Bereich (bis zu 25 Fahrschritte oberhalb der unteren Endlage) kam. Die Deformationen werden auf die Interaktion bzw. Kombination strahlungsbedingter, thermischer, hydraulischer und mechanischer Lasten zurückgeführt. Aus der jüngsten internationalen Betriebserfahrung ist bekannt, dass insbesondere neutronenflussoptimierte MOX-Brennelemente zu strahleninduziertem Verbiegen neigen. Es gibt Hinweise aus dem Testbetrieb mit einem einzelnen Stab in einer deutschen Anlage, dass dies das vollständige Einfallen von Stäben behindern kann. Der im Ausland beobachtete Umfang der Schädigungen ist allerdings aus deutschen Anlagen nicht bekannt, insbesondere sind aus deutschen Anlagen keine GVA mit diesem Phänomen bekannt. Auch sind die ausländischen Ereignisse in einem Zeitraum geschehen, in dem der in deutschen Anlagen auffällig gewordene Brennelementtyp noch nicht eingesetzt wurde.

Bei weiteren 15 Ereignissen wurde der Stabeinfall durch Fremdkörper (Teile gebrochener Verdrehsicherungen aus den Antrieben) behindert. Aus diesen Ereignissen ergeben sich keine neuen Erkenntnisse, da Verklemmen durch Fremdkörpereintrag sowohl für deutsche SWR- als auch für DWR-Anlagen bekannt ist.

Bei den drei übrigen Ereignissen an DWR-Anlagen wurden folgende Fehlermechanismen beobachtet. Bei einem Ereignis wurde in der ersten Anlagen-Revision ein unerwartet hoher Verschleiß an Steuerstäben gefunden, der den Austausch von acht Elementen erforderlich machte, obwohl die Steuerstäbe und die Führungsrohre mit Chromplattierung versehen waren. Eine Ursache dafür konnte nicht ermittelt werden. Das Phänomen ist aus der deutschen Betriebserfahrung unbekannt. Bei einem weiteren Ereignis kam es zu Rissen durch Schwellen des Metalls und zu Verschleiß aufgrund von Positionsänderungen der Steuerstäbe und aufgrund von strömungsinduzierten Schwingungen. Dieses Phänomen ist aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt. Beim dritten Ereignis kam es zu Beschädigungen an Innengewinden, da Falltests mit versehentlich von den Antriebsspindeln entkoppelten Steuerstäben durchgeführt wurden. Daraus ergeben sich für deutsche Anlagen keine neuen Erkenntnisse.

- Auswertung von Ereignissen aus SWR-Anlagen:

Von den 45 ausländischen Ereignissen aus SWR-Anlagen wurden 30 aufgrund fehlender Übertragbarkeit von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Davon waren zehn Ereignisse für die in deutschen Anlagen nicht eingesetzte Anlagentechnik mit betrieblichem hydraulischem Einfahren spezifisch. Die übrigen 20 Ereignisse wurden nach der Auswertung ausgeschlossen, da die Phänomene aufgrund unterschiedlicher Ausführung von Dichtungspartien in Steuerstabantrieben (in deutschen Anlagen keine Graphitpackungen als Achsdichtung, gesamter Bereich steht unter Reaktordruck) sowie unterschiedlicher Positionierung von Mikroschaltern (in deutschen Anlagen räumlich getrennt von den Rutschkupplungen), auf deutsche Anlagen nicht übertragbar sind. Ein weiteres Ereignis wurde aufgrund unzureichender Informationen in der ICDE-Datenbank ausgeschlossen.

Für die verbliebenen Ereignisse wurde unterschieden, ob das zugrundeliegende Phänomen – auch potentiell – die sicherheitstechnisch wichtige, die betriebliche oder beide Antriebsarten betroffen hat.

- Von den zugrundeliegenden Phänomenen betreffen zwei ausschließlich das hydraulische Einschießen der Steuerstäbe:

Bei vier Ereignissen führten Fehler an Ventilen im Schnellabschaltsystem aufgrund von Instandhaltungsmängeln bzw. Mängeln im Alterungsmanagement und der mangelnden Auswertung des Erfahrungsrückflusses zu Einschießzeitverzögerungen, Nicht-Einfahren bzw. Herausdriften von Steuerstäben. Es waren ungeeignete Bauteile (durch Fremdstoffe verklebte Vorsteuerventilsitze (Chargenfehler), die vom Hersteller zurückgerufen worden waren), ungeeignete Paarungen von alten und neuen Bauteilen (unterschiedlich dimensionierte, aber mit gleichem Drehmoment angezogene Schrauben, Muttern und Zahnscheiben), und alte Bauteile (gebrauchte Federn wurden in Plunger-Rückschlagventilen wiederverwendet, da nicht genug Ersatzteile lagerhaltig gewesen waren) eingesetzt worden. Derartige Ereignisse sind aus der deutschen Betriebserfahrung unbekannt.

Ein anderes Ereignis an SCRAM-Magnet-Vorsteuerventilen ist aus der Betriebserfahrung von anderen Magnet-Vorsteuerventilen bekannt, wenn auch nicht aus dem Schnellabschaltsystem. Bei mehr als 20 % von 10 % getesteten Steuerstäben kam es zu verzögertem Einschießen, da Beschädigungen aufgrund langer Nicht-Betätigung in den seit einem Zyklus eingesetzten Vitonsitzen von Magnet-Vorsteuerventilen zu Hafteffekten führten. Das Ereignis zeigt auf, dass durch Mängel in der Instandhaltung Fehlermechanismen an Ventilen im Steuerstabantriebssystem auftreten können, die bereits von anderen Komponentenarten bekannt sind.

- Folgende Phänomene betreffen sowohl das hydraulische Einschießen als auch den elektromotorischen Antrieb (Mutternachlauf):

Bei einem Ereignis wurden Steuerstäbe durch strahlungsbedingt verbogene Kerneinbauten von seit elf Zyklen eingesetzten Brennelementkästen aufgeschlitzt oder so behindert und abgebremst, dass sich ein Steuerstab nicht mehr in seine Führung einführen ließ. Auch in einigen deutschen SWR-Anlagen werden Brennelementkästen im Rahmen eines Kastenmanagements wiederverwendet. Derartige Ereignisse sind jedoch aus deutschen Anlagen unbekannt.

Bei drei Ereignissen lösten Fremdkörper (in zwei Fällen abgebrochene Schraubenköpfe von Brennelement-Boxen) das Hängenbleiben einiger Steuerstäbe beim hydraulischen Einschießen bzw. beim Ziehen aus dem Reaktor aus. Aus diesen Ereignissen

ergeben sich keine neuen Erkenntnisse, da Verklemmen durch Fremdkörpereintrag sowohl für deutsche SWR- als auch für DWR-Anlagen bekannt ist.

Bei einem Ereignis führte chloridinduzierte Korrosion zu gebrochenen Federn und Graphitspannrings. Diese lagen auf den Antrieben und führten zu Einschießzeitverzögerungen und zur Schutzabschaltung beim Steuerstabziehen. Der Korrosionseintrag wird herstellungsbedingten Verunreinigungen zugeschrieben. An derselben Stelle wird jedoch erwähnt, dass es im vorangegangenen Jahr zu Problemen mit der Wasserchemie des Schnellabschaltsystems gekommen war. Verklemmen durch Fremdkörper und herstellungsbedingte Verunreinigungen mit Chlorid sind zwar bekannte Phänomene, Schädigungen an Bauteilen durch falsche Wasserchemie im Schnellabschaltsystem sind jedoch aus der deutschen Betriebserfahrung unbekannt.

- Folgende Phänomene betrafen nur den elektromotorischen Antrieb:

In Strömungstoträumen angesammeltes Metallpulver, das für das Abstrahlen von Oberflächen benutzt wurde, wurde durch unnormale Strömungsverhältnisse in die Führungsrohre gespült und führte zu drei sukzessiven Ereignissen in einer Anlage, in denen bis zu 15 Steuerstäbe in eingefahrener Position verklemmten. Das hydraulische Einschließen war für diese Anlage laut Angaben in der ICDE-Datenbank durch den Fehlermechanismus nicht beeinträchtigt. Dieser GVA-Mechanismus ist aus deutschen Anlagen unbekannt.

Durch unzureichendes Abarbeiten eines Ablaufschemas wurden Positionen von zu entfernenden Sicherungen in der Stromversorgung von Steuerstabantrieben vor dem Ziehen von Steuerstäben verwechselt und das Steuerstabziehen verfrüht eingeleitet. Das Entfernen der Sicherungen hatte zum Ziel, dass bestimmte Stäbe im Kern verbleiben. Durch die Verwechslung waren die falschen Stäbe im Kern, durch das verfrühte Steuerstabziehen konnten die betroffenen gezogenen Stäbe nicht mehr eingefahren werden. Verwechslungen von Steuerstabpositionen sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt, siehe auch WLN 2005/13, daher ergeben sich aus diesem Ereignis keine neuen Erkenntnisse.

- Ereignisse aus GCR-Anlagen:

Aus den Ereignissen an gasgekühlten Reaktoren GCR ist aufgrund des unterschiedlichen Designs der vom Fehlermechanismus betroffenen Betriebsmittel oder der unter-

schiedlichen Anforderungen und Bedingungen an die Instandhaltung keine Übertragbarkeit auf deutsche Anlagen gegeben.

