

**Forschung zur
aktualisierten Bewertung
von Gemeinsam
verursachten Ausfällen**

**Auswertung der
Betriebserfahrung in
deutschen Anlagen im
Zeitraum 2011 bis 2018**

**Forschung zur
aktualisierten Bewertung
von Gemeinsam
verursachten Ausfällen**

**Auswertung der
Betriebserfahrung in
deutschen Anlagen im
Zeitraum 2011 bis 2018**

Michael Homann
Albert Kreuser
Moritz Leberecht
Jan Stiller

August 2023

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4719R01371 durchgeführt.

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

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

Deskriptoren

Gemeinsam verursachte Ausfälle, GVA, GVA-Datenbank, GVA-Checkliste, Meldepflichtige Ereignisse

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis.....	I
1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik.....	3
2.1	GVA-Modelle	4
2.2	Verwertbare Betriebserfahrung	4
2.3	Übertragbarkeit und Bewertung von GVA-Ereignissen	5
3	Beschreibung und qualitative Bewertung von GVA-Ereignissen.....	13
3.1	Datengrundlage für die aktuelle Auswertung.....	13
3.2	Klassifikation von GVA-Ereignissen	15
3.2.1	Kategorien von Ereignissen	15
3.2.2	Selektierte Ereignisse im Betrachtungszeitraum	16
3.3	Beschreibung der Betrachtungseinheit	20
3.3.1	Komponentengrenzen ausgewählter Komponenten.....	21
3.4	Struktur des GVA-Datenpools.....	23
4	Quantitative Bewertung von GVA-Ereignissen.....	29
4.1	Definition des Schädigungsvektors	36
4.1.1	Komponentengruppen	36
4.1.2	Stärke der Schädigung	36
4.1.3	Abweichung der Schädigungswerte von den Standardwerten	37
4.2	Übertragbarkeitsfaktor	37
4.3	Ursachengleichheitsfaktor.....	37
4.4	Gleichzeitigkeitsfaktor.....	38
4.5	Struktur der Quantitativen Bewertung in der WISBAS/GVA	39
5	Fortschreiben der GVA-Checkliste.....	43
5.1	Datensätze in der GVA-Checkliste.....	43
5.2	Klassifizierungsschema der GVA-Checkliste	44
5.2.1	Kategorie Komponentenart	45

5.2.2	Kategorie System	47
5.2.3	Kategorie Betriebsmittelklassifizierung.....	49
5.2.4	Kategorie fehlerauslösende Tätigkeit.....	50
5.2.5	Kategorie fehlercharakterisierende Merkmale.....	51
5.3	Kurze Auswertung der GVA-Checkliste im Betrachtungszeitraum	55
6	Integration der GVA-Wissensbasis	59
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	61
	Literaturverzeichnis.....	63
	Abbildungsverzeichnis.....	67
	Tabellenverzeichnis.....	69

1 Einleitung und Zielsetzung

Wenn durch eine gemeinsame Ursache mehrere gleiche Komponenten in einem Kernkraftwerk redundanzübergreifend ausfallen, hat dies erheblichen Einfluss auf den sicheren Betrieb des Kraftwerks. Solche Ereignisse werden als Gemeinsam Verursachte Ausfälle (GVA) bezeichnet. Da solche Ereignisse überwiegend für redundante Sicherheitssysteme relevant sind, wirken sich GVA besonders bei der Beherrschung von Störfällen aus.

GVA-Ereignisse treten in der Betriebserfahrung relativ selten auf. Allerdings haben probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) gezeigt, dass GVA die Wahrscheinlichkeit für Systemfunktionsausfälle, insbesondere bei höher redundanten Systemen, gegenüber mehreren unabhängigen Ausfällen dominieren. Abhängig von der Art der Anlage und der verwendeten Bewertungsmethode können Ereignisse mit GVA zu mehr als 80 % des Risikos für Gefährdungszustände beitragen [GRS 07]. Die Dominanz von GVA-Ereignissen ergibt sich aus der Tatsache, dass diese Ereignisse die Verfügbarkeit von Sicherheitssystemen um Größenordnungen stärker beeinträchtigen als das Auftreten von Einzelfehlern. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Einzelfehlers ist im Allgemeinen deutlich höher. Demgegenüber stehen aber die weitreichenden Auswirkungen von GVA-Ereignissen, da immer mehrere, ggf. sogar alle, Teilstränge eines Sicherheitssystems gleichzeitig ausfallen. Somit kann unter Umständen die vollständige Funktion eines Sicherheitssystems unverfügbar werden.

Aufgrund der hohen sicherheitstechnischen Bedeutung von GVA, kommt ihrer Auswertung eine hohe Bedeutung zu. Aufgrund der relativ geringen Anzahl von beobachteten GVA-Ereignissen, ist eine Betrachtung für einzelne Komponenten schwierig, sondern es müssen ähnliche Gruppen redundanter Komponenten zusammengefasst werden, um über den beobachteten Einzelfall hinausgehende generische Erkenntnisse zu erzielen.

Bei der Auswertung von GVA werden zwei grundsätzliche Ziele verfolgt. Zum einen werden Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von GVA quantifiziert. Diese Wahrscheinlichkeiten werden dann als Eingangsgrößen für PSA verwendet. Zum anderen werden anhand der qualitativen Auswertung von GVA-Ereignissen Empfehlungen entwickelt, wie diesen Ereignissen vorgebeugt werden kann. Grundlage dieser Forschungstätigkeit ist die systematische Erfassung und daran anschließend die qualitative und quantitative Analyse von Ereignissen, bei denen mehrere Komponenten gleichzeitig oder zeitnah vom selben Fehlermechanismus betroffen waren.

Ziel dieses Berichtes ist es, die Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken für die Jahre 2011 bis einschließlich 2018 zu erfassen und aufzubereiten. Die gewonnenen qualitativen und quantitativen Bewertungen von relevanten Ereignissen wurden in die Datenbasis bezüglich GVA-Ereignissen und GVA-Phänomenen (WISBAS/GVA) eingepflegt.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

Die systematische Analyse von Ereignissen mit Gemeinsam verursachten Ausfällen von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen in KKW zielt darauf ab, derartige Ereignisse quantitativ und qualitativ zu bewerten und so die Ereignisse in probabilistischen Modellen abbilden zu können.

Ziel der qualitativen GVA-Analyse ist die systematische Identifikation und Aufbereitung der potenziellen und tatsächlichen Auswirkungen von GVA sowie der Mechanismen und Ursachen, die zu GVA-Ereignissen führen. Basierend hierauf werden dann Empfehlungen und „Best Practices“ entwickelt, wie die Eintrittswahrscheinlichkeit von GVA reduziert und potenzielle GVA zügig identifiziert werden können. Beispiele für entsprechende Forschungsergebnisse unter Beteiligung der GRS sind die Veröffentlichungen des ICDE-Projekts im Rahmen der CSNI-Schriftenreihe (z. B. /NEA 15/ und /NEA 17/) oder die entsprechenden Auswertungen der ICDE-Daten durch die GRS (z. B. in /GRS 18a/, /GRS 20/, sowie die GVA-Checkliste (z. B. /GRS 10/, /GRS 16/).

Grundsätzliches Ziel der quantitativen Forschungstätigkeiten ist es, Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von GVA zu ermitteln, um hierauf aufbauend das von diesen GVA ausgehende Risiko in der PSA abbilden zu können. Dieser Ansatz wurde im Grundsatz bereits in der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke /TÜV 81/ verfolgt und ist seitdem Bestandteil jeder PSA (z. B. /GRS 01/). Auf Grundlage der qualitativen Ereignisbewertungen werden die bei den Ereignissen identifizierten tatsächlichen und potenziellen Schäden quantifiziert. Basierend auf diesen Quantifizierungen werden dann für die einzelnen Komponentenarten des Sicherheitssystems (z. B. Notstromdiesel, Pumpen, Leistungsschalter etc.) Zuverlässigkeitskenngrößen wie z. B. Ausfallwahrscheinlichkeiten pro Anforderung bzw. Ausfallraten pro Zeit (z. B. beim von der GRS entwickelten Kopplungsmodell /KRE 01/) oder die entsprechenden Eingangsparameter für andere GVA-Modelle, wie z. B. das Alpha-Faktor- oder das MGL-Modell, berechnet. Beschreibungen der entsprechenden Rechenverfahren und Darstellung der Ergebnisse finden sich für die deutsche Betriebserfahrung z. B. im Fachband des BfS „Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke“ /BfS 05/ bzw. des entsprechenden Ergänzungsbandes /BfS 16/. Vergleichbare Werke aus den Vereinigten Staaten von der U.S. NRC /NRC 10/ oder aus Schweden /NPG 16/ liegen vor.

Grundlage jeglicher Forschungstätigkeiten – qualitativ wie quantitativ – auf dem Gebiet der GVA ist eine valide, aktuelle und umfassend aufbereitete Datenbasis bestehend aus

nationaler und internationaler Betriebserfahrung. Der wesentliche Vorteil der Analyse der internationalen Betriebserfahrung liegt in der großen Menge an zur Verfügung stehenden GVA-Ereignissen. Demgegenüber ist der Vorteil der Analyse der nationalen Betriebserfahrung, dass die beobachteten Ereignisse zum einen an in deutschen KKW eingesetzten Komponententypen aufgetreten sind und diese entsprechend dem deutschen Regelwerk hergestellt und betrieben werden, wodurch eine höhere Vergleichbarkeit besteht, und dass zum anderen aufgrund der besseren Informationslage eine detaillierte Ereignisanalyse möglich ist.

2.1 GVA-Modelle

Zur Berechnung der in probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) verwendeten GVA-Wahrscheinlichkeiten, können verschiedene GVA-Modelle herangezogen werden. Beispiele für solche Modelle sind das Alpha-Faktor oder das MGL-Modell. Für viele deutsche PSA wird das von der GRS entwickelte Kopplungsmodell /KRE 01/ verwendet, das in /BfS 16/ (Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke) detailliert beschrieben ist.

2.2 Verwertbare Betriebserfahrung

In Fehlerbaumanalysen werden Eintrittswahrscheinlichkeiten dafür benötigt, dass k von r Redundanten einer bestimmten GVA-Gruppe auf Grund einer gemeinsamen Ursache gleichzeitig nicht funktionsfähig sind. Von Bedeutung sind insbesondere Ausfälle hoher Redundanzgrade. Ausfallkombinationen mit einer geringeren Zahl ausgefallener Redundanten fallen i. a. weniger ins Gewicht, weil sie häufig nur in Verbindung mit weiteren unabhängigen Ausfällen zu Systemausfällen führen.

Eine direkte statistische Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten erweist sich in vielen Fällen als schwierig, weil in der Regel für das betrachtete System in der Anlage und zumeist auch für gleichartige Systeme in anderen Anlagen Ausfälle aller zu bewertenden Redundanzgrade nicht beobachtet wurden. Die Anwendung von Null-Fehler-Statistiken führt im Allgemeinen wegen zu kurzen beobachteten Betriebszeiten zu unrealistisch hohen Zahlenwerten der Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken vorliegenden Erfahrungen mit Ausfällen auf Grund einer gemeinsamen Ursache sind auf die in einer Analyse zu bewertenden Fälle häufig nicht direkt übertragbar, weil

- nach einem GVA mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Ursache erkannt und behoben wird, so dass eine Wiederholung an der gleichen Komponentengruppe mit exakt der gleichen Schadensursache unwahrscheinlicher wird,
- die Betriebserfahrung in der zu untersuchenden Anlage wegen der geringen Eintrittshäufigkeit in der Regel nicht ausreicht und deshalb Ausfälle einbezogen werden müssen, die in anderen Anlagen an Systemen auftraten, die gegenüber den in der Analyse interessierenden Systemen Unterschiede aufweisen,
- häufig andere Ausfallkombinationen als die zu beurteilenden auftraten.

Aus diesen Gründen kann die Auswahl von beobachteten Ereignissen für die Quantifizierung von GVA-Ausfallwahrscheinlichkeiten nur auf der Grundlage einer technischen Bewertung erfolgen.

Dabei ist stets zu beurteilen, ob und in welcher Weise ein beobachteter Ausfall auf die Verhältnisse der zu untersuchenden Anlage übertragbar ist, und häufig, mit welcher Wahrscheinlichkeit er zu einer anderen Ausfallkombination (z. B. 4v4) als der beobachteten (z. B. 2v3) führen kann. Dabei sind auch Einzelausfälle einzubeziehen, wenn sie ein für GVA typisches Schadensbild aufweisen.

Dies wären beispielsweise Ausfälle einer Komponente innerhalb einer redundanten Gruppe, wenn dasselbe Schadensbild an anderen Komponenten der Gruppe, die aber nicht ausgefallen sind, beobachtet wurde. Zu prüfen ist dann, ob gleichzeitige Nichtverfügbarkeit möglich oder auszuschließen war. (Entnommen aus /BfS 05/)

2.3 Übertragbarkeit und Bewertung von GVA-Ereignissen

Im Kopplungsmodell der GRS kann die Übertragbarkeit eines GVA-Ereignisses über verschiedene Modellgrößen berücksichtigt werden, z. B.:

- Mit dem Übertragbarkeitsfaktor, wenn erwartet werden kann, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit des GVA-Phänomens in der zu bewertenden Komponentengruppe

verschieden ist zu der Eintrittswahrscheinlichkeit in der Komponentengruppe, in der das GVA-Ereignis beobachtet wurde. Der Übertragbarkeitsfaktor ist ein subjektives Maß zur Beschreibung des relativen Unterschieds der Eintrittswahrscheinlichkeit des beobachteten GVA-Ereignisses bei der in der PSA zu bewertenden Komponentengruppe und dem zu betrachtenden Anforderungsfall.

- Mit dem Schädigungsvektor, wenn erwartet werden kann, dass das Ausmaß des bei einem beobachteten GVA-Ereignis vorgefundenen Schadens in der zu bewertenden Komponentengruppe geringer oder höher wäre als in der Komponentengruppe, in der das Ereignis beobachtet wurde.
- Mit der Fehlerentdeckungszeit, wenn es für die zu bewertende Komponentengruppe verschiedene Prüfungen mit unterschiedlichem Prüfumfang und Prüfabstand gibt. Für jedes beobachtete GVA-Phänomen ist der Prüfabstand derjenigen Prüfung anzusetzen, bei der das beobachtete Phänomen entdeckt würde. Dies ist unabhängig davon, wie der bei dem Ereignis aufgetretene Schaden entdeckt wurde.

Zur Bewertung der Übertragbarkeit von GVA-Ereignissen sind für die zu bewertende Komponentengruppe (Zielkomponentengruppe) folgende allgemeine Fragen zu beantworten:

- Gibt es spezielle Entdeckungsmöglichkeiten, die das Eintreten eines beobachteten GVA-Ereignisses in der Zielkomponentengruppe unwahrscheinlicher machen? Eine Bejahung dieser Frage führt zu einem Übertragbarkeitsfaktor kleiner 1.
- Fehlen in der Zielanlage bestimmte Fehlerentdeckungsmöglichkeiten, durch die das beobachtete GVA-Ereignis in der betroffenen Anlage entdeckt wurde, dann ist das unerkannte Auftreten eines entsprechenden GVA-Ereignisses in der Zielanlage größer, d. h. der Übertragbarkeitsfaktor ist größer als 1. In der Praxis wurde von dieser Bewertungsoption bisher kein Gebrauch gemacht.
- Gibt es spezielle Entdeckungsmöglichkeiten, die es bei sich langsam mit fortschreitender Zeit entwickelnden Schadensmechanismen erwarten lassen, dass das Ausmaß des bei einem beobachteten GVA-Ereignis vorgefundenen Schadens in der Zielkomponentengruppe geringer ist? Eine Bejahung dieser Frage führt zu einer Reduzierung des Schädigungsvektors. Der umgekehrte Fall führt prinzipiell zu einer Erhöhung der Schädigungsgrade im Schädigungsvektor.