- Nicht übertragbare Ereignisse mit hoher sicherheitstechnischer Bedeutung

Es wurden acht ICDE-Ereignisse mit erheblicher sicherheitstechnischer Bedeutung identifiziert, die aufgrund der Spezifität des zugrundeliegenden Phänomens für den betroffenen Systemaufbau (in einem Fall GCR, sonst Siedewasserreaktor mit hydraulischem Antrieb sowohl für sicherheitstechnische wie auch betriebliche Antriebsart) auf deutsche Anlagen nicht übertragbar sind. Aufgrund ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung finden sie im Folgenden Erwähnung:

Planungsfehler bei einer nachgerüsteten Verriegelungslogik zur Verbesserung von Testmöglichkeiten, führten trotz auffälliger Testergebnisse zu unerkannter Unverfügbarkeit des diversitären RESA-Systems, mit dem ein Teil der Steuerstäbe mit Motorantrieb in den Kern gefahren werden kann, wenn die RESA mit dem Einfall der Stäbe durch die Schwerkraft versagt. In sieben Ereignissen kam es aufgrund von Freischaltungsfehlern, organisatorischen Mängeln oder Auslegungsänderungen zu Herausdriften von Steuerstäben aus dem Kern, u. a. auch bei der Druckprobe bei kaltem Reaktor und infolgedessen zu Kritikalität. Für weitergehende Informationen siehe /NIS 07/.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der hier ausgewerteten internationalen Betriebserfahrung mit Steuerstäben und Steuerstabantrieben fünf systematische Fehlermechanismen beobachtet wurden, die auf deutsche Anlagen übertragbar, aber aus der deutschen Betriebserfahrung mit GVA noch nicht bekannt sind. Diese aus der deutschen Betriebserfahrung bisher unbekannt systematischen Fehlermechanismen und Ursachen sind in Tabelle 2.3 zusammenfassend dargestellt.

**Tab. 2.3** Systematische Fehlermechanismen bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben, für die überprüft werden sollte, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind

Anlagentyp/Antriebsart	Fehlermechanismus
Für beide Anlagentypen relevant	Hängenbleiben/Schwegängigkeit/Beschädigungen von Steuerstäben aufgrund von Verbiegung von <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Brennelementen aufgrund thermischer, hydraulischer, mechanischer und radiologischer Einwirkungen</li> <li>b) über mehrere Zyklen eingesetzten, strahlungsbedingt verbogenen Bauteilen an Brennelementkästen</li> </ul>
DWR-spezifisch	Vorzeitiger Verschleiß von Steuerstäben nach einem Zyklus trotz Chromplattierung
SWR-spezifisch – hydraulisch	Instandhaltungsmängel (alte, zurückgerufene, falsch kombinierte Bauteile) an Ventilen im Schnellabschaltsystem führen zu Einschießzeitverzögerungen, Nicht-Fahren bzw. Herausdriften von Steuerstäben.
SWR-spezifisch – sowohl betriebliches Einfahren als auch hydraulisches Einschießen betroffen	Falsche Wasserchemie im Schnellabschaltsystem führt durch chloridinduzierte Korrosion an Steuerstabantriebsbauteilen zu Fremdkörpereintrag und Verklemmen
SWR-spezifisch – Mutternachlauf	Metallpulveransammlungen vom Oberflächenabstrahlen werden durch unnormale Strömungsverhältnisse aus Strömungstoträumen gespült und führen zum Verklemmen von Steuerstäben.

### 2.3 Komponentenart Wärmetauscher

Im Rahmen des ICDE-Projekts werden Ereignisse an sicherheitstechnisch wichtigen Wärmetauschern in den Nachwärmeabfuhrsystemen erfasst. Die Wärmetauscher werden dabei nach dem zu kühlenden System benannt.

Mit elf aus deutschen Anlagen eingespeisten Ereignissen ist ein Zugriff auf 34 ausländische GVA-Ereignisse möglich geworden. Diese 34 Ereignisse wurden zur Erlangung einer übersichtlichen Darstellung in Gruppen aufgeteilt. Für Wärmetauscher erwies

sich eine Aufteilung nach Ausfallsymptomen als günstig, d. h. nach direkten Auswirkungen auf die Kühler: Kurzschluss/Umführung, innere Leckage, Störung in der Bestimmung des Durchflusses und Verstopfung/Belagbildung.

Die meisten Ereignisse ließen sich dem Ausfallsymptom „Verstopfung“ zuordnen. Diese Ereignisart wird daher weiter unterteilt in Phänomene auf der Schmutzwasserseite, in Deionatsystemen und durch Ventilfehlstellungen. In Tabelle 2.4 ist die Anzahl der Ereignisse pro Ausfallsymptom angegeben.

**Tab. 2.4** Aufteilung der ausgewerteten Ereignisse an Wärmetauschern aus der ICDE-Datenbank

<b>Ausfallsymptom</b>	<b>Anzahl der Ereignisse</b>
Kurzschluss/Umführung	3
innere Leckage	8
Störung in der Bestimmung des Durchflusses	1
Verstopfung, Blockade und Belagbildung, davon	22
• schmutzwasserseitig	14
• in Deionatsystemen	7
• Ventilfehlstellungen	1
<b>Gesamt</b>	<b>34</b>

- Phänomene mit Ausfallsymptom Kurzschluss/Umführung

Bei zwei Ereignissen kam es zum Bruch des Trennblechs zwischen Einlauf- und Auslaufkammer von Wärmetauschern, einmal aufgrund von Auslegungsänderungen (Erhöhung des Durchflusses) und einmal durch Erosionskorrosion. Das Phänomen ist bekannt.

Bei einem weiteren Ereignis hatte ein Nebenleitstandsfahrer ohne Arbeitsauftrag Schalthandlungen vorgenommen, ohne die Prozedur zu berücksichtigen und damit Ventilfehlstellungen erzeugt, die zur Umgehung zweier Wärmetauscher führten. Auch aus diesem Ereignis ergeben sich keine neuen Erkenntnisse für deutsche Anlagen.

- Phänomene mit Ausfallsymptom innere Leckage

Alle Ereignisse mit inneren Leckagen wurden durch Korrosion verursacht. In zwei Fällen war es zu mikrobiologischer Korrosion in Niederdruckkühlern, in vier weiteren zu Korrosion unter Belägen an Incoloy 800 in Zwischenkühlern gekommen. Zwei weitere Ereignisse wurden durch nebenkühlwasserseitige Erosionskorrosion ausgelöst, in einem Fall verursacht durch unterlassene Behandlung mit Schutzlösung nach Hochdruckreinigung. Die vorgenannten Formen von Korrosion sowie deren Auslöser sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Für deutsche Anlagen interessant ist das zweite Ereignis mit Erosionskorrosion: Bruchstücke einer durch unsachgemäßes Herausziehen einer Wirbelstromsonde beschädigten Innenbeschichtung führten zu Turbulenzen und damit zu schnellfortschreitender Erosionskorrosion. Auch bei weiteren Ereignissen ging der Fehlermechanismus von Beschädigungen der Innenbeschichtung, Gummierung bzw. Rohrrinnenauskleidung aus, sie führten jedoch zu anderen Ausfallsymptomen. Sie werden in den nächsten beiden Abschnitten beschrieben.

- Phänomene mit Ausfallsymptom Störung in der Bestimmung des Durchflusses

Ein Ereignis wurde durch einen Auslegungsfehler verursacht: Die Rohrrinnenauskleidung aus Polyethylen war nicht für meerwasserdurchströmte Rohre geeignet. Deswegen löste sich an einem Einsteckende die Rohrauskleidung von dem Basismetall, das dadurch weiter erodierte. Durch die Durchströmung wurde die Auskleidung schließlich abgerissen und durch das Rohrleitungssystem gespült. Dabei wurde eine Durchflussmessblende deformiert, so dass anschließend instabile, geringere Durchflüsse gemessen wurden. In diesem Fall war nicht der Wärmetauscher selbst, sondern die innerhalb der Komponentengrenze liegende, als Differenzdruckmessung ausgeführte, Durchflussmessung betroffen. Wäre die Messblende nicht deformiert, sondern verstopft worden, hätte dies zum Einfrieren des Messwerts und damit zum Maskieren eines zu geringen Durchflusses durch den Wärmetauscher führen können. Das Phänomen ist aus der deutschen Betriebserfahrung unbekannt.

- Phänomene mit Ausfallsymptom Verstopfung, Blockade und Belagbildung
  - Phänomene in Schmutzwassersystemen

Bei einem Ereignis verstopften zwei von vier mit Meerwasser gekühlten Wärmetauschern im Gebäudesprühsystem durch Bewuchs und Reste abgelöster Rohrinnebeschichtung. Es war bei vorangegangenen Tests eine unzureichende Instrumentierung zur Messung des Durchflusses verwendet worden und es wurde keine Trendanalyse von Testergebnissen durchgeführt, so dass die Verstopfung bis zum Ausfall fortschritt. Das Phänomen "Verstopfung durch abgelöste Innenbeschichtung" ist aus der deutschen Betriebserfahrung unbekannt.

13 weitere Ereignisse wurden durch den Bewuchs mit Muscheln und anderen Meeresorganismen hervorgerufen. In einigen Fällen waren unzureichende Instandhaltungsmaßnahmen (Chlorierung verspätet eingeleitet) als Ursache angegeben. Muschelwachstum in Wärmetauschern ist ein bekanntes Phänomen.

Aus den folgenden Ereignissen ergeben sich jedoch neue Erkenntnisse:

Bei einem Ereignis war nicht bekannt gewesen, dass Muscheln unter bestimmten Bedingungen auch im Winter wachsen können: Aufgrund besonderer Bedingungen war in einem Winter das BE-Becken besonders warm und damit auch das Kühlwasser. Das implementierte Reinigungsprogramm gegen Muscheln reichte unter diesen Umständen nicht aus, um Muschelwachstum in den Zwischenkühlern zu verhindern; im Herbst war über zwei Monate die Chlorierung ausgesetzt worden. Die Muscheln schließen bei Chlorierung, um sich zu schützen. Kurze chlorierungsfreie Phasen (4-6 h) reichen aus, damit sie sich ernähren und überleben. Bei fünf weiteren Ereignissen kam es zu Verstopfungen durch Muschel- und Algenwachstum in Plattenwärmetauschern durch hohe Wassertemperatur parallel zur Revision im Sommer.

Bei einem anderen Ereignis kam es nach Reinigungsmaßnahmen mit Einsatz von Chemikalien zur Abtötung von Muscheln zur Verstopfung von Wärmetauschern im Gebäudesprühsystem durch eine Mischung von toten Muscheln und Korrosionsprodukten (Rohrleitungen aus Gusseisen).

Bei einem weiteren Ereignis kam es durch eine ungeeignete Schutzmaßnahme bei Instandhaltungstätigkeiten zum Einsaugen von Fischen in das Nebenkühlwassersystem.

Zum Entfernen und Säubern eines Siebblechs in einem Kühlwassereinlaufbauwerk war ein weiteres Siebblech als Schutzmaßnahme stromaufwärts gesetzt worden. Dabei wurden Aale zwischen den beiden Siebblechen eingeschlossen. Als das innere Siebblech gezogen wurde, wurden die Aale in laufende Pumpen mehrerer Stränge gesaugt und führten zu 50 %-Durchsatzminderung von Plattenwärmetauschern in 3 von 4 Redundanzen der Dieselskühlung und vom Nachwärmeabfuhrsystem.

- Phänomene in Deionatsystemen

Weitere sieben Ereignisse mit Fouling, Verstopfungen oder Schmutzablagerungen wurden aus Sauberswassersystemen berichtet: Dabei werden Instandhaltungsmängel wie unzureichende Reinigung, unzureichendes Test- und Überwachungsprogramm, und erschwerte Reinigung aufgrund radiologischer Einschränkungen verantwortlich gemacht. Diese Phänomene sind aus der deutschen Betriebserfahrung bekannt.

Das folgende Ereignis ergibt jedoch wichtige Erkenntnisse, insbesondere für Phasen längeren Stillstands oder Anlagen in der Nachbetriebsphase: Geringer Durchfluss im Notkühlssystem während der Revision führte zum Ausfall beider Wärmetauscher durch Ablagerung von Feststoffen.

- Ventilfehlstellungen

Bei einem Ereignis kam es aufgrund von Dokumentationsfehlern bei der Instandhaltung zu Ventilfehlstellungen, so dass meerwasserseitig ein anderer Wärmetauscher durchgeschaltet war als zwischenkühlwasserseitig. Aus diesem Ereignis ergeben sich keine neuen Erkenntnisse für deutsche Anlagen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der hier ausgewerteten internationalen Betriebserfahrung mit Wärmetauschern sieben systematische Fehlermechanismen beobachtet wurden, die auf deutsche Anlagen übertragbar, aber aus der deutschen Betriebserfahrung mit GVA noch nicht bekannt sind. Diese aus der deutschen Betriebserfahrung bisher unbekannt systematischen Fehlermechanismen und Ursachen sind in Tabelle 2.5 zusammenfassend dargestellt.



### **3 Zusammenfassung der Auswertungen und Ausblick**

Die Auswertung der ausländischen GVA-Ereignisse ergab, dass Phänomene bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben überwiegend durch Mängel im Alterungsmanagement und in der Instandhaltung hervorgerufen wurden. Dabei konnten einige Fehlermechanismen identifiziert werden, die aus deutschen Anlagen als GVA-Phänomene noch nicht bekannt sind, siehe Tab. 2.3. Auch bei den Ereignissen an Wärmetauschern wurden überwiegend Instandhaltungsphänomene identifiziert. Die aus deutschen Anlagen unbekannt Phänomene waren hauptsächlich Phänomene in Schmutzwassersystemen, aber auch ein Ereignis mit Verstopfung in einem Deionatsystem, das auch für eine lang andauernde Nachbetriebsphase von Kernkraftwerken von besonderer Bedeutung ist, siehe Tab. 2.5.

Es wird empfohlen, dass in den deutschen Anlagen überprüft wird, ob gegen das Auftreten der vorgenannten GVA-Phänomene wirksame Vorsorgemaßnahmen ergriffen worden sind. Generell wird empfohlen zu überprüfen, ob die vorhandenen Maßnahmen gegen GVA auch während einer längerfristigen Nachbetriebsphase ausreichend und wirksam sind.

Zusätzlich wird für die Instandhaltung von Wärmetauschern empfohlen

- zu prüfen, ob das Reinigungsprogramm gegen Muscheln für alle möglichen Muschelarten ausreichend ist;
- die Kühlwassertemperaturen zu überwachen, und bei Temperaturen, die für bestimmte Muschelarten besonders günstig sind, frühzeitig geeignete Maßnahmen gegen ungewöhnliches Muschelwachstum zu ergreifen;
- sicherzustellen, dass tote Muscheln nach Einsatz von Chemikalien zur Abtötung der Muscheln vollständig aus den Kühlern herausgespült werden;
- die Eignung von Schutzmaßnahmen gegen Fremdkörpereintrag bei der Instandhaltung (wie zum Beispiel Ersatzmaßnahmen beim Entfernen von Siebblechen) zu prüfen.

Mit dieser Auswertung liegt jetzt für die Komponentenarten Kreiselpumpen, Notstromdiesel, Füllstandsmessungen, motorbetätigte Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Leistungsschalter, Batterien, Steuerstä-

be- und Steuerstabantriebe und Wärmetauscher eine erste Auswertung ausländischer Ereignisse vor. Es ist geplant, diese Arbeiten für die inzwischen in den ICDE-Datenaustausch aufgenommenen Komponentenarten Lüfter, Frischdampfisolationsventile und digitale Leittechnikrichtungen sowie für die im Rahmen der regelmäßig durchgeführten Updates mit weiteren Beobachtungsjahren zugänglichen neuen Ereignisse an den anderen Komponentenarten fortzusetzen.

## Literaturverzeichnis

- /BMU 11/ Übereinkommen über nukleare Sicherheit Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland für die 5. Überprüfungstagung im April 2011 (CNS 2011)
- /GRS 08a/ Kreuser, A., Holtschmidt, H., Stiller, J.C.; Auswertung von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, GRS-A-3403, Januar 2008
- /GRS 08b/ Kreuser, A., Holtschmidt, H., Stiller, J.C.; 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 10/ Kreuser, A., Stiller, J.C., Voelskow, J.; Entwicklung einer Checkliste mit GVA-Phänomenen zur Überprüfung der in den deutschen Kernkraftwerken getroffenen Vorsorgemaßnahmen gegen GVA, GRS-A-3546, Juli 2010
- /GRS 11a/ Kreuser, A., Arnold, S., Voelskow, J.; Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, Abschlussbericht Phase 2008-2010, GRS-A-3578, Januar 2011
- /GRS 11b/ Kreuser, A., Voelskow, J.; Auswertung von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE, Teil 2, GRS-A-3588, Februar 2011
- /NEA 12a/ Nuclear Energy Agency, Committee on the Safety of Nuclear Installations, International Common Cause Failure Data Exchange (ICDE), General Coding Guidelines, Updated Version, NEA/CSNI/R(2011)12, February 2012, <http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2011/csni-r2011-12.pdf>

/NIS 07/ Nuclear and Industrial Safety Agency Investigation Report on the Criticality Incident at Shika Nuclear Power Station, Unit 1 of Hokuriku Electric Power Company in 1999 and Other Unexpected Control Rod Withdrawal Events During Plant Shutdowns, April 2007 (in der Übersetzung von JNES im Juni 2007), <http://www.nsr.go.jp/archive/jnes/atomdb/content/000025564.pdf>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 2.1	Überblick über verschiedene Antriebsprinzipien von Steuerstäben.....	7
Tab. 2.1	Anzahl der für die GRS zugänglichen Ereignisse in der ICDE-Datenbank für in diesem Vorhaben ausgewertete Komponentenarten .....	6
Tab. 2.2	Verteilung der Ereignisse und Phänomene an Steuerstäben und Steuerstabantrieben aus der ICDE-Datenbank auf die verschiedenen Anlagentypen.....	8
Tab. 2.3	Systematische Fehlermechanismen bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben, für die überprüft werden sollte, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind .....	13
Tab. 2.4	Aufteilung der ausgewerteten Ereignisse an Wärmetauschern aus der ICDE-Datenbank .....	14
Tab. 2.5	Systematische Fehlermechanismen und Ursachen bei der Komponententyp Wärmetauscher, für die überprüft werden sollte, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind.....	18



## Anhang



## **A Organisation des ICDE-Projekts**

### **A.1 Aufgabenverteilung innerhalb des Projekts**

Um die vertrauliche Behandlung der ausgetauschten Daten gewährleisten zu können, 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 („Steering Group“). Dieser wird dabei vom NEA-Projektsekretär und dem so genannten „Operating Agent“ unterstützt. Das NEA-Sekretariat ist verantwortlich für die finanzielle Verwaltung und technische Unterstützung des Projekts seitens der OECD. 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 ca. drei Jahre laufenden Vereinbarung, fachlich zu dem Projekt beizutragen und die anteiligen Kosten für den Operating Agent zu übernehmen. Die aktuelle Vereinbarung läuft noch bis Dezember 2014. Der ICDE Lenkungskreis hat inzwischen beschlossen das Projekt fortzuführen und das NEA-Sekretariat beauftragt eine entsprechende Vereinbarung vorzubereiten.