- Betrifft das beobachtete GVA-Phänomen ein Bauteil oder ein Betriebsmittel einer Komponente, das in der Zielkomponentengruppe weder vorhanden ist noch durch eine andere konstruktive Ausführung, die dieselbe Aufgabe erfüllt, ersetzt ist? Eine Bejahung dieser Frage führt zu einem vollständigen Ausschluss des beobachteten Ereignisses für die weitere Bewertung (bzw. zu einem Übertragbarkeitsfaktor = 0).
- Wenn das beobachtete GVA-Phänomen durch eine bestimmte einzelne Einflussgröße, die in der beobachteten und in der zu bewertenden Komponentengruppe deutlich verschieden ist, beeinflusst wird, kann von den Experten ein Übertragbarkeitsfaktor kleiner oder größer als 1 angesetzt werden. Ein Übertragbarkeitsfaktor größer als 1 wurde in der Praxis bisher allerdings von keinem Experten vergeben.

Wird eine dieser Fragen mit Ja beantwortet, dann kann eine Randbedingung formuliert werden, die das besondere Unterscheidungsmerkmal der Zielkomponentengruppe beschreibt. Für das entsprechende Ereignis werden dann zwei (oder gegebenenfalls auch mehr) Bewertungen gegeben. Für eine Zielkomponentengruppe, für die das in der Randbedingung formulierte besondere Unterscheidungsmerkmal zutrifft, erfolgt dann die Bewertung des beobachteten GVA-Phänomens unter der Annahme, dass diese Randbedingung beim Auftreten des Phänomens vorliegt und es werden die möglichen Auswirkungen eines solchen Phänomens auf die Komponentengruppe durch eine ingenieurmäßige Einschätzung bewertet. Die zweite Bewertung erfolgt für Zielkomponentengruppen, für die diese Randbedingung nicht zutrifft, d. h. das Ereignis wird so bewertet, wie es beobachtet wurde. Dieses Vorgehen führt dazu, dass ohne Formulierung einer speziellen Randbedingung ein beobachtetes Ereignis eins zu eins, also ohne Einschränkung oder Verschärfung auf jede Komponentengruppe der entsprechenden Population übertragen wird.

Zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit jeder GVA-Phänomenart darf nur die Beobachtungszeit derjenigen Komponentengruppen verwendet werden, bei denen der Fehlermechanismus auch auftreten kann. Dies ist bei der Einführung von Randbedingungen zu beachten. Randbedingungen sollen keine technischen Unterscheidungen einführen (zum Beispiel: Pumpe mit Schmutzwasser beaufschlagt), da eine solche Randbedingung die Population aufteilen würde. Randbedingungen, bei denen die Population nicht aufgeteilt wird wie „Nur bei Revision“ sind ohne Probleme einführbar.

Beispiele, bei denen die Bewertung der Übertragbarkeit zu einer Modifikation einer Modellgröße führt:

- Modellgröße Übertragbarkeitsfaktor
 - Wenn es für die in der anlagenspezifischen PSA zu bewertende Komponentengruppe und den zu bewertenden Betriebszustand vorgeschriebene Prüfungen gibt, die vor Erreichen dieses Betriebszustandes zu einer Erkennung des Schadens führen können, wird ein Übertragbarkeitsfaktor kleiner 1 angesetzt. Beispiele sind GVA-Ereignisse, die bei einer Anfahrprüfung entdeckt wurden oder die bei der in der zu bewertenden Anlage vorgeschriebenen Anfahrprüfung entdeckt würden, wenn diese Ereignisse für den Leistungsbetrieb zu übertragen sind. Von der GRS wird in diesen Fällen in der Regel ein Faktor 0,1 vorgeschlagen.
 - GVA-Ereignisse, die auf Grund von mediumbedingten Verunreinigungen aufgetreten sind, werden mit einem Übertragbarkeitsfaktor kleiner 1 auf Systeme übertragen, bei denen das Betriebsmedium „sauberer“ ist. Beispiele sind Verstopfungen im Nebenkühlwassersystem, die auf geschlossene Kühlkreise zu übertragen sind. Umgekehrt würden Verstopfungen durch Verunreinigungen, die in einem „sauberen“ Betriebsmedium beobachtet wurden auf ein Nebenkühlwassersystem mit einem Übertragbarkeitsfaktor größer 1 übertragen. Die Aufteilung der Populationen „Kreiselpumpen“ und „Wärmetauscher“ in jeweils zwei Unterpopulationen „Betriebsmedium: Rohwasser“ und Betriebsmedium: Sauberwasser“ verringert die Notwendigkeit zur Einführung medium-bedingter Übertragbarkeitsfaktoren.
 - Betrifft ein GVA-Phänomen ein Bauteil, das nur für betriebliche Anforderungen einer Komponente benötigt wird, ist mit dem Übertragbarkeitsfaktor zu bewerten, mit welcher Wahrscheinlichkeit das gleiche GVA-Phänomen ein ähnliches Bauteil treffen könnte, das für Reaktorschutzanforderungen benötigt wird. Beispiel ist ein defekter Betätigungsbaustein, der bei einer Geamatic-Leittechnik im Reaktorschutz-Signalfad liegt, bei einer Iskamatic-Leittechnik aber vom Reaktorschutz-Signalfad getrennt ist. Es ist in diesem Fall zu bewerten, ob der bei dem Betätigungsbaustein aufgetretene Fehler auch in einer Baugruppe auftreten könnte, die im Reaktorschutz-Signalfad liegt.

- Modellgröße Schädigungsvektor
 - Wenn für die in der anlagenspezifischen PSA zu bewertende Komponentengruppe eine Überwachungseinrichtung existiert, die zu einer frühzeitigen Erkennung des Schadens führt und die in der Komponentengruppe, in der das GVA-Ereignis beobachtet wurde, nicht vorhanden war, wird der Schädigungsvektor abgeschwächt, wenn die Entwicklung des Schadens als zeitabhängig betrachtet werden kann. Beispiel ist eine zwischen Erst- und Zweitabspernung vorhandene Drucküberwachung, mit der Undichtigkeiten von Rückschlagklappen erkannt werden können, die in einer anderen Komponentengruppe unerkannt vorgelegen hatten und nach einem längeren Zeitraum zum gleichzeitigen Schließversagen aller Rückschlagklappen geführt hatten. Für die Zielkomponentengruppe wird nach ingenieurmäßiger Einschätzung ein Schädigungsvektor aufgestellt, bei dem nur eine oder einzelne Komponenten ausgefallen sind und die übrigen nur geschädigt, aber noch funktionsfähig waren.
 - Eine langsame Verstopfung oder Korrosion von Komponenten, die selten geprüft und angefordert werden, lässt bei häufiger geprüften Komponentengruppe ein geringeres Schadensausmaß erwarten. Beispiel ist ein in einem Nebenkühlwassersystem bei einem Prüfabstand von 18 Monaten beobachteter Ausfall aller Absperrklappen aufgrund von Korrosion und Muschelbefall. Bei einer häufiger geprüften Komponentengruppe kann eine geringere Anzahl ausgefallener Komponenten erwartet werden.
 - Soll ein in einem zweifach redundanten System aufgetretenes GVA-Phänomen, bei dem ein sich langsam mit fortschreitender Zeit entwickelnder Schadensmechanismus beobachtet wurde, auf höher redundante Systeme übertragen werden, wird mit Hilfe einer ingenieurmäßigen Expertenschätzung ein zu erwartender Schädigungsvektor in der höher redundanten Komponentengruppe geschätzt.
 - Für eine Erhöhung der Schädigungsgrade gibt es bei den bisher durchgeführten GVA-Analysen keine Beispiele. Dies ist verständlich, weil langsam zeitabhängige GVA-Phänomene vor allem in selten geprüften Systemen zum Ausfall mehrerer Komponenten führen. Bei der in deutschen Anlagen gängigen Prüfpraxis sind gegenüber solchen Systemen nochmals verlängerte Prüfintervalle normalerweise nicht zu erwarten. Sollen allerdings bisher praktizierte

Intervalle für wiederkehrende Prüfungen verlängert werden, müssen die zurzeit verwendeten GVA-Datensätze darauf überprüft werden, ob die zugrundeliegende Bewertung der Übertragbarkeit von zeitabhängigen GVA-Phänomenen angepasst werden muss.

- Modellgröße Fehlerentdeckungszeit
 - Kann ein GVA-Phänomen nur bei einer anforderungsgerechten Prüfung entdeckt werden, ist als Fehlerentdeckungszeit der Zeitabstand zwischen zwei anforderungsgerechten Prüfungen anzusetzen, auch wenn andere wiederkehrende Prüfungen häufiger durchgeführt werden. Beispiel ist der Ausfall der Vorsteuerung von Eigenmedium-gesteuerten Sicherheitsventilen aufgrund von fälschlich abgesperrten Handventilen in den Steuerleitungen. Da bei den zweimonatlich durchgeführten Prüfungen der Magnetvorsteuerventile solche Fehler nicht erkannt werden können, sind für die Bestimmung der Fehlerentdeckungszeit die jährlichen Prüfungen, bei denen auch die Hauptarmaturen angesteuert werden, maßgebend.

Bei der derzeitigen Anwendung der Randbedingungen kann eine systematische Unterschätzung von Wahrscheinlichkeiten aufgrund GVA auftreten. Dies hat folgenden Grund: Durch Einführung von Randbedingungen wird die statistische Gesamtheit aufgeteilt in Teile, die sich bezüglich ihres Ausfallverhaltens unterscheiden. Diese Unterscheidung müsste auch bezüglich der Beobachtungszeit erfolgen. Zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit jeder GVA-Phänomenart darf nur die Beobachtungszeit derjenigen Komponentengruppen verwendet werden, bei denen der Fehlermechanismus auch auftreten kann. Stattdessen wird zurzeit die Beobachtungszeit **aller** Komponentengruppen verwendet. Diese Zeit beinhaltet die Betriebszeit auch derjenigen Komponentengruppen, bei denen die Randbedingung nicht vorliegt und entsprechende GVA-Phänomene nicht auftreten können.

Insgesamt erscheint es deshalb erforderlich, für jede Komponentenart eine möglichst geringe Anzahl verschiedener Randbedingungen zu definieren.

Generell sollten Randbedingungen nur dann eingeführt werden, wenn für die verschiedenen Subpopulationen ein signifikant verschiedenes Ausfallverhalten erwartet wird. Allein das Auftreten eines GVA-Ereignisses in einer Komponentengruppe, das in anderen Komponentengruppen nicht möglich ist, rechtfertigt die Einführung einer Randbedingung noch nicht.

Alternativ zur Einführung von Randbedingungen ist die Aufteilung einer Population in zwei oder mehr Populationen möglich. Populationen sollten nur dann aufgeteilt werden, wenn für die verschiedenen neu entstehenden Populationen ein signifikant verschiedenes Ausfallverhalten erwartet wird. Ob die Aufteilung einer Population sinnvoll möglich ist, hängt auch vom Umfang der vorliegenden Betriebserfahrung ab. Da zurzeit mit dem Kopplungsmodell nur GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden können, wenn GVA-Ereignisse beobachtet wurden, ist es erforderlich, dass für jede neue Population mindestens ein GVA-Ereignis vorliegt. Um eine große Schätzunsicherheit zu vermeiden, sollten für jede neue Population mehrere Ereignisse vorliegen.

Deshalb sollten, wenn möglich, Populationen eher aufgeteilt werden, als dass Randbedingungen eingeführt werden, die eine quantitative Bewertung der Übertragbarkeit erforderlich machen.

3 Beschreibung und qualitative Bewertung von GVA-Ereignissen

Die Datenbank WISBAS/GVA enthält den Stand der Betriebserfahrung mit GVA in deutschen Leistungsreaktoren bis einschließlich 2010 (vgl. /GRS 04/, /GRS 11a/ und /GRS 13/). Es wurden die nach der Atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) meldepflichtigen Ereignisse als Grundlage für die Auswertungen verwendet. Darüber hinaus enthält die WISBAS/GVA auch vereinzelte Ereignisse aus der Instandhaltungsdokumentation der Anlagen KWB-B und KKP, sowie einzelne ausländische Ereignisse und Ereignisse aus dem Rückfluss von Weiterleitungsnachrichten.

Im Folgenden wird die Betriebserfahrung aus den Jahren 2011 bis einschließlich 2018 in deutschen Forschungs- und Leistungsreaktoren ausgewertet und qualitativ bewertet.

3.1 Datengrundlage für die aktuelle Auswertung

Datengrundlage für die folgenden Untersuchungen sind die nach AtSMV meldepflichtigen Ereignisse im Betrachtungszeitraum vom 01.01.2011 bis 31.12.2018 aus deutschen Leistungs- und Forschungsreaktoren. Die vollständige Liste der betrachteten Anlagen und die Anzahl der im Betrachtungszeitraum gemeldeten Ereignisse ist in Tab. 3.1 dargestellt.

Für die Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse hinsichtlich ihres GVA-Potentials werden die vorliegenden Informationen wie Meldetexte, Gutachter-Stellungnahmen, Betreiberunterlagen etc., aber auch durch die GRS erstellte Dokumente wie Kurzberichte und Weiterleitungsnachrichten betrachtet und auf Grundlage dieser Informationen GVA-Aspekte herausgearbeitet.

Nicht jedes gemeldete Ereignis hat Relevanz für die Forschung zu GVA. Daher werden die Ereignisse auf ihre Relevanz für GVA untersucht und wie in Abschnitt 3.2 klassifiziert. Die in die Datenbank WISBAS/GVA übernommenen Ereignisse werden durch ihre wichtigsten Kenndaten beschrieben. Dies wird in Abschnitt 3.3 erläutert. Die Struktur eines Eintrages im GVA-Datenpool ist in Abschnitt 3.4 dargestellt.