#### **A.1.1 ICDE Lenkungskreise**

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 des ICDE-Projekts,

- 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,
- Überwachung der Arbeiten des Operating Agents,
- Bestimmung des Informationsflusses (öffentliche Information und Vertraulichkeit),
- Aufbau und Inhalt der Projektberichte,
- 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), IRSN (Frankreich), GRS (Deutschland), SSM (Schweden), STUK (Finnland), CNSC (Kanada), ONR (Großbritannien), CSN (Spanien), ENSI (Schweiz), KAERI (Südkorea), NRA (Japan) und das zum Jahr 2013 neu in den Lenkungskreis aufgenommene UJV (Tschechische Republik). Zusätzlich beteiligt sich das niederländische Kernkraftwerk Borssele indirekt über die GRS. In den Heimatländern der beteiligten Organisationen werden etwa 75 % der weltweit existierenden Kernkraftwerke betrieben.

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 haben und selbst auch eigene Daten eingespeist haben.

### **A.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. Die NEA bestimmt das Projektsekretariat, hat jedoch keinen Einfluss auf die inhaltliche Arbeit des Lenkungsausschusses.

### **A.1.3 Operating Agent**

Die Aufgaben des Operating Agents werden von der schwedischen Firma „ÅF-Industry“ wahrgenommen<sup>1</sup>. 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 vorab von den Projektkoordinatoren definierten und in den ICDE-Kodieranleitungen niedergelegten Anforderungen 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.

## **A.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 Teilnehmer 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 oder Dritte weitergegeben.

---

<sup>1</sup> ÅF-Industry hat den bisherigen Operating Agent, die schwedische Firma „ES-Konsult“ im Januar 2014 übernommen, die Arbeit im Rahmen des ICDE-Projekts bleibt hiervon jedoch unberührt.

### **A.3 Zustimmung der deutschen Betreiber**

Für eine aktive Teilnahme an dem internationalen GVA-Datenaustausch und für eine Mitarbeit im ICDE-Lenkungskreis ist die Weitergabe von Informationen aus dem eigenen Herkunftsland erforderlich. Dies sind Berichte zu beobachteten Ereignissen in deutschen Kernkraftwerken. Informationen zu solchen Ereignissen liegen der GRS in Form von meldepflichtigen Ereignissen und dazu erarbeiteten Stellungnahmen vor.

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 OECD/NEA/CSNI erfolgt. Dabei erstellt die GRS zunächst die Informationen zu den GVA-Ereignissen entsprechend den ICDE-Anforderungen in Englisch 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 A.2).

## **A Abstimmung von Art und Umfang der für den ICDE-Datenaustausch vorgesehenen Informationen**

Bei den Arbeiten, an denen die GRS im Rahmen der Vorlaufervorhaben 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. Das allgemeine Datenaustauschformat erfordert für jede Komponentenart, zu der Informationen ausgetauscht werden, eine komponentenspezifische Ergänzung sowie dazu gehörige Erläuterungen.

Im Berichtszeitraum wurden zusätzlich zu den schon vorhandenen komponentenspezifischen Kodieranleitungen (Kreiselumpen, Notstromdieselgeneratoren, motorbetätigten Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Batterien, Füllstandsmessungen, Leistungsschalter, Steuerstäbe und Steuerstabantriebe, Wärmetauscher und Frischdampfisolationsventile) zwei weitere komponentenspezifische Kodieranleitungen für den Datenaustausch zu Lüftern und zu software-basierten leittechnischen Einrichtungen fertiggestellt bzw. neu erstellt.

Die vom ICDE-Projekt erarbeiteten Kodieranleitungen wurden von der NEA zuletzt im Jahr 2012 veröffentlicht /NEA 04/

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

## **B.1 Allgemeine ICDE-Kodieranleitungen**

Die allgemeinen ICDE-Kodieranleitungen beschreiben den Umfang des unter ICDE angelegten Datenaustauschs hinsichtlich der zu erfassenden Komponentenarten und definieren:

- Ereignisse, die für den Datenaustausch in Frage kommen, als ICDE-Ereignisse, die sowohl GVA-Ereignisse als auch potentielle 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 bzw. gebildet 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,
- 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 B.4). Zu jedem Datenfeld machen die allgemeinen Kodieranleitungen Vorgaben. Dies sind z. B. Merkpostenlisten, um eine umfassende Beschreibung der ICDE-Ereignisse sicherzustellen, oder Erläuterungen zur Klassifizierung und Bewertung der Ereignisse.

Aufbauend auf den mit dem bisher durchgeführten Datenaustausch gewonnenen Erfahrungen hat der ICDE Lenkungskreis im Berichtszeitraum die Erläuterungen in den allgemeinen Kodieranleitungen zum Testintervall und zur Testprozedur überarbeitet und ergänzt. Diese sollen in das nächste Update der Kodieranleitungen aufgenommen werden. Darüber hinaus arbeitet der ICDE Lenkungskreis an der Erstellung einer zusätzlichen Kodieranleitung für die Ereignisanalyse (siehe Abschnitt B.3).

## B.2 Komponentenartsspezifische Kodieranleitungen

Die komponentenartsspezifischen 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 zusammengefasst werden für die Erfassung von ICDE-Ereignissen,
- 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.
- 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.

Im Berichtszeitraum wurde die komponentenartsspezifische Kodieranleitung zu Ventilatoren fertig gestellt (siehe Abschnitt D.1) und eine komponentenartsspezifische Kodier-

anleitung zu softwarebasierten leittechnischen Einrichtungen neu erstellt (siehe Abschnitt D.3).

### **B.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. Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, eine Kodieranleitung zur Ereignisanalyse zu erstellen. Folgende Aspekte sollen zukünftig erfasst und in der ICDE-Datenbank bei den "Common Cause Event Records" zu den Ereignissen zusätzlich kodiert werden:

- Ein Liste von Kodes zur Markierung von „wichtigen“ Ereignissen, die neben dem GVA-Aspekt aus anderen Gründen von Interesse sind, z. B. Ereignisse,
  - die zu größeren Modifikationen führten,
  - die nicht mit dem normalen Prüfprogramm erkannt wurden,
  - bei denen nicht bekannte Abhängigkeiten erkannt wurden,
  - bei denen mehrere Qualitätssicherungsmaßnahmen zur Verhinderung von GVA versagt hatten.
- Eine Liste von Schweregradklassen zur Bewertung von GVA, mitsamt entsprechender Filter 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.

Daneben wurde im ICDE-Lenkkreis damit fortgefahren, die verschiedenen zusätzlichen Klassifizierungen der Ereignisse, die in der Vergangenheit in den Auswertebereichen des ICDE-Projekts (siehe Abschnitt C.3.3) verwendet wurden, weiter zu systematisieren.

Dabei handelt es sich vor allem um zusätzliche Bewertungskategorien zur Klassifizierung von Ausfallsymptomen bzw. Aspekten zu Fehlermechanismen und Ausfallursachen für statistische Aufbereitungen der Ereignisse in den Auswertebereichen:

- Vereinheitlichte Codes zur Klassifizierung von Ausfallursachen:
  - Menschliche Fehler:
    - 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
- Systematisierte und überarbeitete komponentenartspezifische Codes zur Beschreibung von Ausfallsymptomen bzw. Aspekten von Fehlermechanismen. Für die Komponentenarten Pumpen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Batterien, Rückschlagventile und Leistungsschalter waren durch die federführenden Organisationen bereits früher im Rahmen der Erstellung von Auswertebereichen Kodierungen von Ausfallsymptomen eingeführt worden. Diese Codes werden derzeit innerhalb des ICDE-Lenkkreises überarbeitet. Für die übrigen Komponentenarten werden entsprechende Codes neu entwickelt. Dabei zeigte sich, dass es sinnvoll ist die ursprünglich als „Ausfallsymptome“ bezeichneten Merkmale neu als „Aspekte von Fehlermechanismen“ zu definieren, da die bisher als „Symptome“ bezeichneten Merkmale nicht durchgängig Ausfallsymptome darstellten und der Analyseschwerpunkt mehr auf die Fehlermechanismen gelegt werden sollte. Die neuen Codes sollen jetzt in einzelnen Workshops erprobt werden. Zu Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren hat bereits ein Workshop stattgefunden (siehe Abschnitt C.3.3).

## **B.4 ICDE-Datenbank**

Die Oberfläche der ICDE-Datenbank basiert auf der .NET Software der Firma Microsoft. Für jede im Rahmen des ICDE-Datenaustauschs erfasste Komponentenart gibt es eine eigene Ansicht. 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-Lenkungskreis 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 A.1.3), 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 Stamm-Datenbank mit allen Daten aus dem ersten Datenaustausch dieser Länder zugesandt.

Bei späteren Datenupdates, bei denen für eine Komponentenart zusätzliche Beobachtungszeiträume ausgewertet werden, erhält jede Organisation, die eigene Daten geliefert hat, die Stamm-Datenbank 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 sicher-

gestellt, dass jede Organisation nur Daten für solche Komponentenarten und Auswerteziträume erhält, für die sie auch eigene Beiträge geliefert hat.