Tab. 3.1 Meldepflichtige Ereignisse aufgeschlüsselt nach Anlage und Jahr für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018

Anlage	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Gesamt
AVR	1	0	0	2	2	1	0	4	10
BER-II	0	1	2	1	2	4	0	1	11
FRG-1	0	0	1	1	2	2	0	0	6
FRJ-2	0	0	0	0	0	0	1	0	1
FRM-II	1	0	0	1	0	2	2	0	6
GKN-1	3	6	4	3	4	4	2	2	28
GKN-2	7	2	7	4	4	3	4	5	36
KBR	6	5	4	7	4	9	11	10	56
KGR	0	0	0	0	1	0	0	0	1
KGR-1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
KGR-4	0	0	0	0	0	0	0	1	1
KKB	4	5	2	3	2	6	5	8	35
KKE	2	9	5	2	2	4	4	6	34
KKG	1	6	3	2	3	2	2	0	19
KKI-1	4	2	1	0	0	0	0	1	8
KKI-2	1	2	5	5	2	1	2	6	24
KKK	3	5	1	5	1	2	2	5	24
KKP-1	6	3	10	8	4	3	1	0	35
KKP-2	21	14	17	6	5	12	5	7	87
KKR	0	0	1	0	0	0	0	0	1
KKS	1	0	0	0	0	0	0	0	1
KKU	6	3	2	2	5	1	0	1	20
KMK	2	1	0	0	1	1	0	0	5
KNK-II	0	0	2	0	0	1	0	1	4
KRB-II	0	0	0	0	1	0	0	0	1
KRB-II-B	4	4	3	1	2	4	1	1	20

Anlage	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Gesamt
KRB-II-C	3	3	0	0	2	1	1	4	14
KWB	0	0	0	0	0	1	0	0	1
KWB-A	6	3	5	7	5	9	3	0	38
KWB-B	13	5	3	4	8	1	4	4	42
KWG	7	2	3	7	2	4	7	8	40
KWL	1	0	0	0	0	0	0	0	1
KWW	0	0	0	0	0	0	1	2	3
Summe	104	81	81	71	64	78	58	77	614

3.2 Klassifikation von GVA-Ereignissen

3.2.1 Kategorien von Ereignissen

Im Betrachtungszeitraum vom 01.01.2011 bis 31.12.2018 wurden von deutschen Forschungs- und Leistungsreaktoren insgesamt 614 meldepflichtige Ereignisse nach AtSMV gemeldet. Die Ereignisse wurden entsprechend ihrer Relevanz für die Forschung an GVA in Kategorien eingeteilt und klassifiziert. Die Kategorien sind analog zu den vorherigen GVA-Forschungsvorhaben (vergleiche /GRS 04/ und /GRS 11a/) gewählt:

- Einzelfehler (Klassifizierung EF):
Ereignisse, bei denen nur eine Komponente ausgefallen bzw. geschädigt wurde und ein systematischer Fehler ausgeschlossen werden kann.
- Funktionelle Abhängigkeit (Klassifizierung FA):
Ereignisse, bei denen es zu Mehrfachausfällen von Komponenten aufgrund einer gemeinsamen Abhängigkeit (z. B. von einem Hilfssystem oder einer Ansteuerung) gekommen ist.
- Einleitendes Ereignis – Common Cause Initiator (Klassifizierung GI)
- GVA-Phänomen ohne Relevanz für GVA-Daten (Klassifizierung GP):
Bei diesen Ereignissen handelt es sich im Wesentlichen um Phänomene, bei denen es nicht zu Funktionsausfällen kam.

- Sonstige GVA ohne Relevanz für GVA-Daten (Klassifizierung GS):
Hierbei handelt es sich um GVA-Ereignisse, bei denen Komponenten oder Betriebsmittel betroffen waren, die nicht in einer PSA modelliert werden.
- GVA-Datensätze (Klassifizierung GD):
GVA-Ereignisse an Komponenten oder Betriebsmittel, die in einer PSA modelliert werden.

Zur Bewertung, ob ein Ereignis GVA-relevante Aspekte enthält, kann das Meldekriterium nach Anlage 1 bzw. Anlage 3 der AtSMV N 2.1.2 „Schaden, Ausfall oder Befund mit Hinweis auf einen systematischen Fehler“ als Indiz herangezogen werden. Die Erfahrung aus vorherigen Vorhaben zeigt allerdings, dass das Nicht-Vorhandensein des Kriteriums N 2.1.2 eine GVA-Relevanz nicht ausschließen kann. Im aktuellen Berichtszeitraum sind 218 Ereignisse (36 %) mit dem Kriterium N 2.1.2 gemeldet.

Die Ereignisse der Klassifizierung GD werden in die WISBAS/GVA-Datenbank übernommen und eine quantitative Ereignisbewertung angefertigt. Die Ereignisse mit der Klassifizierung FA, GI, GP und GS werden in die Datenbank mit ihrer qualitativen Bewertung übernommen. Zudem werden Ereignisse, bei denen beim ersten Screening der meldepflichtigen Ereignisse ein GVA-Aspekt nicht ausgeschlossen werden konnte, die nachfolgende Detailanalyse aber keinen Hinweis auf einen systematischen Fehler ergab, in die Datenbank WISBAS/GVA übernommen und mit einer entsprechenden Bewertung als EF klassifiziert.

3.2.2 Selektierte Ereignisse im Betrachtungszeitraum

Für den Berichtszeitraum von 2011 bis 2018 wurden 271 Ereignisse von den 614 meldepflichtigen Ereignissen in die Datenbank WISBAS/GVA übertragen und entsprechende Datensätze angelegt oder zu bestehenden ergänzt. Die Klassifizierung der Ereignisse ist in Tab. 3.2 aufgelistet. In die Datenbank wurden vereinzelte Einzelfehler-Ereignisse aufgenommen. Bei diesen Ereignissen steht die endgültige Beurteilung noch aus, da zum Zeitpunkt der Beurteilung nur die vorläufige Meldung vorliegt.

Tab. 3.2 Anzahl der angelegten bzw. ergänzten GVA-Datensätze für Ereignisse im Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018

Klassifizierung	Anzahl
Einzelfehler (Klassifizierung EF)	14
Funktionelle Abhängigkeit (Klassifizierung FA)	15
Einleitendes Ereignis – Common Cause Initiator (Klassifizierung GI)	12
GVA-Phänomen ohne Relevanz für GVA-Daten (Klassifizierung GP)	168
Sonstige GVA ohne Relevanz für GVA-Daten (Klassifizierung GS)	3
GVA-Datensätze (Klassifizierung GD)	59

Im Folgenden werden Beispiele aus dem aktuellen Berichtszeitraum zur Verdeutlichung der Klassifizierungen erläutert:

Funktionelle Abhängigkeit: ME 2017/042 „Sicherungsfall auf einer Spannungsversorgungsbaugruppe der Brandmeldeanlage“

Beschreibung: Mit Störungseintritt wurde automatisch über die Meldeanlage der BMA signalisiert, dass der Kern 51 nicht mehr angekoppelt ist. Die eingeleitete Fehlersuche ergab einen Sicherheitsdefekt der Spannungsversorgung DC/DC-Netzteil des Baugruppenträgers Kern 51. Die versorgten Melder, 11 handbetätigte Melder und 12 Brandmelder, standen mit dem Ausfall der Spannungsversorgung bis zur Reparatur nicht zur Verfügung.

Bewertung: Durch den Ausfall eines Netzteils (Einzelfehler) wurden insgesamt 23 Brandmelder nicht mehr mit Spannung versorgt. Dies ist eine funktionale Abhängigkeit der Brandmelder von dem Netzteil. Deshalb wird das Ereignis als funktionelle Abhängigkeit (Klassifizierung FA) bewertet und nicht in den GVA-Datenpool aufgenommen.

Einleitendes Ereignis: ME 2018/058 „Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfung von Dampferzeugerheizrohren“

Beschreibung: Im Rahmen von Wirbelstromprüfungen an 100 % der Heizrohre der Dampferzeuger aller vier Redundanzen in der Revision 2018 wurden am Dampferzeuger der zweiten Redundanz auf der heißen Seite an Heizrohren in der Nähe der oberen Einwalzkante in den Dampferzeugerrohrboden 99 lineare, in Umfangsrichtung orientierte Anzeigen und am Dampferzeuger der vierten Redundanz, ebenfalls auf der heißen

Seite, zwei dieser Anzeigen festgestellt. Es handelt sich bei den Anzeigen um rissartige Wanddickenschwächungen, die von der Sekundärseite ausgehen. Die angewandten Prüf- und Auswerteverfahren wurden auf Basis von seit 2018 neu hinzugewonnenen Erkenntnissen weiter verfeinert. Unter Einsatz dieser verfeinerten Auswerteverfahren wurden die aus den Messungen der Revision 2018 gewonnenen Datensätze nachbeurteilt. Dabei wurden Auffälligkeiten festgestellt, die bei der Prüfung in der Revision 2019 als Anzeigen identifiziert wurden. In der Revision 2019 wurden erneut 100 % der Heizrohre aller vier Dampferzeuger überprüft. Dabei wurden unter Einsatz des verfeinerten Messverfahrens weitere lineare Anzeigen festgestellt.

Bewertung: Bei dem Ereignis handelt es sich um einen potenziellen GVA von Druckbehältern, der zu einem GVA-Einleiter (Klassifizierung GI) führen würde. Das Ereignis wird deshalb nicht in den GVA-Datenpool aufgenommen.

GVA-Phänomen: ME 2014/047 „Abweichung beim Stauen, Lagern und Handhaben von radioaktiven Reststoffen“

Beschreibung: In Auswertung einer Auffälligkeit bei der Entsorgungskampagne von Filterkonzentraten im Jahr 2012 ist eine umfassende Bewertung für das Stauen/Lagern von radioaktiven Feststoffen sowie deren weitere Handhabung und Konditionierung vorgenommen worden. Schwerpunkt dieser Bewertung war die Inspektion der 6 Kavernen im Feststofflabor. Nach umfassender Vorbereitung erfolgte 2014 im Wesentlichen mittels ferngesteuerter Kameratechnik eine Inspektion der Kavernen. Bewertet wurden sowohl der Zustand der gelagerten Fässer/Gebinde/Stoffe wie auch der bauliche Zustand. Insgesamt befanden sich zur Zeit der Aufnahme 632 Fässer in den Kavernen, wobei zunächst nicht alle Fässer ohne weitere Handhabungen im Detail inspiziert werden konnten. Festgestellt wurden im Wesentlichen Korrosionserscheinungen, Vorschädigungen und Deformationen unterschiedlicher Ausprägung an den Fassmänteln, nicht ordnungsgemäß verschlossene Deckel, Durchrostungen am Verschlussring, Beläge, Aufblühungen, Lackschäden sowie lokale Verunreinigungen, zum Teil durch ausgetretenes Medium. Bei den vorlaufenden Inspektionen waren zunächst nicht alle Oberflächen und Schädigungen einzusehen bzw. zu bewerten (so Fassböden, Deckel im Stapel, Spalten, Innenkorrosion von Fässern). Dies war bei den absichernden Maßnahmen zu berücksichtigen. Die Kamerainspektion am Boden der Kaverne 2, die mit einer Folie ausgelegt war, zeigte Verunreinigungen mit einem dunklen zähflüssigen Medium. Eine Probenahme mittels Gestänge ergab, dass dieses zähflüssige Medium radioaktiv war, wobei eine Aktivitätskonzentration von 9200 Bq/g ermittelt wurde. Die chemische Analyse

deutete auf Verdampferkonzentrate hin. Weitere Verunreinigungen in einem Teil der Kavernen sind registriert, aber nicht analytisch behandelt worden. Der bauliche Zustand der Kavernen konnte im Zuge der Inspektionen als gut bewertet werden, was nach deren Beräumung bestätigt wurde.

Bewertung: Bei einer Sonderinspektion wurden im Fasslager zahlreiche durchkorrodierte Fässer mit festen radioaktiven Reststoffen gefunden. Da Fässer in PSA nicht betrachtet werden, wird das Ereignis nur als GVA-Phänomen bewertet (Klassifizierung GP) und nicht in den GVA-Datenpool aufgenommen.

GVA-Datensatz: ME 2015/007 „Fehlerhaft eingestellter Parameter für den Start der Konzentrationsberechnung nach Filterwechsel an Aerosolmessstellen“

Beschreibung: Am 02.02.2015 wurde bei dem routinemäßigen wöchentlichen Filterwechsel der Aerosolaktivitätsmessstellen der Kaminfortluftüberwachung festgestellt, dass auf dem Anzeige- und Überwachungsdisplay die Statusmeldung F ("frozen") anstand. Die Überprüfung der Parametrierung des digitalen Filterkanals ergab, dass für den Parameter GW-Filterwechsel nicht der vorgesehene Wert von 1,8 m³/h eingestellt war, sondern 2,5 m³/h. Da der aktuelle tatsächliche Volumenstrom ca. 2,6 m³/h beträgt, wurde der Schwellenwert für den Start der Konzentrationsberechnung der Aerosolaktivität (2,5 m³/h + 10 % = 2,75 m³/h) nicht überschritten und die Berechnung nicht gestartet. Betroffen waren die digitalen Filterkanäle für Aerosolaktivitätskonzentration für zwei Fortluftüberwachung sowie einer Überwachung der Maschinenhausabluft. Die Erfassung und Aufzeichnung der Impulsraten der Aerosolmessungen waren verfügbar. Die Bilanzierung der Aktivitätsabgabe über die Kaminfortluft war nicht betroffen, da diese über die wöchentliche Auswertung der Aerosolfilter der Bilanzierungssammler erfolgt. Aus diesen Auswertungen geht hervor, dass in dem Zeitraum mit der fehlerhaften Parametrierung keine unzulässige Abgabe radioaktiver Stoffe erfolgt ist.

Bewertung: Im Fall der falschen Einstellung des Parameters „GW Filterwechsel“ beim ME war die Signalisierung von Grenzwertüberschreitungen nicht an allen Messstellen jederzeit sichergestellt.

Die Aktivitätskonzentration wird auf die Überschreitung gestaffelter Grenzwerte kontrolliert. Bei Überschreitung der Grenzwerte werden dabei Alarme ausgelöst, die ein frühzeitiges Erkennen und das Einleiten von Gegenmaßnahmen ermöglichen sollen. Falls die Berechnung der Aktivitätskonzentration sich während eines Anstiegs im Zustand F

„FROZEN“ befunden hätte, wären diese Alarme nicht ausgelöst worden. In der Anlage kann aufgrund des geringeren und im betrieblichen Rahmen schwankenden Lüftungsdurchsatzes die zwischenzeitliche Aktivierung des Zustands F, also das Einfrieren der berechneten Aktivitätskonzentration, nicht ausgeschlossen werden. Die reine Aktivitätsmessung lief auch in der Anlage durchgängig. Diese wird jedoch in der Anlage nicht zur Erzeugung von Alarmierungen verwendet, sodass es zu einem Anstieg der Aktivität in der Fortluft ohne entsprechende Alarmierung hätte kommen können.

Deshalb wird das Ereignis in der Anlage für die Aktivitätsmessungen (zu deren Komponentenabgrenzung die Grenzwertmelder gehören) als GD gewertet. Ausfallart ist "Ausfall mit beliebiger Ausgangsspannung", da die Messwerte auf einem beliebigen gerade aktuellen Wert eingefroren wären. Insgesamt waren 24 Aktivitätsmessungen betroffen.

3.3 Beschreibung der Betrachtungseinheit

Zu einem Ereignis werden in der Datenbank WISBAS/GVA verschiedene Informationen hinterlegt. Die wichtigsten Informationen sind dabei die Stammdaten des Ereignisses (Anlage, Anlagentyp, Ereignisnummer und -datum) und die beschreibenden Daten des Ereignisses (betroffene Betrachtungseinheit, Ausfallart).

Die betroffene Betrachtungseinheit wird entsprechend der Definitionen in /BfS 05/ beschrieben:

- **Betriebsmittel:**
Kleinste Einheit die betrachtet wird. Sie ist in sich funktionsfähig, einbauneutral und austauschbar
- **Komponente**
Einheit, die eine selbstständige Funktion innerhalb eines Prozesses wahrnimmt mit zugehörigen Bestätigungs- und Vorrangbausteinen und Abzweig, aber ohne eventuell notwendige Schutzeinrichtungen und Hilfssysteme, wie Ölversorgung oder Sperrwasser. Von der vorgeschlagenen Abgrenzung kann in begründeten Fällen abgewichen werden. Dabei muss aber die Möglichkeit erhalten bleiben, die Einzelergebnisse der Gesamtkomponente in der oben beschriebenen Abgrenzung zuzuweisen.

- Funktionseinheit
Komponente einschließlich ihrer Schutzeinrichtung, Hilfs- und Versorgungseinrichtungen

3.3.1 Komponentengrenzen ausgewählter Komponenten

Für einige ausgewählte Komponenten werden im Folgenden Komponentengrenzen definiert. Die Definitionen der Komponentengrenzen in Tab. 3.3 sind an /BfS 16/ und /NEA 11/ angelehnt:

Tab. 3.3 Definition von Komponentengrenzen

Komponenten	Eingeschlossen	Nicht eingeschlossen
Notstromdiesel	Notstromdiesel, Generator, Anlasssystem, Schmieröl-system, dieselinternes Kühl-wassersystem, Kraft-stoffsystem (bis Tagesbehälter), dieselinter-nes Zuluft- und Abgassys-tem, Überwachung (Dreh-zahl, Niveau Ausgleichsbehälter, Schmieröldruck)	Dieselbelastungsprogramm, Transportsystem für Die-selöl, externes Kühlwasser-system, Generatorleistungs-schalter ¹ , Raumkühlung, Reaktorschutz
Motorbetätigte Armaturen	Ventilgehäuse und Einbau-teile, Stellgetriebe ein-schließlich Wegend- und Drehmomentschalter, Schaltanlage einschließlich Leistungsschalter, Koppel-relais, elektrische Schutz-einrichtungen, Elektromotor, Baugruppen der Steuerung einschließlich Vorrang und Entkopplung, Kabel	Verriegelungen, Sys-temsteuerung und -rege-lung, Funktionsgruppen-steuerung, Stellungsgeber, die nicht der unmittelbaren Steuerung dienen.
Rückschlagventile und -klappen	Ventilgehäuse, Sitz, Kegel, Klappe, Stellungsgeber, Klappengegengewicht, Ven-tilprüfmechanismus	Stellungsgeber, die nicht unmittelbar der Steuerung dienen

¹ Analog zum Vorgehen beim Internationalen GVA-Datenaustauschprojekt ICDE der OECD/NEA wird der Generatorleistungsschalter für GVA-Bewertungen in die Komponente Notstromdieselgenerator eingeschlossen.

Komponenten	Eingeschlossen	Nicht eingeschlossen
Sicherheitsventile	Ventilgehäuse und Einbauteile, Stellungsgeber, Vorsteuerventile (wo anwendbar und nicht als eigene Komponente modelliert)	Stellungsgeber, die nicht unmittelbar der Steuerung dienen
Pumpe mit Motorantrieb	Pumpengehäuse, Laufrad, Welle, Lager und Abdichtung, Armaturen zur Ölversorgung und Entwässerung (sofern nicht separat modelliert), Pumpenmotor, Kupplung, Motorkühler, SiV für Kolbenpumpen, Schaltanlage einschließlich Leistungsschalter und elektrische Schutzeinrichtung, Baugruppen der Antriebssteuerung einschließlich Vorrang- und Entkopplungsbaugruppen, Kabel	Druck- und Saugventile, Mindestmengenventil, Kühlwasserversorgung, Raumkühlung, Verriegelung, Systemsteuerung und -regelung, Komponentenschutz
Pumpen mit Turbinenantrieb	Pumpengehäuse, Laufrad, Welle, Lager und Abdichtung, Armaturen zur Ölversorgung und Entsorgung, Turbine, Kupplung, Ölpumpen samt Kontrollschaltung, Turbinenschnellschluss- und Turbinenregelventil, Turbinenregler (sofern nicht separat modelliert)	Druck- und Saugventile, Mindestmengenventil, Kühlwasserversorgung, Raumkühlung, Systemsteuerung und -regelung
Ventilatoren	Gehäuse, Laufrad, Welle und Lager, Motorantrieb, Kupplung/Riementrieb, Schaltanlage einschließlich Koppelrelais und elektrische Schutzeinrichtungen, Baugruppen der Antriebssteuerung einschließlich Vorrangbildung und Entkopplung, Kabel	Zuluft- und Abluftklappen, Steuerung, Verriegelungen, Systemsteuerung, Meldeeinrichtungen
Gleichrichter	Thyristorsteuersatz einschließlich Glättungseinrichtung, Spannungsregelung, Strombegrenzung, Überwachungseinrichtungen, Batteriekreisüberwachung	Schaltanlagen auf Sammelschiene

Komponenten	Eingeschlossen	Nicht eingeschlossen
Differenzdruckmessung	Mehrventilblock, Messumformer, Analogverteilerbaugruppen einschließlich Stromversorgung und Absicherung, Entkoppel- und Trennbaugruppen, Signalumformerbaugruppen, Grenzwertgeber, Messwertanzeiger	Messwertverarbeitung für Rechner, Meldeanlagen, Reaktorschutz, Aggregatenschutz
Temperaturmessung	Schutzrohr, Messwertgeber, Messumformer, Analogverteilerbaugruppen einschließlich Stromversorgung und Absicherung, Entkoppel- und Trennbaugruppen, Signalumformerbaugruppen, Grenzwertgeber, Messwertanzeiger	Messwertverarbeitung für Rechner, Meldeanlagen, Reaktorschutz, Aggregatenschutz
Batterien	Batteriezellen und -brücken, Gestelle, Leitungen, Leistungsschalter, Sicherungen	Batterieschienen

3.4 Struktur des GVA-Datenpools

Die in der Datenbank WISBAS/GVA festgehaltenen Informationen umfassen:

GVA-Nr.:

Laufende Nummer der Ereignisse in der GVA-Datenbank WISBAS/GVA der GRS.

Titel:

Kurztext zur Charakterisierung des Ereignisses. Entspricht bei meldepflichtigen Ereignissen im Allgemeinen der Überschrift aus der Meldung.

Ereignis-Nr.:

Meldepflichtige Ereignisse in Deutschland erhalten eine Registriernummer bestehend aus Jahrgang/laufende Nummer.

Bei Meldungen aus dem internationalen Meldesystem IRS der OECD/NEA: Registriernummer des Ereignisses bei IRS.

Bei Instandhaltungsaufträgen: Auftragsnummer des Instandhaltungsauftrags und, mit einem Schrägstrich abgetrennt, eine von der GRS vergebene Ereignisnummerierung.

Block-Nr.:

Blocknummer des Meldepflichtigen Ereignisses.

Anlage:

Anlage, in der das Ereignis aufgetreten ist.

Anlagentyp:

Typ der Anlage.

Fehlererkennung:

Art der Fehlererkennung und Codierung dazu.

System (KKS):

System, in dem das Ereignis aufgetreten ist und Verschlüsselung des Systems nach dem Kraftwerks-Kennzeichnungs-System (KKS).

Komponente:

Komponenten, die von dem Schaden betroffen waren.

AKZ bzw. KKS:

Anlagenkennzeichen der betroffenen Komponenten.

Einbauort (KKS):

Gebäude, in dem die betroffenen Komponenten aufgestellt sind und Verschlüsselungen nach KKS.

Anmerkung: Wenn mehrere Ereignismeldungen zu einem GVA-Ereignis zusammengefasst sind, werden die Angaben von Ereignis-Nr. bis Einbauort (KKS) für jede Ereignismeldung wiederholt.

Funktionseinheit (BMA):

Namensgebende Betriebsmittelart der von dem Schaden betroffenen Funktionseinheit und Verschlüsselung nach dem Betriebsmittelartenschlüssel (BMA) (z. B. besteht die Funktionseinheit Pumpe aus der Komponente Pumpe und dem Komponentenschutz, externer Ölversorgung etc.).

Komponentenart (BMA):

Namensgebende Betriebsmittelart der von dem Schaden betroffenen Komponente und

Verschlüsselung nach dem BMA-Schlüssel (z. B. besteht die Komponente Pumpe aus den Betriebsmitteln Pumpe, Kupplung, Motor, Schalter, Antriebsbaugruppen).

Betriebsmittelart (BMA):

Betriebsmittelart des von dem Schaden betroffenen Betriebsmittels und Verschlüsselung nach dem BMA-Schlüssel (z. B. Pumpe, Kupplung etc.).

Zuordnung:

Mit der Zuordnung kann ausgewählt werden auf welcher Ebene die GVA-Bewertung durchgeführt wird. Zur Auswahl stehen die Ebenen

- Funktionseinheit
- Komponente oder
- Betriebsmittel

Anmerkung: Normalerweise erfolgt die GVA-Auswertung auf Komponentenebene. Deshalb wird bei der Beschreibung der nachfolgenden Angaben davon ausgegangen, dass eine Zuordnung zur Komponente vorliegt.

Hersteller:

Hersteller der von dem Schaden betroffenen Komponenten und Verschlüsselung dazu.

Bauart:

Bauart der von dem Schaden betroffenen Komponenten.

Klassifizierung:

Die Klassifizierung des Ereignisses entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 3.2.

Ausfallart:

Die Ausfallart, für die die Auswertung durchgeführt wird (Beispiele: „Startet nicht“, „fördert nicht“, „schließt nicht“, etc.). Sind bei einem Ereignis mehrere relevante Ausfallarten beobachtet worden, ist die quantitative GVA-Bewertung üblicherweise unterschiedlich für die verschiedenen Ausfallarten.

Datum:

Ereignisdatum.

Komponentengruppe:

Gesamtzahl der in der von dem Schaden betroffenen Komponentengruppe vorhandenen Komponenten. Vergleiche hierzu Abschnitt 4.1.

Ereignisbeschreibung:

Eine ausführliche Beschreibung des Ereignisses. Diese enthält unter anderem die Beschreibung des Ereignisherganges, den Betriebszustand der Anlage am Ereigniszeitpunkt, die Art der Fehlererkennung und Vorkehrungen gegen Wiederholungen.

Ereignisursache:

Es wird erläutert, welche Ursachen zu dem Ereignis geführt haben. Hier werden besonders auf GVA-relevante Aspekte der Ereignisursache hervorgehoben.

GVA-Bewertung:

Bewertung des Ereignisses hinsichtlich von GVA-Aspekten. Diese Bewertung enthält Begründungen für:

- Die Klassifizierung des Ereignisses
- Die Wertung der Komponenten als ausgefallen, geschädigt, schwach oder sehr schwach geschädigt
- Eventuelle Randbedingungen, die die Übertragbarkeit des Ereignisses einschränken (z. B. Nur beim Anfahrvorgang relevant)

Sollte während der Bearbeitung neue Erkenntnisse auftreten (zum Beispiel durch eine neue Meldung des Betreibers zu dem Ereignis), kann eine neue Bewertung erstellt werden. Um die Historie zu sichern, wird die veraltete GVA-Bewertung in das Feld „Alte Bewertung“ übertragen.

Fehlermechanismus:

Beschreibung der Kausalkette, die zum systematischen Fehler geführt hat.

Kriterien:

Für eine Klassifizierung eines Ereignisses als GVA bzw. potenzieller GVA müssen die Bedingungen

- Gleichartigkeit der Ausfall- oder Schadensursache und
- Gleichzeitigkeit der Ausfall- oder Schadenszustandes

erfüllt sein. Die aufgeführten Kriterien ergeben Hinweise zur Erfüllung dieser beiden Bedingungen. Die Kriterien gliedern sich in Kriterien zur Gleichartigkeit und Kriterien zur Gleichzeitigkeit. In den Kriterien spiegeln sich die GVA-Phänomene wider, die bei den beobachteten Ereignissen aufgetreten sind.

4 Quantitative Bewertung von GVA-Ereignissen

Grundsätzliches Ziel der quantitativen Forschungstätigkeiten ist es, Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von GVA zu ermitteln, um das Auftreten von GVA in der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) quantitativ berücksichtigen zu können. Dieses Ziel wurde bereits in der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke /TÜV 81/ verfolgt und ist seitdem Bestandteil jeder PSA (z. B. /GRS 01/).

Auf Grundlage der qualitativen Ereignisbewertungen in Abschnitt 3 werden hierbei die im Rahmen der Ereignisse identifizierten tatsächlichen und potenziellen Schäden quantifiziert. Wie in Abschnitt 2 erläutert, dienen die quantitativen Bewertungen zur Berechnung von Zuverlässigkeitskenngrößen oder Eingangsparemeter für GVA-Modelle.

Die benötigten quantitativen Angaben zur Bereitstellung der Eingangsparemeter für GVA-Modelle umfassen den Schädigungsvektor, den Gleichzeitigkeitsfaktor, den Ursachengleichheitsfaktor und den Übertragbarkeitsfaktor. Der Schädigungsvektor enthält die Gesamtzahl der Komponenten in der betroffenen Komponentengruppe, die Anzahl der ausgefallenen Komponenten, die Anzahl der geschädigten Komponenten, die Anzahl der schwach geschädigten Komponenten, die Anzahl der sehr schwach geschädigten Komponenten und die Anzahl der Komponenten ohne Befund. Der Übertragbarkeitsfaktor quantifiziert den Einfluss unterschiedlicher Ausführungen von Komponentengruppen innerhalb einer Komponentenpopulation. Durch den Ursachengleichheitsfaktor können unterschiedliche Ursachen für Ausfälle von Komponenten berücksichtigt werden. Zuletzt werden durch den Gleichzeitigkeitsfaktor Zeiträume zwischen dem Ausfall von Komponenten einbezogen. Sowohl Ursachengleichheitsfaktor als auch Gleichzeitigkeitsfaktor sind ein Maß für die Unsicherheit, ob überhaupt ein GVA-Ereignis vorlag.

Die quantitativ zu bewertenden GVA-Datensätze sind die in Abschnitt 3.2 als GD selektierten Datensätze. Die entsprechenden Datensätze sind in Tab. 4.1 aufgeführt.

Die Ermittlung des Schädigungsvektors ist in Abschnitt 4.1 erläutert. Weitere Informationen über den Übertragbarkeitsfaktor sind in Abschnitt 4.2, über den Ursachengleichheitsfaktor in Abschnitt 4.3 und über den Gleichzeitigkeitsfaktor in Abschnitt 4.4 zu finden. Die Struktur der Quantitativen Bewertung der GVA-Ereignisse ist in Abschnitt 4.5 erläutert.