#### **B.4.1 Struktur der ICDE-Datenbank**

Die ICDE-Datenbank besteht aus zwei Teilen:

- Den „Observed Population Records“, in denen die einzelnen Beobachtungseinheiten/Komponentengruppen beschrieben werden, die zum ausgewerteten Beobachtungsumfang gehören, einschließlich der zugehörigen statistischen Informationen, wie z. B. der Beobachtungszeit und der Zahl der im ausgewerteten Beobachtungszeit aufgetretenen Einzelfehler für alle ausgewerteten Ausfallarten. Die „Observed Population Records“ werden unabhängig von den erfassten GVA-Ereignissen zur Beschreibung der Grundgesamtheiten für jede ausgewertete Komponentenart angelegt.
- Den „Common Cause Event Records“, in denen die beobachteten GVA-Ereignisse bzw. ICDE-Ereignisse beschrieben und bewertet werden. Jedes „Event“ ist mit demjenigen „Observed Population Record“ verknüpft, der die Beobachtungseinheit/Komponentengruppe beschreibt, in der das Ereignis aufgetreten ist.

Die Datenbank enthält Textfelder und Schlüsselfelder sowie Datums- und numerische Angaben. Die Textfelder dienen zur verbalen Beschreibung der

- Komponentengruppen,
- Ereignisabläufe und -ursachen,
- Bewertungen.

Die Schlüsselfelder ermöglichen Recherchen unter bestimmten Gesichtspunkten, wie

- Anlage,
- System,
- Komponentenart,
- Ausfallart,
- Ursachenklassifizierung (Root Cause),

- Kopplungsmechanismus (Klassifizierung) (Coupling factor),
- getroffene Maßnahmen (Klassifizierung),
- Art der Fehlerentdeckung.

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). Datumsangaben erfolgen für Anfang und Ende des ausgewerteten Beobachtungszeitraums sowie für die Tage, an denen die Ereignisse beobachtet wurden.

Spezielle numerische Angaben erfolgen für:

- Testintervall,
- Zahl der Komponentengruppen,
- Zahl der unabhängigen Ausfälle zu einer bestimmten Ausfallart,
- Beobachtungsdauer,
- Gesamtzahl der Komponenten der einzelnen Komponentengruppen,
- Dauer des unerkannten Vorliegens eines Schadens (soweit feststellbar).

#### **B.4.2 Weiterentwicklung der ICDE-Datenbank**

Im Berichtszeitraum wurde die Datenbanksoftware auf Anforderung des ICDE-Lenkungskreises laufend weiterentwickelt, so wurden z. B. Suchfunktionen und Navigiermöglichkeiten optimiert. Entsprechend den Änderungen wurde das „ICDE Tool User Manual“ ergänzt. Für die neu in den Datenaustausch aufgenommenen Komponentenarten Frischdampfisolationsventile, Lüfter und softwarebasierte leittechnische Einrichtungen wurde nach Erprobung durch den ICDE-Lenkungskreis eine endgültige Datenbankansicht erstellt.

Zusätzlich wurde damit begonnen, entsprechend der Anleitung zur Ereignisanalyse (siehe Abschnitt B.3) Felder zu erstellen, in denen die überarbeiteten bzw. für manche Komponentenarten neu erstellten Bewertungskategorien zu Ausfallmechanismen und

zur Markierung von „wichtigen“ Ereignissen (Event Category) kodiert werden sollen. Die Ausfallmechanismuskategorien stellen eine Weiterentwicklung der in einigen Berichten des ICDE-Projekts (siehe Abschnitt B.3) verwendeten Ausfallsymptomkategorien dar und sollen diese in zukünftigen Berichten ersetzen. Außerdem wurde eine Möglichkeit geschaffen, miteinander korrelierte Ereignisse (z. B. gleiche Ereignisse, die in verschiedenen Komponentengruppen aufgetreten sind) zu markieren.

Abb. B.1 Failure Analysis – Ansicht der ICDE Datenbank

SusiQ 3.0 - 2014-02-11 15:55:08\_G8\_replica (replica)

File Edit View Project Tools Actions Help

Centrifugal Pumps

Record: 71 of 344

OCF Events - Centrifugal Pumps (G0=3083:France\FR-13\3.BB\CP-MS-Int\1 C0=3075 C1=CRIS\_8532)

General | Specification | **Failure Analysis** | QA | Permissions | Owner

Failure Mechanism Description  
marine growth and dirt at the intake of the essential service water system could potentially disable the system

Failure Mechanism Category

Failure Mechanism Sub Category

Failure Cause Category

Event Code C1 of correlated events

Analyst Comments  
marine growth and dirt at the intake of the essential service water system could potentially disable the system

Workshop External events 2012-04-26:  
Main areas of improvement:  
Lessons learnt: Accumulation of debris behind problem  
Other aspects of interest:  
Comment on event coding: Fleet problem marine growth and dirt at the intake of the essential service water system could potentially disable the system. Interesting event "Fleet impact"

Old Failure Symptom Category  
CP-FS4  
Suction problems, other hydraulic problems

Old Failure Symptom Aspects  
CP-s4 foreign material plugging suction path

Old Failure Cause Category  
CM Deficiencies in construction/manufacturing of hardware

Event Categories

Category	Comment
11 CCF Multiple units - CCF affecting a fleet of reactors or multiple units at one site. - The code gives information about CCF events that have occurred and affected several plants at a site. The events have to originate from a common root cause.	

Add Event Category

Event Analysis References

Analysis	Comment
Pump report 2: NEA/CSNI/R(2013)2	
Workshop: External factors 2012 (SG34) (cross-component)	
Pump report 1: NEA/CSNI/R(99)2	

Add Event Analysis Reference

Lead Countries

Name
Clearing house

Running Created: 29.12.2013 13:21:31 Version: 1.5.5111.24045 Database: V1\_5\_4 21.05.2014 09:55

## **B Ergebnisse des ICDE-Projekts**

### **C.1 Stand des ICDE-Datenaustauschs**

Während des Berichtszeitraums wurde mit einem ersten Datenaustausch zu den Komponentenarten Frischdampfisolationsventile, Ventilatoren und software-basierte leittechnische Einrichtungen begonnen. Zu den übrigen Komponentenarten (Leistungsschalter, Füllstandsmessungen, Steuerstäbe und Steuerstabantriebe, Kreiselpumpen, Notstromdieselgeneratoren, motorbetätigten Absperrarmaturen, Rückschlagarmaturen, Sicherheits- und Entlastungsventile, Wärmetauscher und Batterien) erfolgten Updates für neue Beobachtungszeiträume.

Insgesamt sind in der ICDE-Datenbank zum 11.04.2014 1726 ICDE-Ereignisse erfasst und 8928 Komponentengruppen in Datensätzen (Observed Population Records) beschrieben. In Tabelle C.1 ist ein Überblick über die Verteilung dieser Datensätze auf die einzelnen Komponentenarten gegeben.

**Tab. C.1** Summarischer Überblick über die in der ICDE-Datenbank im Januar 2014 erfassten Datensätze

<b>Komponentenart</b>	<b>Anzahl der Observed Population Records (Komponentengruppen)</b>	<b>Komponentengruppenjahre</b>	<b>Anzahl ICDE-Ereignisse</b>
Kreiselpumpen	1.637	32.459	384
Notstromdiesel	301	4.665	223
Motorbetätigte Absperrarmaturen	1.332	21.774	167
Sicherheits- u. Abblasseventile	713	12.128	261
Rückschlagarmaturen	1.222	15.764	116
Batterien	377	4.671	77
Leistungsschalter	1.341	17.775	106
Füllstandsmessungen	579	7.404	154
Steuerstäbe und Antriebe	490	5.388	171
Wärmetauscher	606	11.908	53
Ventilatoren	165	1.391	5
Frischdampf-Isolations-Ventile	165	2.287	9
<b>Summe</b>	<b>8.928</b>	<b>137.61</b>	<b>1726</b>

## **C.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 im Rahmen der Schriftenreihe der OECD/NEA/CSNI. Bisher waren bereits Berichte zu

- Kreiselpumpen /NEA 99/
- Notstromdieselgeneratoren /NEA 00/
- Motorbetätigte Absperrarmaturen /NEA 01/

- Sicherheits- und Entlastungsventilen /NEA 02/
- Rückschlagarmaturen /NEA 03a/
- Batterien /NEA 03b/
- Leistungsschaltern /NEA 07/ und
- Füllstandsmessungen /NEA 08/

erschienen. Die oben aufgeführten Berichte sind auf der Internet-Seite der OECD/NEA ([www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org)) öffentlich verfügbar. Im Berichtszeitraum wurden Berichte zu folgenden Komponentenarten erstellt:

- Kreispumpen /NEA 13a/ (Update zu /NEA 99/)
- Steuerstäbe und -antriebe /NEA 13b/

Weiterhin wurden ein Bericht zu Wärmetauschern und ein Bericht zum Workshop über Ereignisse aufgrund von externen Einwirkungen zur Veröffentlichung in der Schriftenreihe der OECD/NEA/CSNI vorbereitet. Im Internet wird das ICDE-Projekt von der OECD/NEA (<http://www.oecd-nea.org/jointproj/icde.html>) und vom Operating Agent (<https://www.eskonsult.se/icde/>) vorgestellt. Darüber hinaus wird das ICDE-Projekt bei großen internationalen Fachkonferenzen in Vorträgen vorgestellt. Während der Vorhabenslaufzeit wurde im Juni 2012 ein Vortrag bei der Konferenz PSAM 11 und im Juni 2014 ein Vortrag bei der Konferenz PSAM 12 gehalten

### **C.3 Workshops des ICDE-Projekts**

Während der Laufzeit des aktuellen Vorhabens wurden vier Workshops durchgeführt, in denen über Erfahrungen bei der qualitativen und quantitativen Nutzung der ICDE-Daten diskutiert bzw. die ausgetauschten GVA-Ereignisinformationen analysiert wurden. Die Ergebnisse dieser Veranstaltungen sind im Folgenden zusammengefasst.