Tab. 4.1 Quantitativ zu bewertende Datensätze in der WISBAS/GVA nach Selektierung

Bewertete Komponententart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	01831	gelöste Klappe	2011/066
Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	01987	Befunde bei der Befestigung von Haltesegmenten der Klappenblattdichtung von Absperrklappen	2016/026
Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	02027	Handabschaltung eines Notstromdieselaggregates bei Prüfung	2018/043
Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	01808	Inspektionsbefund an Saugschiebern der nuklearen Nebenkühlwasserpumpen	2011/081
Absperrventile (motorbetätigt), Gas führende Systeme	02021	Erhöhte Leckrate an zwei parallelen Gebäudeabschlussarmaturen des Wasserstoffüberwachungssystems bei Wiederkehrender Prüfung	2018/031
Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	01826	Nicht ordnungsgemäße Zuordnung von Stellantrieben an Frischdampfentwässerungsarmaturen	2012/045
Aktivitätsmessungen	01820	Abweichungen bei Kalibrierfaktoren von Aktivitätsmessstellen nach Austausch von Messumformern	2011/040
Aktivitätsmessungen	01964	Fehlerhaft eingestellter Parameter für den Start der Konzentrationsberechnung nach Filterwechsel an Aerosolmessstellen	2015/007
Baugruppen, VO12	01867	Befunde an dynamischen ODER-Baugruppen VO12 im Rahmen des Austauschprogramms	2014/031
Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen	01862	Baugruppenfehler in einer Brandmeldezentrale	2016/044
Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen	02042	Teilausfall der HCL-Rauchmeldeanlage Bioschild 2	2018/036

Bewertete Komponentenart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen	02054	Unverfügbarkeit der automatischen Schließenanregung von Brandschutztüren aufgrund Fehler in der Steuerung einer Brandmeldeanlage	2012/066
Dieselbelastungsprogrammstufe	01854	Fehler bei der automatischen Zuschaltung einer Umluftanlage im Notspeisegebäude	2013/009
Druckmessungen: Messumformer	01803	Abweichungen vom spezifizierten Zustand an jeweils einem Füllstandsmesskanal von vier Flutbehältern	2011/005
Druckmessungen: Messumformer	01804	Einsatz von Füllstandssonden mit größerem Messbereich	2011/006
Druckmessungen: Messumformer	01823	Befunde an Messwerken der Füllstandssonden des Typs AVL200	2011/030
Druckmessungen: Messumformer	01954	Abweichungen vom spezifizierten Zustand an Dichtungen von Hartmann & Braun Messumformern	2014/029
Druckmessungen: Messumformer	01955	Abweichung vom spezifizierten Zustand an einer Dichtung eines Hartmann & Braun-Messumformers	2014/033
Druckmessungen: Messumformer	01955	Abweichung vom spezifizierten Zustand an einer Dichtung eines Hartmann & Braun-Messumformers	2014/033
Elektrische Einrichtungen Notstromdiesel	01931	Federbruch im Druckventil der Einspritzpumpe am Notstromdiesel	2016/013
Elektrische Einrichtungen Rotierende Umformer	01810	Kurzzeitiger Ausfall einer gesicherten Stromschiene	2011/095
FD-Abblase-Regelventile	01855	Verminderte Stellkraft des Schubantriebs eines Frischdampf-Abblaseregelventils	2013/053
Feuerlöschventile (inkl. Zeitbaugruppen)	01841	Störung an einer Armatur des Feuerlöschsystems UJ98	2012/055; 2011/102

Bewertete Komponentenart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Feuerlöschventile (inkl. Zeitbaugruppen)	01870	Ausfall von CO ₂ -Löschanlagen bei Wiederkehrender Prüfung infolge ausbleibender elektrischer Ansteuerung	2015/010
Feuerlöschventile (inkl. Zeitbaugruppen)	01967	Ausfall einer Sprühwasserlöschanlage bei Funktionsprüfung	2015/025
Feuerlöschventile (inkl. Zeitbaugruppen)	02002	Funktionsstörung eines Fernschaltventils bei Wiederkehrender Prüfung	2017/019
Feuerlöschventile (inkl. Zeitbaugruppen)	02006	Funktionsstörung der automatischen Auslösung für zwei Fernschaltventile bei Wiederkehrender Prüfung	2017/032
Gleichrichter	01892	Nicht erfolgtes automatisches Wiedereinschalten der 220/24V Gleichrichter in Scheibe 10	2017/036
Gleichrichter	02028	Schäden an den drehstromseitigen Hauptschützen von zwei Batterieladegleichrichtern	2018/046
Gleichrichter	02057	Nicht erfolgtes automatisches Zuschalten von 220-/24-V-Gleichrichtern	2017/036
Grenzwertgeber	01806	Sporadische Störungen von Grenzwertmeldern in freigeschalteten Funktionen des Reaktorschutzsystems	2011/039
Handabsperrventile, kein Dampf	01995	Fehlerhaft geschlossene Armaturen im Feuerlöschwassersystem	2016/053
Handabsperrventile, kein Dampf	02000	Kurzzeitige Beeinträchtigung der Betriebsbereitschaft der gesicherten Zwischenkühlanlage PJ20	2017/004
Kältemaschinen	02024	Unverfügbarkeit einer Kältemaschine	2018/034
Kreiselpumpen, Betriebsmedium: Rohwasser	01996	Beeinträchtigung des automatischen Starts der Feuerlöschpumpen SGA01/02 AP001/2	2016/054

Bewertete Komponentenart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Leistungsschalter, mit Federantrieb (zwischen Unterverteilungen)	01762	Keine Zuschaltung des Transformators 3CT25 bei WKP	2014/002; 2014/003
Neutronenflussmessungen	01863	Unplausibles Ausgangssignal der log. Mittelwertmesser der Impulskanäle	2017/026
Notstromdiesel	01811	Kontaktprobleme in Steckverbindungen an den Notstromdieselaggregaten	2012/008
Notstromdiesel	01859	Hinweis auf Fertigungs- und Montagefehler an Abgasturboladern von Dieselmotoren für Notstromgeneratoren	2013/026
Notstromdiesel	01873	Ausfall eines UNS-Dieselaggregates aufgrund Generatorschaden	2013/015
Notstromdiesel	01874	Bruch einer Schraube am Kühlwasseraustrittsflansch am Zylinderkopf eines Notstromdieselmotors	2016/027
Notstromdiesel	01885	Hinweis auf Fertigungs- und Montagefehler an Abgasturboladern von Dieselmotoren für Notstromgeneratoren	2013/014
Notstromdiesel	01921	Hinweis auf Fertigungs- und Montagefehler an Abgasturboladern von Dieselmotoren für Notstromgeneratoren	2013/013
Notstromdiesel	01925	Hinweis auf Fertigungs- und Montagefehler an Abgasturboladern von Dieselmotoren für Notstromgeneratoren	2013/032
Notstromdiesel	01951	Sicherheitstechnisch wichtige Versorgung der Notstromschiene 1BU war kurzzeitig nicht gewährleistet	2014/019
Notstromdiesel	01992	Schutzabschaltung Notstromdiesel 30 bei 110 %-Lastlauf	2016/041

Bewertete Komponentenart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Pumpen Kreiselpumpen, Betriebsmedium: Rohwasser	01769	Kühlerrohrleckage am Umluftkühler eines E-Motors einer Kühlwasserpumpe	2011/021
Regelventile	01927	Befunde an der Hauptkühlmittelpumpe 14YD10 D001 während der Primärkreisdekontamination	2013/039
Regelventile	NEU	Befunde an der Hauptkühlmittelpumpe 14YD10 D001 während der Primärkreisdekontamination	2013/039
Relais, Quecksilberrelais	01814	Funktionsstörung an Relais-Baugruppen bei Wiederkehrender Prüfung	2012/034
Rückschlagklappen	01813	Nichtschließen einer Rückschlagklappe im nuklearen Nebenkühlwassersystem	2013/037
Rückschlagklappen	01865	Befunde bei der Befestigung von Haltesegmenten der Klappenblattdichtung von Absperklappen	2016/026
Rückschlagklappen	01884	Rückschlagklappe KAA40-AA004 schließt nicht vollständig	2011/066
Rückschlagklappen	02049	Maßabweichung an Magnetträgerplatten bei Rückschlagklappen am Primärkühlsystem	2017-002
Rückschlagventile (absperbar)	01739	Nichtschließen des Ventils "Einspeisung heiß" bei betrieblicher Anforderung	2011/092
Rückschlagventile (absperbar)	01903	Nichtschließen des Ventils "Einspeisung heiß" bei betrieblicher Anforderung	2011/092
Schnellschlussklappen (Lüftung)	01882	Nichtauslösung einer Brandschutzklappe	2016/048
Schnellschlussklappen (Lüftung)	01958	Keine ausreichende Löschwirksamkeit bei Auslösung der CO ₂ -Löschanlagen 20UX02/05 infolge Nicht-Schließen von Brandschutzklappen bei WKP	2014/052
Schnellschlussklappen (Lüftung)	01966	Funktionsstörung an Brandschutzklappen	2015/022

Bewertete Komponentenart	GVA-Nr.	Titel	Zugrundeliegendes Ereignis
Schnellschlussklappen (Lüftung)	02032	Funktionsstörungen an Brandschutzklappen bei Wiederkehrender Prüfung	2018/061
Schnellschlussklappen (Lüftung)	02037	Brandschutzklappen arretieren nicht in Geschlossenstellung bei Wiederkehrender Prüfung	2018/076
Steuerstäbe (DWR)	01821	Verformung an bestimmten Brennelementen	2011/047; 2012/028
Wärmetauscher, Betriebsmedium: Rohwasser	01769	Kühlerrohrleckage am Umluftkühler eines E-Motors einer Kühlwasserpumpe	2011/021
Wärmetauscher, Betriebsmedium: Rohwasser	01883	Kurzzeitig reduzierter Durchsatz des gesicherten Nebenkühlwassersystems 20 nach einer TUSA	2018/054
Wasserstoff-Konzentrationsmessungen	01911	Befunde an störfallfesten elektrischen Verbindungskomponenten	2013/062

4.1 Definition des Schädigungsvektors

4.1.1 Komponentengruppen

Redundante Komponenten, die identisch oder beinahe identisch sind und gleichen oder ähnlichen Betriebs- und Anforderungsbedingungen unterworfen sind, werden zu Komponentengruppen zusammengefasst. Da üblicherweise die Anzahl der beobachteten GVA-Ereignisse pro Komponentengruppe gering ist, werden gleichartige Komponentengruppen zu einer statistischen Population zusammengefasst. So werden zum Beispiel Komponentengruppen von redundanten, motorbetätigten Absperrschiebern aus den wasserführenden, sicherheitsrelevanten Systemen zusammengefasst.

4.1.2 Stärke der Schädigung

Bei einem GVA-Ereignis können eine oder mehrere Komponenten einer Komponentengruppe ausfallen oder geschädigt werden. Durch Experten wird bei der quantitativen Bewertung von GVA-Ereignissen bestimmt, wie viele Komponenten ausgefallen, geschädigt, schwach geschädigt und sehr schwach geschädigt sind. Zusammen mit der Größe der Komponentengruppe kann der sogenannte Schädigungsvektor gebildet werden. Der Schädigungsvektor gibt für jede Komponente die Stärke des Ausfalls an. Beispielsweise ist für eine Komponentengruppe mit 4 Komponenten bei einem Ereignis mit einer ausgefallenen Komponente, einer schwach geschädigten Komponente und 2 nicht betroffenen Komponenten der Schädigungsvektor (Ausgefallen, Schwach Geschädigt, Nicht Betroffen, Nicht Betroffen).

Standardmäßig (z. B. nach dem Vorgehen im ICDE Projekt) werden für die Schädigungsgrade feste statistische Gewichte verwendet, die der Versagenswahrscheinlichkeit im Anforderungsfall der Komponente entsprechen. Die Versagenswahrscheinlichkeit nimmt Werte zwischen 1 für als „ausgefallen“ bewertete Komponenten und 0 für vollständig intakte Komponenten ein. Wird von einem Experten eine Komponente als „stark geschädigt“ eingeschätzt, wird diese Komponente mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 0,5 belegt, „schwach geschädigte“ Komponenten eine Wahrscheinlichkeit von 0,1 und „sehr schwach geschädigte“ Komponenten eine Wahrscheinlichkeit von 0,01.

4.1.3 Abweichung der Schädigungswerte von den Standardwerten

Bei wenigen GVA-Ereignissen liegen klare Hinweise vor, dass die zuvor beschriebenen Standardwerte für die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls (1; 0,5; 0,1; 0,01; 0) die Ausfallwahrscheinlichkeit nicht korrekt beschreiben. Für diese Fälle kann durch die Experten jeder andere Werte zwischen null und eins als Schädigungsgrad festgelegt werden.

Ein Beispiel (entnommen aus /GRS 13/) zur Erläuterung ist ein GVA-Ereignis, bei dem in einer Komponentengruppe aus vier Pumpen bei 15 Pumpenstarts innerhalb eines kurzen Zeitraums insgesamt dreimal eine Pumpe wegen Überstromauslösung nicht startete. In diesem Fall war die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall einer Pumpe etwa $3/15 = 0,2$. Als Schädigungswert kann deshalb 0,2 für jede Pumpe der Komponentengruppe angesetzt werden, das heißt wenn es zu einer gleichzeitigen Anforderung aller vier Pumpen gekommen wäre, wären alle Pumpen unabhängig voneinander jeweils mit der Wahrscheinlichkeit 0,2 ausgefallen.

4.2 Übertragbarkeitsfaktor

Mit dem Übertragbarkeitsfaktor (analog zum applicability factor) werden größere Unterschiede in den technischen Ausführungen (z. B. angewendete Überwachungsmaßnahmen und Betriebsbedingungen) innerhalb einer Komponentenpopulation berücksichtigt, soweit sie für die Bewertung des beobachteten GVA-Phänomens relevant sind und einen deutlichen Einfluss auf das Gewicht der Bewertung haben.

4.3 Ursachengleichheitsfaktor

Durch den Ursachengleichheitsfaktor (analog zum shared cause factor) wird beschrieben, in welchem Maß bei einem gemeinsamen Ausfall mehrerer Komponenten einer Komponentengruppe die gleiche Ursache zugrunde liegt. In der Regel ist dieser Faktor bei GVA mit Eins identisch (ein GVA ist als Ausfall aufgrund eines gemeinsamen Fehlers definiert). Kommt es allerdings in einer Komponentengruppe zu mehreren zeitnahen Ausfällen aufgrund ähnlicher, aber nicht identischer Fehlermechanismen, kann unter Umständen ein gemeinsam zugrunde liegendes Problem (z. B. Instandhaltung oder Konstruktion) vorliegen. In diesem Fall wird ein Ursachengleichheitsfaktor kleiner Eins angewendet. Die Skala für den Faktor wird in Tab. 4.2 erläutert.

Tab. 4.2 Skala für den Ursachengleichheitsfaktor nach /GRS13/

Faktor	Erläuterung
1	Der zugrundeliegende Fehlermechanismus war bei allen betroffenen Komponenten identisch
0,5	Es waren mehrere Fehlermechanismen wirksam, diese haben jedoch eine klar identifizierbare, gemeinsame zugrundeliegende Ursache, z. B. Mängel in den Instandhaltungsvorschriften der betroffenen Komponenten
0,1	Es waren mehrere Fehlermechanismen wirksam, die aber auf eine tieferliegende gemeinsame Ursache zurückzuführen sind, z. B. Mängel in der Instandhaltungsorganisation

4.4 Gleichzeitigkeitsfaktor

Durch den Gleichzeitigkeitsfaktor (analog zum time factor) wird die Gleichzeitigkeit des Ausfalls der betroffenen Komponenten berücksichtigt. Der Gleichzeitigkeitsfaktor nimmt Werte zwischen 0,1 und 1 an und die Werte sind abhängig von der Ausfallart:

- Für die Ausfallarten „fördert nicht“, „Betriebsversagen“ oder ähnliche:
 - Bei Fehlern, die innerhalb der bei der PSA unterstellten Anforderungslaufzeit der betroffenen Komponenten auftreten, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 1.
 - Bei Fehlern, die zwischen einer und zwei Anforderungszeiten der betroffenen Komponenten auftreten, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 0,5.
 - Bei Fehlern, die zwischen zwei und drei Anforderungszeiten der betroffenen Komponenten auftreten, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 0,1.
- Für die Ausfallarten „startet nicht“, „öffnet nicht“, „schließt nicht“, „schaltet nicht“ oder ähnliche:
 - Wenn bei einem Ausfall von Komponente 2 nach einem Ausfall von Komponente 1 kein erfolgreicher Test von Komponente 2 durchgeführt wurde, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 1.
 - Wenn bei einem Ausfall von Komponente 2 nach einem Ausfall von Komponente 1 genau ein erfolgreicher Test oder Anforderung von Komponente 2 durchgeführt wurde, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 0,5.

- Wenn bei einem Ausfall von Komponente 2 nach einem Ausfall von Komponente 1 genau zwei erfolgreiche Tests oder Anforderungen von Komponente 2 durchgeführt wurden, ist der Gleichzeitigkeitsfaktor gleich 0,1.

4.5 Struktur der Quantitativen Bewertung in der WISBAS/GVA

Die quantitative Bewertung der GVA-Ereignisse durch Experten wird in die WISBAS/GVA in folgender Struktur aufgenommen:

Bewertete Komponententyp:

Komponentenpopulation, für welche die Bewertung durchgeführt wird. Sofern ein Ereignis für mehrere Populationen bewertet wird, ist für jede Population eine eigene Bewertung vorhanden.

Bewertete Ausfallart:

Art des aufgetretenen Ausfalls. Sofern mehrere Ausfallarten denkbar sind, ist für jede Ausfallart eine eigene Bewertung vorhanden.

Randbedingung:

Wenn sich für ein GVA-Ereignis unter unterschiedlichen Randbedingungen andere Ausfallkombinationen oder Übertragbarkeitsfaktoren ergeben, werden diese Randbedingungen hier vermerkt. Für ein Ereignis können auch mehrere unterschiedliche Randbedingungen bewertet werden.

Datum:

Datum der Bewertung

Größe der Komponentengruppe:

Gesamtzahl der Komponenten in der bewerteten Gruppe

Expertenbewertung:

Durch die Experten werden folgende Größen bewertet:

- Ausfälle: Zahl der nach Expertenmeinung mit der angegebenen Ausfallart ausgefallenen Komponenten in der vom Schaden betroffenen Komponentengruppe.

- Geschädigt: Zahl der nach Expertenmeinung mit der angegebenen Ausfallart geschädigten Komponenten in der vom Schaden betroffenen Komponentengruppe
- Schwach geschädigt: Zahl der nach Expertenmeinung mit der angegebenen Ausfallart schwach geschädigten Komponenten in der vom Schaden betroffenen Komponentengruppe
- Sehr schwach geschädigt: Zahl der nach Experteneinung mit der angegebenen Ausfallart sehr schwach geschädigten Komponenten in der vom Schaden betroffenen Komponentengruppe
- Übertragbarkeitsfaktor: In diesem Feld wird das Produkt aus dem Übertragbarkeitsfaktor nach Definition in Abschnitt 4.2, dem Ursachengleichheitsfaktor und dem Gleichzeitigkeitsfaktor angeben. Üblicherweise ist dieser Faktor gleich 1.
- Ursachengleichheitsfaktor: Ursachengleichheitsfaktor nach Definition in Abschnitt 4.3. Üblicherweise ist dieser Faktor gleich 1.
- Gleichzeitigkeitsfaktor: Gleichzeitigkeitsfaktor nach Definition in Abschnitt 4.4. Üblicherweise ist dieser Faktor gleich 1.
- Expertenname: Für jede Expertenbewertung wird der bewertende Experte durch ein anonymisiertes Kürzel vermerkt. Das Kürzel besteht für GRS-Mitarbeiter aus GRS+laufende Nummer (Beispiel: GRS01, GRS02 usw.).

Ein Beispiel für einen Eintrag der quantitativen Bewertung eines GVA-Ereignisses ist in Abb. 4.1 aufgeführt.

GVA-Nr:	XXXXX									
Bewertete Komponentenart:	Messungen Neutronenflussmessungen									
Bewertete Ausfallart:	Ausgangssignal beliebig									
Randbedingung	Anlagenzustand: An- oder Abfahren (wenn Detektoren eingefahren werden)									
	Datum	Experte	Komponentengruppe	Ausfall	Stark geschädigt	Schwach geschädigt	Sehr schwach geschädigt	Übertragbarkeitsfaktor	Ursachengleichheitsfaktor	Gleichzeitigkeitsfaktor
	24.11.2021	GRS-1	2	2	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-17	2	2	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-13	2	2	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-5	2	2	0	0	0	1	1	1
Bewertete Komponentenart:	Messungen Neutronenflussmessungen									
Bewertete Ausfallart:	Ausgangssignal beliebig									
Randbedingung	Anlagenzustand: Leistungsbetrieb									
	Datum	Experte	Komponentengruppe	Ausfall	Stark geschädigt	Schwach geschädigt	Sehr schwach geschädigt	Übertragbarkeitsfaktor	Ursachengleichheitsfaktor	Gleichzeitigkeitsfaktor
	24.11.2021	GRS-1	2	0	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-17	2	0	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-13	2	0	0	0	0	1	1	1
	24.11.2021	GRS-5	2	0	0	0	0	1	1	1

Abb. 4.1 Datensatz für die quantitative Bewertung eines ausgewählten GVA-Ereignisses

Da die betroffene Komponente nur beim Anfahren verwendet wird, kann dieses Ereignis nur beim Anfahren der Anlage auftreten und so nicht im Leistungsbetrieb erfolgen. Daher wurde das Ereignis mit zwei verschiedenen Randbedingungen bewertet.

5 Fortschreiben der GVA-Checkliste

Bei einem Hinweis auf ein GVA-Phänomen, werden üblicherweise Maßnahmen zur Vermeidung einer Wiederholung dieses Ereignisses ergriffen. Aus der deutschen Betriebserfahrung ergibt sich eine Reihe an bisher beobachteten Phänomenen, gegen die Vorsorge zu treffen ist. Zur systematischen und ganzheitlichen Übersicht über die beobachteten Phänomene wurde die GVA-Checkliste /GRS 10/, angelehnt an eine ähnliche Untersuchung der NRC /NUR 03a/, entwickelt.

Die GVA-Checkliste /GRS 10/ ist eine Zusammenfassung der deutschen Betriebserfahrung mit GVA-Phänomenen an aktiven verfahrenstechnischen Komponenten sowie an elektro- und leittechnischen Komponenten. In ihr werden die bisher beobachteten GVA-Phänomene systematisch geordnet, um eine Überprüfung der gegen die bisher bekannten GVA-Phänomene getroffenen Vorsorgemaßnahmen zu unterstützen.

In diesem Projekt ist die GVA-Checkliste um die beobachteten GVA-Phänomene im Berichtszeitraum 2011 bis 2018 ergänzt worden. Die Auswahl der Datensätze ist in Abschnitt 5.1 und ihre Klassifizierung 5.2 erläutert.

5.1 Datensätze in der GVA-Checkliste

Die im Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018 gefundenen Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken mit Hinweisen auf GVA an aktiven verfahrenstechnischen, elektro- und leittechnischen Komponenten wurden aus der WISBAS/GVA zusammengestellt und als Datensätze in die GVA-Checkliste übertragen.

Einträge in der GVA-Datenbank, bei denen das relevante GVA-Phänomen zuerst in einer Anlage entdeckt und bei daraufhin durchgeführten Überprüfungen in anderen Anlagen ebenfalls entdeckt wurde, werden zu einem Datensatz in der GVA-Checkliste zusammengefasst. Auf der anderen Seite werden Ereignisse mit demselben Phänomen aber einem zeitlichen Versatz zwischen dem Auftreten als getrennte Datensätze erfasst, da davon ausgegangen wird, dass nach dem ersten Auftreten des Phänomens Vorkehrungen gegen ein Wiederholen getroffen wurden. Bei dem zweiten Auftreten kommt also der Aspekt des Versagens von Vorkehrungen hinzu.

GVA-Ereignisse, die in mehreren Komponentengruppen zu Schädigungen geführt haben, sind in der Datenbank WISBAS/GVA für jede betroffene Komponentengruppe als

eigener Datensatz abgelegt. Dies ist erforderlich, da anhand der Datensätze die GVA-Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Komponentengruppen berechnet werden. Für die GVA-Checkliste ist dieses Vorgehen hingegen nicht sinnvoll, da hier die GVA-Phänomene dargestellt werden sollen. Daher werden in solchen Fällen die Datensätze in der WISBAS/GVA zu einem Datensatz in der GVA-Checkliste zusammengefasst.

Es werden Ereignisse als einzelner Datensatz zusammengefasst, wenn das Phänomen nahezu gleichzeitig komponentengruppen- oder sogar anlagenübergreifend aufgetreten ist. Hingegen werden zeitlich deutlich versetzt auftretende Ereignisse als getrennte Datensätze behandelt.

Einem Datensatz in der GVA-Checkliste wird zur Identifizierung des Ereignisses die GVA-Nummer aus der WISBAS/GVA zugeordnet. Bei zusammengefassten Datensätzen werden die weiteren GVA-Nummern ebenfalls erfasst. Außerdem wird der Ereigniszeitpunkt in Form von Monat und Jahr in die Checkliste übernommen.

Für jedes Ereignis wird eine Kurzbeschreibung im Hinblick auf das beobachtete GVA-Phänomen erstellt. Diese Beschreibung beinhaltet die Ursache bzw. die Ursachenkette und die beobachtete Ausfallart. Die Ausfallart kann nicht aus der WISBAS/GVA Datenbank übernommen werden, da diese dort im Hinblick auf die PSA-relevante Ausfallart hinterlegt wurde. So wird zum Beispiel eine beobachtete innere Leckage eines Ventils in der WISBAS/GVA als Ausfallart „schließt nicht“ geführt. Aus diesem Grund werden auch die Schädigungsgrade nicht aus der WISBAS/GVA übernommen, sondern gegebenenfalls in der Kurzbeschreibung qualitativ dargestellt.

Für den Betrachtungszeitraum vom 01.01.2011 bis 31.12.2018 wurden 146 Datensätze der GVA-Checkliste hinzugefügt. Die Datensätze wurden, wie im folgenden Abschnitt dargelegt, klassifiziert.

5.2 Klassifizierungsschema der GVA-Checkliste

Um auf einfache Weise GVA-Phänomene für verschiedene Fragestellungen zusammenstellen zu können werden die Datensätze der Checkliste in fünf Kategorien klassifiziert.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Ereignisse ist die betroffene Komponententart. Viele GVA-Phänomene sind spezifisch für eine bestimmte Komponententart, daher wird diese als erste Kategorie eingeführt. Darüber hinaus kommen gleiche

Komponenten in verschiedenen Systemen zum Einsatz. Daher wird das System als weitere Kategorie geführt. Die dritte Kategorie ist das betroffene Betriebsmittel, die Unterscheidung, ob bei dem Ereignis maschinentechnische, elektrotechnische oder leittechnische Betriebsmittel betroffen war.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, GVA-Phänomene nicht nur nach der betroffenen Komponente, sondern auch nach dem Fehler sortieren zu können. Daher ist in der vierten Kategorie „fehlerauslösende Tätigkeit“ eine grobe Ursachenklassifizierung des Ereignisses hinterlegt, indem der Tätigkeitsbereich identifiziert wird, bei dem der schadensauslösende Fehler aufgetreten ist.

Die fünfte Kategorie „fehlercharakteristische Merkmale“ beschreibt schlagwortartig die wichtigsten Merkmale und Begleitumstände des GVA-Phänomens. Einem Datensatz können hier auch mehrere passende Werte zugeordnet werden, um das Ereignis sinnvoll zu beschreiben.

5.2.1 Kategorie Komponentenart

Die Liste, der den Datensätzen zugeordneten Komponentenarten, ist primär basierend auf der Einteilung, welche bei der Berechnung von GVA-Daten für PSA verwendet wird. Da diese Liste aber nicht alle in der GVA-Checkliste erfassten Komponenten beinhaltet, enthält die Kategorie Komponentenart weitere Werte aus dem Betriebsmittelartenschlüssel des Kraftwerkskennzeichensystem (KKS).

Eine Liste der aktuell verwendeten Komponentenarten und die Anzahl der im Betrachtungszeitraum zugeordneten Datensätze befindet sich in Tab. 5.1. In der Kategorie Komponentenart wurde in diesem Vorhaben die Zuordnung „Sonstige“ neu aufgenommen.

Tab. 5.1 Komponentenarten in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum

Komponentenart	Häufigkeit
motorbetätigte Absperrarmaturen, allgemein	0
motorbetätigte Absperrschieber	1
motorbetätigte Absperrventile	13
motorbetätigte Absperrklappen	5
Rückschlagventile	3
Rückschlagklappen	6
Mehrwegeventile	0
Regelventile	1
FD-Abblase-Regelventile	1
eigenmediumbetätigte Absperrarmaturen	1
Sicherheitsventile (eigenmediumbetätigt)	0
Sicherheitsventile (federbelastet)	2
Vorsteuerventile (federbelastet)	0
Vorsteuerventile (hydraulisch betätigt)	0
Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	2
Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)	0
Vorsteuerventile (motorbetätigt)	0
Vorsteuerventile (Steuerleitung)	0
Handarmaturen	3
Lüftungsklappen	3
Brandschutzklappen	7
Feuerlöschventile	3
Ventilatoren	2
Kältemaschinen	1
Wärmetauscher	7
Verdichter	2
Kolbenpumpen	0
Kreiselpumpen	4
Batterien	2
Gleichrichter	3
Rotierende Umformer / Wechselrichter	2
Notstromdieselgeneratoren	19

Komponentenart	Häufigkeit
Transformatoren	1
Kabel	0
Leistungsschalter	2
Schränke, Unterverteiler	0
Relais, Schütze	2
Grenzwertgeber	1
Baugruppen	8
Brandmeldeeinrichtungen	3
Digitale Rechner/Software	3
Messungen: Druck-Messumformer	4
Messungen: Messumformer-Impulsleitungen	1
Messungen: Neutronenfluss	2
Messungen: Aktivität	6
Messungen: Temperatur	3
Messungen: sonstige	2
Steuerstäbe	3
Behälter	2
Füllstofffilter	0
Hubwerke	1
Bautechnische Komponenten	2
elektrotechnische Schutzeinrichtungen	1
Zahnradpumpen	0
Halterung	5
Sonstige	1

5.2.2 Kategorie System

Den in die Checkliste übertragenen Ereignisse wird jeweils das System zugeordnet, in dem das Ereignis aufgetreten ist. In der Checkliste werden Systeme im Vergleich zu den Systemklassifikationen in der WISBAS/GVA sinnvoll zusammengefasst, da diese für die GVA-Checkliste in einigen Fällen zu detailliert ist.

In der Vergangenheit /GRS 10/ hat sich gezeigt, dass einige Ereignisse in zwei Systemen auftraten. Bei diesen Ereignissen war in der Regel auch das Not- und Nachkühl-system betroffen, daher wurden diese Ereignisse dem Not- und Nachkühl-system

zugeordnet. Die weiteren Systeme wurden in der Kurzbeschreibung erwähnt. Ereignisse bei denen mehr als zwei Systeme betroffen waren, werden der Kategorie „Verschiedene“ zugeordnet.

Eine Liste der aktuell verwendeten Systeme und die Anzahl der im Betrachtungszeitraum zugeordneten Datensätze befindet sich in Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Kategorie Systeme in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum

System	Häufigkeit
Reaktordruckbehälter	0
Steuerstäbe und -antriebe	3
Zusatzborier- und Vergiftungssystem	0
Kern-Innenmesssystem	1
Körperschall-Überwachungssystem	0
Primärkühlmittelsystem	7
Druckhalte- und Abblasesystem	0
Sperrwasserversorgung	0
Volumenregelsystem	0
Kühlmittelversorgung, Deionat- Borsäure und Chemikalieneinspeisung	0
Kühlmittelreinigung und Kühlmittelaufbereitung (auch -verdampfung)	0
Behandlung radioaktiver Abfälle und Konzentrate, Abgassystem	7
Not- und Nachkühlsystem	7
Gebäudesprühsystem	0
BE-Beckenkühlsystem	1
Dampferzeuger	2
Dampferzeuger-Abschlammung	0
Frischdampfsystem	8
Dampfturbinenanlage	0
Kondensatsysteme	0
Speisewassersystem	0
Notspeisesystem	3
Hauptkühlwassersystem	0
Nebenkühlwassersystem	4
Zwischenkühlwassersystem	9
Kaltwassersysteme	0

System	Häufigkeit
gasführende Hilfs- oder Nebensysteme	0
lüftungstechnische Anlagen	15
stationäre Brandschutzsysteme	19
Krananlagen	1
Hochspannungserzeugung/-Verteilungen	4
Notstrom-Dieselmotorenanlage	26
Niederspannungs-Wechselstromerzeugung/-Verteilung	3
Gleichstromerzeugung/-Verteilung	3
Anlagen der Leittechnik	10
Mehrere Systeme	4
Sonstige	9

5.2.3 Kategorie Betriebsmittelklassifizierung

Die Unterscheidung in Betriebsmittelklassifizierung ergibt sich daraus, dass innerhalb einer aus verschiedenen Betriebsmitteln zusammengesetzten Komponente in der Regel ein Betriebsmittel fehlerauslösend ist. Um eine zusätzliche Abfragemöglichkeit nach Betriebsmittelkategorien zu schaffen, wird in dieser Klassifizierung das betroffene Betriebsmittel nach Maschinenteknik (M), Leittechnik (L) und Elektrotechnik (E) unterschieden und dem Ereignis eindeutig zugeordnet.