#### **C.3.1 Workshop über Ereignisse aufgrund von externen Einwirkungen**

Während des 34. Meetings des ICDE-Lenkungskreises, welches vom 24. bis zum 26. April 2012 in der OECD Hauptverwaltung stattfand, wurde über Ereignisse aufgrund von Wetterphänomenen und anderen externen Einwirkungen diskutiert. Das Ziel des

Workshops war eine Auswertung der ICDE-Datenbank im Hinblick auf solche GVA-Phänomene, die auf Grund externer Einwirkungen zu Ausfällen von Systemfunktionen führen können, wie sie bei den Ereignissen vom 11.03.2011 in Fukushima aufgetreten sind. Die Ergebnisse sollen in einem Bericht im Rahmen der OECD/NEA/CSNI Schriftenreihe veröffentlicht werden.

Um relevante Ereignisse zu identifizieren, hatte der Operating Agent zur Vorbereitung des Workshops Stichwortsuchen in den Common Cause Event Records zu den bisher erfassten ICDE-Ereignissen durchgeführt. Aus den durch die Stichwortsuche gefundenen Ereignissen wurden 43 Ereignisse für die Analyse im Workshop als geeignet erachtet.

Die Ereignisse wurden von den Workshopteilnehmern anhand eines vom Operating Agent zur Verfügung gestellten Fragebogens bewertet. Dabei sollten neben den Lessons Learnt insbesondere Verbesserungsmöglichkeiten für Vorkehrungen und mitigative Maßnahmen gegen derartige Ereignisse identifiziert werden. Einerseits sollten Gründe ermittelt werden, warum es bei einzelnen Ereignissen zu starken Schädigungen gekommen war, und andererseits Umstände identifiziert werden, die bei anderen Ereignissen eine stärkere Schädigung durch den wirksamen Fehlermechanismus verhinderten.

Überdies wurden den Ereignissen die in dieser Projektphase entwickelten Codes zum Markieren wichtiger Ereignisse zugeordnet. Dabei wurden neue Vorschläge für diese Codes generiert. Gleichzeitig sollten ggf. weitere interessante Aspekte einzelner Ereignisse erfasst und festgehalten werden.

Als Ergebnis des Workshops konnte unter anderem festgestellt werden, dass von den im ICDE Projekt erfassten Komponentenarten weit überwiegend die Komponentenarten Kreiselpumpen, Notstromdieselgeneratoren und Wärmetauscher durch externe Einwirkungen betroffen sind. Als wesentliche Fehlermechanismen wurden dabei folgende identifiziert:

- Eisbildung führte zur Blockade von Ansaugleitungen von Nebenkühlwasserpumpen
- Starker Anfall von Seetang führte in Verbindung mit Niedrigwasser zu unzureichenden Ansaugverhältnissen für Nebenkühlwasserpumpen

- Extrem große Mengen von Sand und Krustentieren im Meerwasser führten zu Verschleiß von Pumpenlaufrädern und zur Verstopfung von Wärmetauschern
- Eintrag von sandhaltigem Wasser und Korrosionsprodukten führte zur Verstopfung von Leitungen der Schmierwasserversorgung
- Bei der Auslegung des Nebenkühlwassersystems waren keine extrem tiefen Meereswasserspiegel berücksichtigt worden, so dass es bei extremer Ebbe zu einem starken Lufteintrag und zum Pumpenausfall kam
- Algenwachstum in Dieselvorratsbehältern führte zum Ausfall von dieselgetriebenen Pumpen
- Schlamm im Meerwasser reduzierte die Kühlkapazität von Notstromdieselmotoren
- Hohe Wassertemperaturen führten zu schnellem Wachstum von Muscheln und nachfolgend zur Verstopfung von Wärmetauschern (Zwischenkühler)
- Sehr hoher Wasserstand führte in Verbindung mit durch Laub und Grass stark verschmutztem Wasser zur Verstopfung von Wärmetauschern (Zwischenkühler)

Einige dieser Fehlermechanismen (Verschmutzungen durch Sand und Schlamm) traten in denselben Anlagen mehrfach hintereinander in zeitlichen Abständen von einem Monat bis zu drei Jahren auf. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung nicht schnell genug umgesetzt wurden.

### **C.3.2 Workshops zu GVA-Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren, bei denen alle redundanten Komponenten beeinträchtigt waren**

Während des 35. Meetings des ICDE-Lenkungskreises, welches vom 17. bis zum 19. Oktober 2012 im NEA-Hauptquartier stattfand, wurde über GVA-Ereignisse an Notstromdieselgeneratoren, bei denen alle redundanten Komponenten ausgefallen oder geschädigt waren, diskutiert. Das Ziel des Workshops war eine Nutzung der ICDE-Daten zur Identifikation von vorteilhaften Umständen, "Good Practices" oder Optimierungsmöglichkeiten, die dazu führen, dass es bei Wirksamwerden eines GVA-Mechanismus nicht zu GVA-Ereignissen kommt, bei denen alle redundanten Notstromdieselgeneratoren einer Anlage geschädigt sind.

Zur Vorbereitung des Workshops hatte der Operating Agent mittels Filtern ICDE-Ereignisse an Notstromdieseln identifiziert, bei denen alle Komponenten einer Komponentengruppe betroffen waren.

Die Ereignisse wurden von den Workshopteilnehmern anhand eines vom Operating Agent zur Verfügung gestellten Fragebogens bewertet. Dabei sollten neben den Lessons Learnt insbesondere vorteilhafte Umstände, die dazu beigetragen haben könnten Schädigungsgrade abzumildern und damit Verbesserungsmöglichkeiten von Vorkehrungen und mitigativen Maßnahmen, identifiziert werden.

Überdies sollten den Ereignissen die in dieser Projektphase entwickelten Codes zum Markieren wichtiger Ereignisse testweise zugeordnet werden. Gleichzeitig sollten ggf. weitere interessante Aspekte einzelner Ereignisse erfasst und festgehalten werden. Zur Überprüfung der ebenfalls in Abstimmung befindlichen neuen Codes zur Bewertung von Ausfallsymptomen, sollten von dem Operating Agent für die Dieselereignisse vorgeschlagene Kodierungen überprüft werden. Dies offenbarte die Notwendigkeit einer wesentlichen Überarbeitung der Vorschläge für die neuen Codes.

Da für die Bearbeitung aller selektierten Ereignisse im Rahmen des Workshops nicht genügend Zeit zur Verfügung stand, wurde beschlossen, den Workshop während des 36. Meetings des ICDE-Lenkungskreises, der vom 23. – 25. April 2013 im NEA-Hauptquartier stattfand, fortzusetzen.

Für diesen zweiten Workshop zu Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren wurde außerdem beschlossen, das Workshopformat zu ändern, um zielgerichteter wesentliche GVA-Mechanismen, Verbesserungsmöglichkeiten und Maßnahmen, die eine Auswirkung eines GVA-Mechanismus auf alle Komponenten einer Komponentengruppe verbinden können, zu identifizieren.

Dazu hatte die GRS ein neues Workshopformat vorgeschlagen, das sie für einen ursprünglich ebenfalls im Rahmen der Laufzeit des Vorhabens geplanten Workshop zu Frischdampf-Isolationsventilen entwickelt hatte. Dieses Format erwies sich auch für den Workshop zu GVA-Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren als geeignet.

Gemäß diesem neuen Workshopformat sollen die Teilnehmer in kleinen Gruppen einen Satz von ICDE-Ereignissen, die vorab vom Operating Agent nach vorgegebenen

Kriterien zusammengestellt wurden, analysieren und folgende Angaben zu jedem Ereignis herausarbeiten:

- Anlagenzustand beim Auftreten des Ereignisses
- Beschreibung des Fehlermechanismus und der Ursache in wenigen Worten
- Falls Verbesserungspotential identifiziert werden kann, soll dieses nach sechs verschiedenen Kategorien klassifiziert werden:
  - Auslegung des Systems oder des Standortes
  - Auslegung der Komponenten
  - Überwachung der Komponenten
  - Instandhaltung oder Prüfung der Komponenten
  - Betrieb der Komponenten
  - Managementsystem der Anlage
- Beschreibung von Merkmalen, die den Ausfall aller Komponenten einer Komponentengruppe verhindert haben oder hätten verhindern können.
- Kodierung der Ereignisse nach den Codes zur Markierung wichtiger Ereignisse.

Insgesamt waren 142 Ereignisse vom Operating Agent für die Workshops zu Notstromdieselgeneratoren ausgewählt worden. Davon wurden in diesem zweiten Workshop 99 Ereignisse von den Teilnehmern entsprechend analysiert. Im Nachgang zu dem Workshop hat der Operating Agent die verbleibenden 43 Ereignisse nach denselben Vorgaben ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden zurzeit im Lenkungskreis des ICDE Projekts diskutiert und sollen in einem Bericht im Rahmen der OECD/NEA/CSNI Schriftenreihe veröffentlicht werden.