So muss zum Beispiel bei Fehlern mit Endschaltern dahingehend unterschieden werden, dass Fehler an Stellantrieben, den Drehmoment- und Wegendschaltern selber sowie eine Schwergängigkeit beim Herausfahren aus dem Sitz bei fehlender Drehmomentüberbrückung als maschinentechnischer Fehler gewertet werden; Fehler an der Einstellung der Drehmomentüberbrückung auf der Vorrangbaugruppe werden jedoch als leittechnische Fehler klassifiziert.

Eine Liste der Betriebsmittelklassifizierung und die Anzahl der im Betrachtungszeitraum zugeordneten Datensätze befindet sich in Tab. 5.3.

Tab. 5.3 Kategorie Betriebsmittel in der GRS-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum

Betriebsmittel	Häufigkeit
Elektrotechnik	16
Leittechnik	39
Maschinenteknik	91

5.2.4 Kategorie fehlerauslösende Tätigkeit

Jedes GVA-Phänomen kann auf eine oder mehrere Tätigkeiten zurückgeführt werden, bei der die Defizite aufgetreten sind, aufgrund derer das GVA-Phänomen schlussendlich ausgelöst wurde. Zur groben Ursachenklassifizierung werden die Ereignisse in vier Tätigkeitsbereiche eingeteilt. Entscheidend ist hierbei, bei welcher Tätigkeit der Schadensmechanismus hauptsächlich ausgelöst wurde.

Ereignisse der Klassifizierung „Auslegung/Konstruktion“ sind auf Schwächen bei der Auslegung oder der Konstruktion der betroffenen Komponente zurückzuführen. Außerdem werden Ereignisse, bei denen fehlende oder falsche Vorgaben die Hauptursache für Fehler bei Montage, Betrieb oder Instandhaltung waren, ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet.

Die Ereignisse, die bei korrekter Auslegung und Konstruktion einer Komponente durch Fehler im Herstellungsprozess ausgelöst wurden, werden der Kategorie „Herstellung“ zugeordnet. Darunter werden auch Tätigkeiten gezählt, bei denen eine Komponente oder ein System vor Ort aufgebaut wurden (der Wiederaufbau nach Instandhaltung ist hiervon ausgenommen).

In der Kategorie „Betriebsführung“ fallen alle Ereignisse, bei denen der Fehler durch die Wartemannschaft ausgelöst werden. Dies können beispielsweise fehlerhafte Freischaltmaßnahmen sein.

In die letzte Kategorie „Instandhaltung“ fallen alle Ereignisse, die durch Defizite bei Tätigkeiten während Instandhaltungsmaßnahmen ausgelöst worden sind. Darunter fallen auch Ereignisse, die bei Reinigungsmaßnahmen oder durch die Fachabteilungen Physik und Chemie ausgelöst worden sind.

Eine Liste der aktuell verwendeten Tätigkeiten und die Anzahl der im Betrachtungszeitraum zugeordneten Datensätze befindet sich in Tab. 5.4.

Tab. 5.4 Kategorie fehlerauslösende Tätigkeit in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum

Fehlerauslösende Tätigkeit	Häufigkeit
Herstellung	34
Auslegung/Konstruktion	39
Instandhaltung	63
Betriebsführung	10

5.2.5 Kategorie fehlercharakterisierende Merkmale

Die Kategorie „fehlercharakterisierende Merkmale“ stellt eine schlagwortartige Beschreibung der beobachteten GVA-Phänomene sowie eine der einhergehenden Begleitumstände. Auf diese Weise sollen generische Aspekte der Ereignisse herausgearbeitet werden und eine Selektion ähnlicher GVA-Phänomene ermöglichen. Die fehlercharakterisierenden Merkmale können aus unterschiedlichen Bereichen kommen (z. B. Auslegungsfehler, Handlungsfehler, Bauteilfehler) oder auch unterschiedlichen Detaillierungsgrad aufweisen (z. B. „Alterung“ oder „Einwirkungen aus Kleb- oder Schmierstoffen“). Daher werden einem Ereignis in der Regel auch mehrere fehlercharakterisierende Merkmale zugeordnet.

Das Vorgehen bei der Entwicklung der Werteliste der Kategorie „fehlercharakterisierende Merkmale“ kann /GRS 10/ entnommen werden. Es wurden häufiger beobachtete, für Ereignisse charakteristische Beschreibungen festgehalten. Ähnliche Beschreibungen wurden zusammengefasst, um eine überschaubare Werteliste zu erhalten. Auf der anderen Seite wurden undifferenzierte Kategorien (z. B. Prozeduren) durch präzisere Kategorien ersetzt. Die Ausnahme bildet hierbei die Kategorie „Alterung“, um so die Abfrage nach für das Alterungsmanagement relevante Ereignisse zu ermöglichen.

Im Folgenden sind in Tab. 5.5 die fehlercharakterisierenden Merkmale mit Häufigkeiten ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018 aufgeführt. Zur besseren Übersichtlichkeit sind sie grob nach den Themen „Fehler bei Vorgaben oder Handlungen“, „Fehler bei Bauteilen oder Betriebsstoffen“, „Fehler bei Auslegung oder Konstruktion“,

„Physikalische oder chemische Einwirkungen oder Effekte“, „Elektrische Einwirkungen“ und „Sonstige“ gegliedert und dann alphabetisch sortiert.

Tab. 5.5 Kategorie fehlercharakterisierende Merkmale in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum. Jedem Eintrag in der GVA-Checkliste können mehrere fehlercharakterisierende Merkmale zugeordnet werden.

Fehlercharakterisierende Merkmale	Häufigkeit
Fehler bei Vorgaben oder Handlungen	
falsche oder fehlende Vorgaben	17
Fehleinschätzung der Bedeutung von Meldungen	0
Fehleinstellung	7
Fehler im Konzept der vorbeugenden Instandhaltung	6
Fehler bei Freischaltmaßnahmen/Prüfungsdurchführung/Arbeitsauftragsverfahren	7
mangelhafter Schutz von Einrichtungen bei Arbeiten	1
Montagefehler	22
Prüfumfang, -auswertung, -methode oder -gerät unzureichend	15
Qualitätssicherungsmängel in mehreren Bereichen	25
unbemerkte Schädigung bei Instandhaltung	7
ungeeignete Anzugsmomente	3
ungeeignete Handlung/betriebliche Praxis	2
unzureichende Entlüftung/Füllung von Messsäulen	0
unzureichende Entwässerung	0
unzureichende IBS-Prüfung	2
unzureichende oder falsche Beschriftung	4
Vertauschung/Verwechslung	7
Verwendung von ungeeignetem Werkzeug oder Handhabungsfehler	2
Vorgabe/Spezifikation nicht beachtet	11
Fehler bei Bauteilen oder Betriebsstoffen	
Chargenfehler	3
Dichtungsprobleme	4
falsche/fehlerhafte Schweißverbindung	0
fehlendes oder ungeeignetes Schmiermittel	1
Fehlverdrahtung	1
Lötfehler	0

Fehlercharakterisierende Merkmale	Häufigkeit
mangelnde oder ungünstige Toleranzen	1
mangelhaftes/fehlendes/ungeeignetes Bauteil	15
mangelhaftes/ungeeignetes Ersatzteil	5
mangelhafte Einbauteil-, Schrauben-/Stiftsicherung	2
nicht bekannte Änderung in der Fertigung	2
Fehler bei Auslegung oder Konstruktion	
unzureichender Schutz unter Störfallbedingungen	3
Bedeutung betrieblicher Vorgänge/Komponenten nicht erkannt	0
Betrieb außerhalb der Spezifikation	1
Einfluss der System-/Betriebstemperatur oder Eigenerwärmung nicht ausreichend berücksichtigt	5
Logikfehler/Fehler im Plan	3
mögliche System-/Betriebszustände oder Fahrweisen nicht ausreichend berücksichtigt	11
mögliche Veränderungen durch Betrieb einer Komponente nicht ausreichend berücksichtigt	9
ungeeignet für geänderte Systemparameter	1
wirksame Kräfte nicht ausreichend berücksichtigt	10
Erkennbarkeit schlecht	2
nötige Einstellgenauigkeit konstruktionsbedingt schwer erreichbar	0
Umbau einer Komponente/eines Systems	7
ungeeigneter Werkstoff/ungünstige Materialpaarung	2
ungeeignetes Betriebsmedium	0
ungeeignete Grenzwerte	2
ungeeignete Instrumentierung	0
ungeeignete Kabelverbindung	0
ungeeignete technische Ausführung	0
ungünstige Leitungsführung	1
unzureichende Führung/Lagerung	1
unzureichende Schutzeinrichtungen	1
unzureichende/fehlende Entgasung, Ausdampfungen, Radiolysegas	0
Konstruktionsmangel führt zu Verklemmen/Verkleben	2
Fehler an Drehmoment- oder Wegendschaltern	1
Hysterese	0
unwirksame/fehlende Drehmomentüberbrückung	0

Fehlercharakterisierende Merkmale	Häufigkeit
Physikalische oder chemische Einwirkungen oder Effekte	
Alterung	22
Belagbildung	6
Eintrag von Fremdkörpern/Verschmutzungen	9
Schwingungen	10
Umgebungseinflüsse	2
Wasserschlag	0
Riss/Bruch	11
Verformung/Maßhaltigkeit	3
Eintrag von Chemikalien	6
Korrosion	7
Veränderung von Reibbeiwerten	1
Einwirkungen aus Kleb- oder Schmierstoffen	1
Verschleiß	10
Elektrische Einwirkungen	
Belastungen bei Schaltvorgängen nicht ausreichend berücksichtigt	0
elektromagnetische Einstreuung	0
Unterbrechung/Widerstandsänderung/Kurzschluss	4
Drift/Veränderung von Mess- oder Ansprechwerten	3
Sonstige	
Ereignis vor Beginn des kommerziellen Betriebs	0

5.3 Kurze Auswertung der GVA-Checkliste im Betrachtungszeitraum

Wie im Abschnitt 5.1 dargelegt, wurde die GVA-Checkliste mit 146 Einträgen aus dem Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018 erweitert. Zur Überprüfung der Konsistenz wird die relative Häufigkeit der Einträge in der Kategorie Betriebsmittel mit den entsprechenden relativen Häufigkeiten aus dem Bericht zur GVA-Checkliste aus dem Jahr 2010 /GRS 10/ verglichen. Der Vergleich zeigt, dass die relativen Häufigkeiten für Einträge in der Kategorie Betriebsmittel in der aktuellen Auswertung mit 11 % für Elektrotechnik im Vergleich zu 16 % im Bericht 2010, für Leittechnik mit 27 % im Vergleich zu 23 % und Maschinenteknik mit 62 % im Vergleich zu 62 % nahezu unverändert sind.

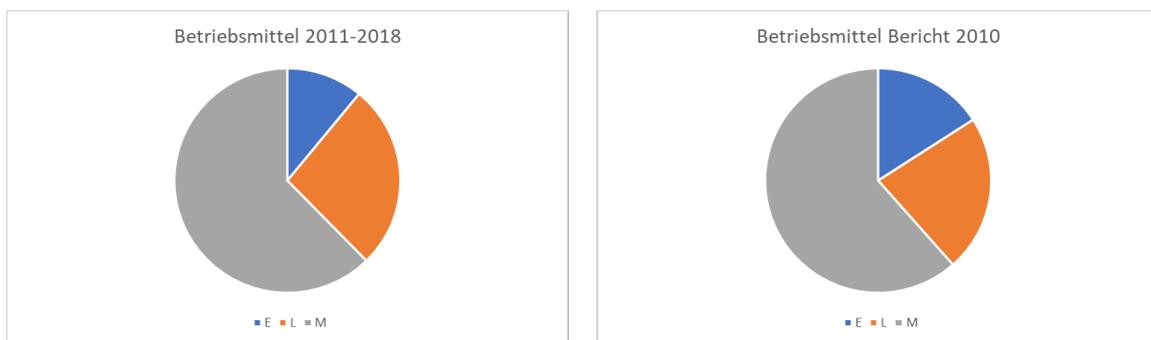


Abb. 5.1 Vergleich der Häufigkeiten der Betriebsmittel E(lektrotechnik), L(eittechnik) und M(aschinenteknik) im Berichtszeitraum und den Häufigkeiten im Bericht zur GVA-Checkliste im Jahr 2010 /GRS 10/

Ein Vergleich der relativen Häufigkeiten in der Kategorie „fehlerauslösende Tätigkeitsbereiche“ zeigt, dass im aktuellen Berichtszeitraum der Anteil von Fehlern durch Mängel bei Auslegung/Konstruktion deutlich geringer wurde. Der Bericht 2010 enthält Ereignisse aus deutschen Anlagen bis zum Jahr 2002. Dies kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass mit zunehmendem Alter der Kernkraftwerke systematische Fehler wegen Auslegungs- und Konstruktionsmängel seltener werden im Vergleich zu Fehlern bei der Instandhaltung. Die Verteilung der relativen Häufigkeiten in der Kategorie „fehlerauslösende Tätigkeitsbereiche“ kann Abb. 5.2 entnommen werden.

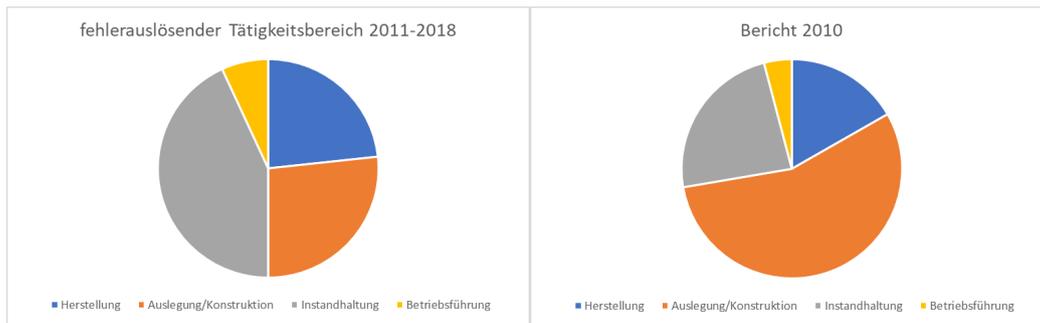


Abb. 5.2 Vergleich der fehlerauslösenden Tätigkeit im aktuellen Berichtszeitraum und dem Bericht 2010 /GRS 10/

Im Berichtszeitraum waren die in Tab. 5.6 aufgeführten Komponenten am meisten von GVA-relevanten Ereignissen betroffen. Mit 19 Einträgen wurden im Berichtszeitraum für Notstromdieselgeneratoren die meisten Einträge in der GVA-Checkliste erzeugt. Der fehlerauslösende Tätigkeitsbereich war in acht Fällen die Instandhaltung, in sechs Fällen die Herstellung und in fünf Fällen Auslegung/Konstruktion. Ein Blick in die fehlercharakteristischen Merkmale zeigt, dass hierbei insbesondere Montagefehler (fünf Einträge), aber auch Alterung, falsche oder fehlende Vorgaben, mangelhaftes/fehlerhaftes/ungeeignetes Bauteil, Riss/Bruch bzw. ungeeignete Anzugsmomente (alle jeweils drei Einträge) als Ursache vorliegen.

Für motorbetätigte Absperrventile zeigt sich ein ähnliches Bild. Von insgesamt 13 Einträgen entfallen zehn Einträge auf Instandhaltung und jeweils ein Eintrag auf Herstellung, Betriebsführung bzw. Auslegung/Konstruktion. Bei den fehlercharakteristischen Merkmalen überwiegen Alterung, wirksame Kräfte nicht ausreichend berücksichtigt, Verschleiß und Fehler im Konzept der vorbeugenden Instandhaltung mit jeweils drei Einträgen.

Dies zeigt, dass insbesondere bei häufig betroffenen Komponenten wie Notstromdieselgeneratoren oder Absperrventilen eine fehlerfreie Instandhaltung den meisten Ereignissen mit GVA-Potential vorbeugen kann.

Tab. 5.6 Komponenten in der Checkliste mit den meisten Einträgen im Berichtszeitraum

Komponentenart	Anzahl Einträge
Notstromdieselgeneratoren	19
Motorbetätigte Absperrventile	13
Baugruppen	8
Brandschutzklappen	7
Wärmetauscher	7

Die Auswertung der fehlercharakterisierenden Merkmale zeigt, dass im Berichtszeitraum mit Qualitätssicherungsmängel, Montagefehler und falsche oder fehlende Vorgaben (vgl. Tab. 5.7) Merkmale aus dem Bereich „menschliche und organisatorische Faktoren“ überwiegen. Außerdem sind Ereignisse mit dem Merkmal „Alterung“, auch dies hat organisatorische Aspekte hinsichtlich des Alterungsmanagements, relevant bei der Vermeidung von GVA-Ereignissen.

Tab. 5.7 Die fehlercharakterisierende Merkmale mit den meisten Einträgen in der GVA-Checkliste im Berichtszeitraum von 2011 bis 2018

Fehlercharakterisierende Merkmale	Anzahl Einträge
Qualitätssicherungsmängel in mehreren Bereichen	25
Montagefehler	22
Alterung	22
falsche oder fehlende Vorgaben	17
Prüfumfang, -auswertung, -methode oder -gerät unzureichend	15
mangelhaftes/fehlendes/ungeeignetes Bauteil	15

6 Integration der GVA-Wissensbasis

Die qualitativen und quantitativen Bewertungen von GVA-Ereignissen werden, wie in den Abschnitten zuvor dargelegt, in der WISBAS/GVA abgelegt. Für die Bearbeitung und Auswertung von meldepflichtigen Ereignissen in Deutschland betreibt die GRS außerdem die Wissensbasis „VERA“. In der VERA sollen alle Informationen bezüglich der Auswertung von meldepflichtigen Ereignissen gespeichert und dargestellt werden. Durch die Trennung von WISBAS/GVA und VERA lassen sich GVA-spezifische Informationen im Rahmen der Forschungsarbeiten der GRS auf dem Gebiet der Auswertung von meldepflichtigen Ereignissen nicht in optimaler Weise aus der VERA heraus abrufen.

Ein weiteres Ziel des Vorhabens war es deshalb, die Datenbanken miteinander zu verknüpfen, so dass ein gegenseitiger Aufruf der entsprechenden Daten möglich ist. Dazu wurde in der Ansicht der meldepflichtigen Ereignisse in VERA ein Feld, welches nun die verknüpfte GVA-Nummer anzeigt, eingefügt (vgl. Abb. 6.1). Über dieses Feld kann der entsprechende Datensatz der WISBAS/GVA aufgerufen werden. Analog dazu kann der VERA-Datensatz aus der WISBAS/GVA aufgerufen werden.

Abb. 6.1 Aufruf eines Ereignisses in der VERA

In den Ereignissen gibt es eine Verknüpfung mit der entsprechenden GVA-Nummer, sollte das Ereignis GVA-relevant sein. Durch Klicken auf diese Nummer wird der entsprechende Eintrag in der WISBAS/GVA aufgerufen.

Darüber hinaus wurde in die VERA eine Suchfunktion sowohl für WISBAS/GVA als auch für die GVA-Checkliste implementiert bzw. überarbeitet. Da in der WISBAS/GVA bereits eine benutzerfreundliche Suchmaske vorhanden war, wurde in der VERA nur eine direkte Aufrufmöglichkeit für diese Suchmaske implementiert. Für die GVA-Checkliste wurde eine benutzerfreundliche Suchmaske mit der Anwendungssoftware für die Benutzeroberfläche der VERA neu entwickelt und in der VERA implementiert. Die Suchmaske für die Suche in der GVA-Checkliste aus der VERA ist in Abb. 6.2 abgebildet.

The screenshot shows a search interface for 'GVA-Checkliste'. At the top, the title 'GVA-Checkliste' is displayed with a small blue icon. Below the title, the search criteria are organized as follows:

- GVA-Nr**: A text input field.
- von (dd.mm.yyyy)**: A date input field.
- bis (dd.mm.yyyy)**: A date input field.
- Phänomen**: A text input field with a 'Ünd' dropdown menu below it.
- Ursache**: A dropdown menu.
- Kompart**: A dropdown menu.
- System**: A dropdown menu.
- Betriebsmittel**: A dropdown menu.
- Merkmal**: A text input field with four 'Ünd' dropdown menus below it.

Abb. 6.2 Suchmaske für die GVA-Checkliste innerhalb der VERA-Datenbank

7 Zusammenfassung und Ausblick

Für den Betrachtungszeitraum vom 01.01.2011 bis zum 31.12.2018 wurde die Betriebserfahrung aus deutschen Leistungs- und Forschungsreaktoren anhand der 614 meldepflichtigen Ereignisse im Hinblick auf GVA-Relevanz ausgewertet. Von den Ereignissen wiesen 271 Ereignisse GVA-Relevanz auf. Für diese Ereignisse wurden Datensätze in der WISBAS/GVA angelegt oder Bestehende ergänzt.

Im Betrachtungszeitraum waren 59 Ereignisse GVA-Datensätze, für die eine quantitative Bewertung durchgeführt wurde. Die Ereignisse wurden in Expertenrunden diskutiert und anschließend unabhängig von den Experten bewertet.

Darüber hinaus wurden im Betrachtungszeitraum 146 Ereignisse mit Hinweisen auf GVA an aktiven verfahrenstechnischen, elektro- und leittechnischen Komponenten identifiziert. Die Ereignisse wurden klassifiziert und zur GVA-Checkliste hinzugefügt.

Die Erkenntnisse, sowohl aus der qualitativen als auch der quantitativen Bewertung von Ereignissen mit GVA-Relevanz, fließen nicht nur bei der Erstellung von probabilistischen Sicherheitsanalysen ein, sondern helfen auch bei der Bewertung von Ereignissen aus nationalen und internationalen Anlagen. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes die Zugriffsmöglichkeit auf die Informationen verbessert, indem die WISBAS/GVA und die Checkliste an die Datenbank VERA zur Auswertung von Ereignissen angebunden wurde.

Um die Informationen zu GVA-Ereignissen aktuell zu halten, soll die WISBAS/GVA und die GVA-Checkliste mit der weiteren Betriebserfahrung vom 01.01.2018 bis zum Abschalten der letzten Leistungsreaktoren in Deutschland im Jahr 2022 ergänzt werden. Um die gesammelten Informationen zu GVA-relevanten Ereignissen für eine zukünftige Nutzung aufzubereiten und zusammenzufassen, ist geplant alle Einträge einer generischen Analyse zu unterziehen. Es soll auf diese Weise ein Nachschlagewerk für Fragen bezüglich GVA erstellt werden.

Literaturverzeichnis

- /BfS 05/ Bundesamt für Strahlenschutz: Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: August 2005, Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, BfS-SCHR-38/05, Salzgitter, Oktober 2005.
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201011243838>
- /BfS 16/ Bundesamt für Strahlenschutz: Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: Mai 2015
Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, BfS-SCHR-61/16, Salzgitter, September 2016.
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091314090>
- /GRS 01/ von Linden, Joachim; Löffler, Horst; Müller-Ecker, Dieter; Verstegen, Claus
Bewertung des Unfallrisikos fortschrittlicher Druckwasserreaktoren in Deutschland – Methoden und Ergebnisse einer umfassenden Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH; GRS-175 Oktober 2001
- /GRS 04/ Kreuser, A., Heinsohn, H., Verstegen, C.: Weiterentwicklung der Datenbasis für Gemeinsam Verursachte Ausfälle (GVA); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH; Köln, April 2004.
- /GRS 07/ Holtschmidt, H., Kreuser, A., v. Linden, J., Löffler, H., Sonnenkalb, M., Wienenberg, A.: Erprobung und Bewertung der Methoden einer PSA für SWR Anlagen der Baulinie 69 nach Stand von Wissenschaft und Technik (PSA SWR 69), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3291, Köln, 2007.
- /GRS 10/ Kreuser, A., Stiller, J., Voelskow, J.: Entwicklung einer Checkliste mit GVA-Phänomenen zur Überprüfung der in den deutschen Kernkraftwerken getroffenen Vorsorgemaßnahmen gegen GVA, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3546, Köln, 2010.

- /GRS 11a/ Kreuser, A., Leberecht, M., Verstegen, C.: Weiterentwicklung der Datenbasis für Gemeinsam Verursachte Ausfälle (1. Ergänzung AG 1930/2), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, April 2011.
- /GRS 13/ Brück, B., Kreuser, A., Leberecht, M., Simon, J., Stiller, J., Verstegen, C.: Weiterentwicklung der Datenbasis für Gemeinsam Verursachte Ausfälle (3. Ergänzung AG 1930/4); Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, Juni 2013.
- /GRS 16/ Buchholz, M., Kreuser, A., Wetzel, N.: Erweiterung der GVA-Checkliste um GVA-Phänomene an Armaturen und großen maschinentechnischen Komponenten (Pumpen, Notstromdiesel, Lüfter, Wärmetauscher und Kältemaschinen), Technischer Bericht, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, Mai 2016.
- /GRS 18a/ Brück, Benjamin; Kreuser, Albert; Voß, Dirk; Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE 2014 bis 2017 – Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen im Rahmen einer internationalen Expertengruppe; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-447, März 2018
- /GRS 20/ Brück, Benjamin, Foldenauer, Marc, Homann, Michael, Lambertus, Christian, Kreuser, Albert; Internationales GVA-Datenaustauschprojekt ICDE 2017 bis 2020 – Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen im Rahmen einer internationalen Expertengruppe; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-4002, Juli 2020
- /KRE 01/ Kreuser, Albert., Peschke, Jörg: Coupling Model: A Common-Cause-Failure Model with Consideration of Interpretation Uncertainties, Nuclear Technology Vol. 136, 2001
- /NEA 11/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA); International Common Cause Failure Data Exchange, (ICDE): General Coding Guidelines – Updated Version, NEA/CSNI/R(2011)12, Paris, 2011.

- /NEA 15/ (ICDE) Project Report ; Workshop on Collection and Analysis of Common-Cause Failures due to External Factors; Nuclear Safety, NEA/CSNI/R(2015)17, October 2015
<https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2015/csni-r2015-17.pdf>
- /NEA 17/ (ICDE) Project Report ; Workshop on the Collection and Analysis of Emergency Diesel Generator Common-Cause Failures Impacting Entire Exposed Populations; Nuclear Safety, NEA/CSNI/R(2017)8, August 2017
<https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2017/csni-r2017-8.pdf>
- /NPG 16/ Nordiska PSA Gruppen (NPSAG), C-Book CCF Reliability Data Book Part 1, NPSAG Rapport 44-002:1.
http://www.npsag.org/dokumentarkiv/44-002/npsag_report_-_44-002-01_c-book_part_1.pdf
- /NRC 10/ U.S. Nuclear Regulatory Commission, CCF Parameter Estimations 2010.
<https://nrcoe.inl.gov/resultsdb/publicdocs/CCF/ccfparamest2010.pdf>
- /NUR 03a/ Wierman, T.E., Rasmuson, D.M. und Stockton, N.B.: Common-Cause Failure Event Insights. Volume 1 – Emergency Diesel Generators, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6819, INEEL/EXT-99-00613 Bd. 1, März 2003
- /NUR 03b/ Wierman, T.E., Rasmuson, D.M. und Stockton, N.B.: Common-Cause Failure Event Insights. Volume 2 – Motor-Operated Valves, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6819, INEEL/EXT-99-00613 Bd. 2, März 2003
- /NUR 03c/ Wierman, T.E., Rasmuson, D.M. und Stockton, N.B.: Common-Cause Failure Event Insights. Volume 3 – Pumps, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6819, INEEL/EXT-99-00613 Bd. 3, März 2003
- /NUR 03d/ Wierman, T.E., Rasmuson, D.M. und Stockton, N.B.: Common-Cause Failure Event Insights. Volume 4 – Circuit Breakers, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6819, INEEL/EXT-99-00613 Bd. 4, März 2003

/TÜV 81/ Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke; Fachband 2 / II Zuverlässigkeitsanalyse; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie; Verlag TÜV Rheinland, Bonn 1981

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1	Datensatz für die quantitative Bewertung eines ausgewählten GVA-Ereignisses	41
Abb. 5.1	Vergleich der Häufigkeiten der Betriebsmittel E(lektrotechnik), L(eittechnik) und M(aschinentechnik) im Berichtszeitraum und den Häufigkeiten im Bericht zur GVA-Checkliste im Jahr 2010 /GRS 10/	55
Abb. 5.2	Vergleich der fehlerauslösenden Tätigkeit im aktuellen Berichtszeitraum und dem Bericht 2010 /GRS 10/	56
Abb. 6.1	Aufruf eines Ereignisses in der VERA.....	59
Abb. 6.2	Suchmaske für die GVA-Checkliste innerhalb der VERA-Datenbank.....	60

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1	Meldepflichtige Ereignisse aufgeschlüsselt nach Anlage und Jahr für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018.....	14
Tab. 3.2	Anzahl der angelegten bzw. ergänzten GVA-Datensätze für Ereignisse im Betrachtungszeitraum 2011 bis 2018.....	17
Tab. 3.3	Definition von Komponentengrenzen	21
Tab. 4.1	Quantitativ zu bewertende Datensätze in der WISBAS/GVA nach Selektierung.....	30
Tab. 4.2	Skala für den Ursachengleichheitsfaktor nach /GRS13/.....	38
Tab. 5.1	Komponentenarten in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum	46
Tab. 5.2	Kategorie Systeme in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum	48
Tab. 5.3	Kategorie Betriebsmittel in der GRS-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum	50
Tab. 5.4	Kategorie fehlerauslösende Tätigkeit in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum.....	51
Tab. 5.5	Kategorie fehlercharakterisierende Merkmale in der GVA-Checkliste und die Häufigkeit ihres Auftretens im Betrachtungszeitraum. Jedem Eintrag in der GVA-Checkliste können mehrere fehlercharakterisierende Merkmale zugeordnet werden.....	52
Tab. 5.6	Komponenten in der Checkliste mit den meisten Einträgen im Berichtszeitraum.....	57
Tab. 5.7	Die fehlercharakterisierende Merkmale mit den meisten Einträgen in der GVA-Checkliste im Berichtszeitraum von 2011 bis 2018	57

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

Schwertnergasse 1
50667 Köln

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

85748 Garching b. München

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

10719 Berlin

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

38122 Braunschweig

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de