### **C.3.3 Workshop zur Erprobung eines neuen Kodierungssystems für Kategorien von Fehlermechanismen bei Notstromdieselgeneratoren**

Im Rahmen des ersten Workshops zu GVA-Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren war vom ICDE Lenkungskreis festgestellt worden, dass die bis dahin entwickelten Codes zur Bewertung von Ausfallsymptomen überarbeitet werden müssen, um eine konsistente und möglichst eindeutige Kodierung zu ermöglichen. Deshalb wurden vom

Operating Agent in Zusammenarbeit mit der GRS ein neues Konzept und neue Definitionen für die Beschreibung und Kodierung von ingenieurtechnischen Aspekten von Ausfallursachen entwickelt.

Dieses Konzept sieht vor, bei der Ereignisanalyse zunächst den Fehlermechanismus als Historie der beobachteten Fehler und Einflüsse, die zu dem GVA-Ereignis geführt haben, kurz zu beschreiben. Dann wird die erste oder die bedeutendste Folge der „Root Cause“, die schon bei der Erfassung der Ereignisse in der ICDE Datenbank kodiert wird, entsprechend vorgegebenen Kategorien kodiert. Ziel ist es, für jede im ICDE Datenaustausch erfasste Komponententypen einen eigenen Satz von Fehlermechanismus-Kategorien zu entwickeln.

Während des 37. Meetings des ICDE Lenkungskreises, das vom 15. – 17. Oktober 2013 im NEA Hauptquartier stattfand, wurde das neue Konzept an einem Satz von 54 Ereignissen an Notstromdieselgeneratoren, die vom Operating Agent aus der ICDE Datenbank ausgewählt worden waren, erprobt. Dazu wurde den Workshop Teilnehmern ein Satz von Kategorien für Fehlermechanismen an Notstromdieselgeneratoren vorgelegt. Diese Kategorien waren vor dem Meeting von der GRS in Zusammenarbeit mit dem Operating Agent und in Abstimmung mit KAERI entwickelt worden.

Als Ergebnis des Workshops wurde vom ICDE Lenkungskreis festgestellt, dass der vorgeschlagene Satz von Fehlermechanismus-Kategorien geeignet erscheint, eine konsistente Kodierung von Fehlermechanismen bei Notstromdieselgeneratoren zu ermöglichen. Es wurden lediglich kleinere Verbesserungen vorgeschlagen (Zusammenfassung von zwei Kategorien, Erweiterung bzw. Präzisierung der Definitionen von einzelnen Kategorien).

Im weiteren Verlauf des ICDE Projekts sollen in Zukunft analoge Sätze von Kategorien auch für die anderen Komponententypen entwickelt und erprobt werden.

Mit Hilfe der jetzt für Notstromdieselgeneratoren entwickelten Kategorien sollen die in der ICDE Datenbank vorhandenen Ereignisse kodiert werden und darüber hinaus ein neuer Auswertebereich zu Notstromdieselgeneratoren erarbeitet werden.

#### **C.3.4 Workshop zu GVA-Ereignissen, die nach Modifikationen an der Anlage aufgetreten sind**

Im Rahmen des 38. Meetings des ICDE Lenkungskreises, welches vom 13. bis 15. Mai in Forsmark, Schweden stattgefunden hat, wurde ein Workshop zu GVA-Ereignissen, die im Anschluss an Modifikationen der Anlage, wie z. B. Umbaumaßnahmen, Austausch von Komponenten etc. aufgetreten waren, durchgeführt.

Hierfür waren im Vorfeld des Workshops vom Operating Agent 54 GVA-Ereignisse ausgewählt worden, bei denen Hinweise darauf vorlagen, dass diese Ereignisse aufgrund vorangegangener Modifikationen aufgetreten sind. Jeweils neun dieser Ereignisse wurden dann von Gruppen, bestehend aus je drei Experten möglichst unterschiedlicher Herkunft (Behörde, TSO, Betreiber) analysiert. Hierbei wurden insbesondere folgende Fragestellungen betrachtet:

- Art und Grund der Modifikation
- Art des Fehlermechanismus
- Wieviel Zeit lag zwischen der Modifikation und der Entdeckung bzw. dem Auftreten des Fehlers?
- Hatte es Vorkehrungen gegeben, die einen vollständigen Ausfall aller redundanten Komponenten verhindert haben?
- Möglichkeiten, wie derartige Fehler zukünftig verhindert werden können

Darüber hinaus wurden ggf. noch fehlende Ereignisklassifizierungen durch die Experten in der Datenbank ergänzt.

Die Ergebnisse der einzelnen Expertengruppen werden aktuell vom Operating Agent gesammelt und in einem Arbeitsbericht zusammengefasst. Dieser wird anschließend an die Projektkoordinatoren zu Kommentierung versendet und von diesen ergänzt bzw. überarbeitet.



## **C Sammlung, Analyse und Bereitstellung von Informationen zu deutschen GVA-Ereignissen für den Datenaustausch**

### **D.1 Ventilatoren**

Während der Laufzeit des aktuellen Vorhabens wurde unter Federführung von IRSN eine Kodieranleitung für die Komponentenart „Ventilatoren“ (Fans) fertig gestellt. Diese sieht vor, dass alle sicherheitstechnisch wichtigen Ventilatoren, die sich nicht bereits innerhalb der Komponentenabgrenzung einer anderen Komponentenart befinden (z. B. bei den Notstromdieselaggregaten oder Kreiselpumpen), in den Datenaustausch aufgenommen werden. Betrachtet werden sollen sowohl radiale als auch axiale Ventilatoren, die weiter durch ihre Leistung (unter 10 kW und über 10 kW) unterteilt werden. Als Ausfallarten sollen „startet nicht“ und „Betriebsversagen“ betrachtet werden.

Auf Basis der in der GRS vorhandenen Systemunterlagen wurden im Vorläufervorhaben zur Erprobung der Kodieranleitung für eine deutsche Anlage entsprechend den Vorgaben der komponentenartspezifischen Kodierungsanleitung „Observed Population Records“ aufgestellt. Zum Beispiel sind somit in der bereits betrachteten deutschen Anlage die Abluft-Ventilatoren im Notstromdieselgebäude, die Ventilatoren im Reaktorgebäude, im Notstandsgebäude, im Schaltanlagegebäude und der Bedarfsfilteranlage von Interesse.

In der aktuellen Projektphase wurde die deutsche Betriebserfahrung über einen Zeitraum von 5 Jahren ausgewertet und in der ICDE Datenbank eingespeist. Dabei wurden in dem betrachteten Zeitraum von 1990 bis 1994 zwei Ereignisse identifiziert, die für den ICDE Datenaustausch relevant sind. Daneben wurden für insgesamt 143 Gruppen von sicherheitstechnisch wichtigen Ventilatoren „Observed Population Records“ erstellt (siehe Abschnitt B.4.1).

### **D.2 Frischdampfisolationsventile**

Unter Federführung der GRS wurde eine Kodieranleitung für Frischdampfisolationsventile erstellt. Während der Laufzeit des aktuellen Vorhabens wurde im ICDE-Lenkungskreis der Beginn des Datenaustausches beschlossen. Auf Basis der in der GRS vorhandenen Systemunterlagen wurde für alle deutschen Kernkraftwerke entsprechend den Vorgaben der komponentenartspezifischen Kodierungsanleitung „Ob-

served Population Records“ aufgestellt. Insgesamt ergab dies 49 Datensätze, die in die ICDE Datenbank eingespeist werden.

In die Komponentenabgrenzung "Frischdampfisolationsventil" sind das Hauptventil, die Ventilantriebseinheit, die Vorsteuerventile sowie die zugehörigen Leitungen mit ihren Antriebseinheiten, die lokale Instrumentierung und Steuerung eingeschlossen. Für die Vorsteuerventile und die Hauptventile sollen getrennte Datensätze aufgenommen werden.

Dabei ist bei deutschen DWR zu beachten, dass in den Anlagen, die über eine FSA-Station verfügen, die Vorsteuerventile aller Hauptarmaturen (also auch der FD-ISO-Ventile) schon als eine gemeinsame Komponentengruppe „Magnetvorsteuerventile“ in der Datensammlung zu Sicherheits- und Entlastungsventilen erfasst worden sind.

Für die Hauptventile wird die Ausfallart „schließt nicht“ ausgewertet, für die Vorsteuerventile „öffnet nicht“ oder „schließt nicht“, je nachdem ob die Ansteuerung des Hauptventils im Belastungs- oder im Entlastungsprinzip erfolgt.

Bei der Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse an Frischdampfisolationsventilen im Zeitraum von 1990–2002 wurden in den der GRS vorliegenden Unterlagen keine Ereignisse erfasst, die für den ICDE-Datenaustausch relevant sind. Aufgrund der geringen deutschen Datenbasis ist ein Datenaustausch über Frischdampfisolationsventile für die GRS besonders interessant.

### **D.3 Software-basierte leittechnische Einrichtungen**

Im Berichtszeitraum hat der ICDE-Lenkungskreis beschlossen, software-basierte leittechnische Einrichtungen als weitere Komponentenart in den ICDE-Datenaustausch aufzunehmen. Unter Federführung der GRS wurde eine Kodieranleitung für diese Komponentenart erstellt. Diese Kodieranleitung sieht vor, dass sicherheitstechnisch wichtige software-basierte leittechnische Einrichtungen, die sich nicht bereits innerhalb der Komponentenabgrenzung einer anderen Komponentenart befinden, in den Datenaustausch aufgenommen werden. Erfasst werden sollen software-basierte leittechnische Einrichtungen im Reaktorschutz, in Begrenzungen, aber auch weitere sicherheitstechnisch wichtige Software wie in der Sicherheitsleittechnik von Kranen oder dem Feuerlöschsystem. Als Ausfallarten sollen „unterbliebene Anregung (inkl. Nicht-Halten)“, „Fehlanregung“ und, wenn die Ausfallrichtung nicht eindeutig einer dieser

Ausfallarten zugeordnet werden kann, „Komplexe Ausfälle“ sowie für Einrichtungen mit mehr als zwei möglichen Ausgangssignalen (z. B. Messwertdisplays) die allgemeinere Ausfallart "falsches Ausgangssignal" betrachtet werden. Auf Basis dieser Kodieranleitung hat die GRS mit der Erfassung und Aufbereitung der deutschen Betriebserfahrung für den Zeitraum 1990 – 2010 begonnen.

Dazu wurde die GVA-Datenbank der GRS ausgewertet und die Ergebnisse mit der schon im Rahmen des OECD/NEA COMPSIS Projektes identifizierten Ereignisse verglichen. Dabei wurden insgesamt vier Ereignisse identifiziert, die für den ICDE Datenaustausch relevant sind. Für diese Ereignisse wurden dem ICDE Datenformat entsprechende Beschreibungen und Kodierungen erstellt.

#### **D.4 Update des Beitrags mit Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken**

Neben dem sogenannten Erstrundendatenaustausch, bei dem für eine zuvor neu definierte Komponentenart ein Beobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren ausgewertet werden soll, wird im ICDE-Projekt eine regelmäßige Aktualisierung der Daten durchgeführt. Dazu sollen für Komponentenarten, bei denen bereits ein erster Datenaustausch stattgefunden hat, kontinuierlich immer weitere Beobachtungszeiträume ausgewertet werden. Dafür wurden im ICDE-Lenkungskreis keine Mindestauswertungszeiträume vorgegeben, sondern es wurde jedem Projektteilnehmer freigestellt, in welchem Rhythmus er Datenupdates liefern will. Um dabei 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.

Im Berichtszeitraum wurde das Update mit Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken für den Zeitraum 1990 bis 2002 durch die Auswertung der Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen der Kernkraftwerke Unterweser, Biblis A, Biblis B und Grohnde abgeschlossen. Dabei waren Ereignisse an Steuerstäben und Steuerstabantrieben bereits vorher bis 2003, an Wärmetauschern bis 2005 ausgewertet worden.

Im Berichtszeitraum wurden zudem erste Update-Arbeiten für den Zeitraum 2003 bis 2010 durchgeführt. Für die fünf Anlagen Gundremmingen B, C, Neckarwestheim 1, 2 und Krümmel wurde die Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen dieser Jahre ausgewertet. Hierbei wurden insgesamt 13 Ereignisse identifiziert, für die ein ICDE Ereignisdatensatz erstellt wurde. Außerdem wurde die Zahl der Einzelfehler für alle erfassten Komponentengruppen für die neu ausgewerteten Zeiträume ermittelt. Für die Anlagen Biblis-A und Biblis-B wurde mit einer entsprechenden Auswertung begonnen. Die Betriebserfahrung für die Anlagen Gundremmingen B, C und Neckarwestheim 1, 2 wurde nach Abschluss der Qualitätssicherung mit den entsprechenden Betreibern schon in die ICDE Datenbank eingespeist.

## **D Zusammenfassung und Ausblick zum ICDE-Projekt**

Der Schwerpunkt der Arbeiten im Rahmen des ICDE-Projekts lag im Berichtszeitraum bei der Erfassung von Informationen zu GVA-Ereignissen, der Erstellung und Erprobung von Kodierungsanleitungen zur Ereignisanalyse und für die Komponententypen software-basierte leittechnische Einrichtungen. Außerdem wurden Workshops zur Auswertung von Ereignissen im Zusammenhang mit externen Einwirkungen, Ereignissen an Notstromdieseln, bei denen alle Komponenten einer Komponentengruppe durch den gleichen Fehlermechanismus beeinträchtigt waren, und von Ereignissen, die nach Änderungsmaßnahmen aufgetreten sind, sowie ein Workshop zur Erprobung eines neuen Kodierungssystems für Kategorien von Fehlermechanismen bei Notstromdieselgeneratoren, durchgeführt.

Im Berichtszeitraum wurde deutsche Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen an Frischdampfisolationsventilen für den Zeitraum 1990 – 2002 und an sicherheitstechnisch wichtigen Ventilatoren für den Zeitraum 1990 – 1994 ausgewertet. Mit der Auswertung für software-basierte leittechnische Einrichtungen für den Zeitraum 1990 – 2010 wurde begonnen. Zu den Komponententypen, zu denen früher bereits ein Datenaustausch stattgefunden hat, wurde von den meisten Teilnehmerorganisationen ein Update durchgeführt. Die GRS hat ebenfalls das Update der deutschen Betriebserfahrung mit GVA von 1990 bis 2002 abgeschlossen und für sieben Anlagen mit der Auswertung der Betriebserfahrung für den Zeitraum 2003 bis 2010 begonnen. Das Update für vier dieser Anlagen wurde in die ICDE Datenbank eingespeist.

Die Anzahl der zur Verfügung gestellten Ereignisberichte übertrifft die aus der deutschen Betriebserfahrung vorhandenen Ereignisberichte um ein Vielfaches (bei Steuerstäben und Steuerstabantrieben 4 Ereignisse aus deutschen Anlagen von insgesamt 146 Ereignissen in der ICDE-Datenbank, bei Wärmetauschern 11 Ereignisse aus deutschen Anlagen von insgesamt 45 Ereignissen in der ICDE-Datenbank). Insbesondere aus den USA und Frankreich mit ihrer großen Anzahl von Anlagen liegen eine Vielzahl an Ereignissen vor. Umfang und Detaillierungsgrad der Ereignisberichte der Teilnehmer sind aussagekräftig genug, um in der Regel eine klare Beurteilung durch die anderen Teilnehmer zu erlauben.

Bei der Auswertung der Informationen, die von den ausländischen Projektteilnehmern zu Steuerstäben und Steuerstabantrieben sowie zu Wärmetauschern, zur Verfügung gestellt wurden, konnten GVA-Phänomene identifiziert werden, die aus der deutschen

Betriebserfahrung bisher unbekannt waren. Diese im Bericht beschriebenen und in zwei Tabellen zusammengefassten Phänomene sollten als Ausgangsbasis verwendet werden, um zu überprüfen, ob die in deutschen Anlagen praktizierten Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind, um ein Auftreten vergleichbarer GVA Phänomene zu vermeiden.

Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse und des hohen internationalen Ansehens des ICDE-Projekts sollen die Arbeiten im Rahmen der OECD/NEA/CSNI weitergeführt werden. In Zukunft wird der Schwerpunkt der Arbeiten im ICDE-Projekt, neben der Erfassung von Informationen zu GVA-Ereignissen, auf der Analyse der eingespeisten Daten liegen. Diese Analysen sollen nicht nur komponentenartspezifisch durchgeführt werden, sondern es sollen auch spezielle komponentenartübergreifende Analysen zu ausgewählten Fragestellungen erfolgen. Die Ergebnisse dieser Analyse sollen in generischen Berichten veröffentlicht werden.

## Literaturverzeichnis (Anhang)

- /NEA 99/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Centrifugal Pumps. NEA/CSNI/R(1999)203 – September 1999, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/1999/csni-r99-2.pdf>
- /NEA 00/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Emergency Diesel Generators. NEA/CSNI/R(2000)20 – Mai 2000, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2000/csni-r2000-20.pdf>
- /NEA 01/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Motor Operated Valves. NEA/CSNI/R(2001)10 – Februar 2001, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2001/csni-r2001-10.pdf>
- /NEA 02/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Safety Valves and Relief Valves. NEA/CSNI/R(2002)19 – Oktober 2002, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2002/csni-r2002-19.pdf>
- /NEA 03a/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Check Valves. NEA/CSNI/R(2003)15 – Mai 2003, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2003/csni-r2003-15.pdf>
- /NEA 03b/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Batteries. NEA/CSNI/R(2003)19 – September 2003, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2003/csni-r2003-19.pdf>
- /NEA 04/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, International Common-Cause Data Exchange - ICDE General Coding Guidelines – Technical Note NEA/CSNI/R(2004)4 – Januar 2004, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2004/csni-r2004-4.pdf>

- /NEA 07/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Switching Devices and Circuit Breakers. NEA/CSNI/R(2008)1 – Oktober 2008 <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2008/csni-r2008-1.pdf>
- /NEA 08/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Level Measurement Components. NEA/CSNI/R(2008)8 – März 2008, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2008/csni-r2008-8.pdf>
- /NEA 13a/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Centrifugal Pumps. NEA/CSNI/R(2013)2 – Juni 2013, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2013/csni-r2013-2.pdf>
- /NEA 13b/ Nuclear Energy Agency – Committee on the Safety of Nuclear Installations, ICDE Projekt Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures Control Rod Drive Assemblies. NEA/CSNI/R(2013)4 – Juni 2013, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2013/csni-r2013-4.pdf>



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

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)

**ISBN 978-3-944161-20-4**