

Entwicklung fortschrittlicher Methoden zur Identifizierung von Gruppen von Komponenten mit GVA-Potenzial und zur Bewertung von teilweiser Diversität

Entwicklung fort- schrittlicher Methoden zur Identifizierung von Gruppen von Komponenten mit GVA-Potenzial und zur Bewertung von teilweiser Diversität

Moritz Leberecht
Jan Christopher Stiller
Andreas Wielenberg
Gerhard Gänßmantel
Albert Kreuser

Mai 2015

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende F&E-Vorhaben RS1198 „Fortschrittliche Methoden und Werkzeuge für probabilistische Sicherheitsanalysen“ wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) durchgeführt.

Die Arbeiten wurden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH ausgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

Deskriptoren

Betriebserfahrung, gemeinsam verursachter Ausfall, GVA, PSA, übergreifender gemeinsam verursachter Ausfall

Kurzfassung

Die Sicherheit von Kernkraftwerken kann durch solche Ereignisse erheblich beeinflusst werden, bei denen aufgrund einer gemeinsamen Ursache Nicht-Verfügbarkeiten von mehreren Redundanten eines Systems auftreten. Solche Ereignisse werden als gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA) bezeichnet. Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) moderner Kraftwerke haben gezeigt, dass insbesondere bei höher redundanten Systemen Systemfunktionsausfälle aufgrund von GVA dominierend gegenüber Systemfunktionsausfällen aufgrund mehrerer unabhängiger Ausfälle sein können, obwohl GVA-Ereignisse in der Betriebserfahrung relativ selten auftreten.

Eine wesentliche Fragestellung bei der probabilistischen Behandlung von GVA ist, für welche Komponenten grundsätzlich GVA unterstellt werden müssen und welche Komponenten als potentiell gleichzeitig von einem GVA betroffene Komponentengruppe zusammengefasst werden. Für die Bildung solcher Komponentengruppen existieren u. a. in dem deutschen PSA-Leitfaden ergänzenden Fachband zu „Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke“ entsprechende Regeln. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorgaben RS1198 wurde untersucht, wo in bisher durchgeführten PSA GVA unterstellt wurden und in welchem Umfang und mit welcher Begründung im Rahmen dieser PSA von den Regeln zur Komponentengruppenbildung abgewichen wurde. Weiterhin wurde die bestehende Betriebserfahrung ausgewertet, um herauszufinden, inwieweit die Auswirkungen von in der Praxis beobachteten GVA-Ereignissen den Annahmen zur Bildung von Komponentengruppen aus den Regelwerken entsprechen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Vorgehen in Bezug auf Ausfälle aus gemeinsamer Ursache in den ausgewerteten PSA weitestgehend in Übereinstimmung mit den Anforderungen des PSA-Methodenbandes ist. Bei den wenigen ermittelten Ausnahmen ließ sich an Hand der Betriebserfahrung und der verfahrenstechnischen Randbedingungen nachvollziehen, weshalb hier abweichend vorgegangen wurde. Überwiegend lag bereits zum damaligen Zeitpunkt Betriebserfahrung vor, durch die die Annahme von GVA, die über die üblichen Komponentengruppengrenzen hinausgehen, zu rechtfertigen war.

Zur Untersuchung komponentengruppenübergreifender GVA, also solchen GVA, die gleichzeitig Komponenten betrafen, die gemäß Regelwerk in unterschiedliche Komponentengruppen einzuteilen gewesen wären, sowie zur Untersuchung von GVA mit Teildiversitäten, also von GVA, die auf einige Komponenten einer Komponentengruppe nicht übertragbar waren, wurde folgende Methodik erarbeitet und beispielhaft erprobt:

- Schritt 1: Auswertung der GVA-Betriebserfahrung mit Komponenten, die in PSA betrachtet werden
 - Selektion relevanter GVA-Ereignisse mit komponentengruppenübergreifenden Auswirkungen bzw. begrenzten Auswirkungen aufgrund teildiversitärer Eigenschaften
- Schritt 2: Ingenieurtechnische Beurteilung des übergreifenden/teildiversitären Charakters der Ereignisse
 - Geeignete Gruppierung der Ereignisse nach gleichen Komponentenarten bzw. Komponententeilen, die von komponentengruppenübergreifenden GVA-Phänomenen betroffen waren
 - Auswahl potentiell relevanter Komponenten, die zusätzlich zur bisherigen Modellierung zu neuen Komponentengruppen zusammengefasst werden könnten
- Schritt 3: Ingenieurtechnische Beurteilung der Auswirkungen einer geänderten PSA-Modellierung für die ausgewählten Komponenten und Identifizierung geeigneter Kandidaten für eine erweiterte GVA-Modellierung
- Schritt 4: Definition eines geeigneten und praktikablen Ansatzes für die Modellierung in der PSA in Abhängigkeit von Art und Größe der zusätzlichen Komponentengruppen
 - Quantifizierung der zusätzlich erforderlichen GVA-Wahrscheinlichkeiten

Unter Anwendung dieser Methodik wurde die GVA-Datenbank der GRS hinsichtlich der betroffenen Komponenten der in der Betriebserfahrung beobachteten GVA exemplarisch ausgewertet. Hier wurde eine größere Menge an GVA-Ereignissen gefunden, bei denen Komponenten betroffen waren, die gemäß den etablierten Regeln zur Komponentengruppenbildung nicht in einer gemeinsamen Gruppe zusammengefasst worden wären. GVA, bei denen Teildiversitäten innerhalb der betroffenen Komponentengruppen vorhanden waren, wurden nur in einem relativ geringen Umfang gefunden.

Aus den Ergebnissen lassen sich direkt für bestimmte Komponenten oder Teile von Komponenten Hinweise zur besseren Modellierung in zukünftigen PSA ableiten. Es wird empfohlen, dass zusätzlich zu den üblichen GVA-Komponentengruppen die folgenden komponentengruppenübergreifenden GVA zu betrachten sind:

- Gemeinsame Ausfälle für alle Komponenten eines Armaturentyps,
- gemeinsame Ausfälle für Stellantriebe von Armaturen,
- gemeinsame Ausfälle für alle Batterien,
- gemeinsame Ausfälle für magnetbetätigte Vorsteuerventile von Lüftungsarmaturen,
- gemeinsame Ausfälle der Vorsteuerventile der Frischdampfsicherheitsarmaturenstation, ggf. mit Einschränkungen je nach Ansteuerungsprinzip,
- gemeinsame Ausfälle der Druckhaltervorsteuerventile, sowie der Druckhalter-Hauptarmaturen,
- gemeinsame Ausfälle von Relaisbaugruppen entsprechend der in der Ereignisbewertung bereits verwendeten Methode zur Gruppierung von Relais,
- gemeinsame Ausfälle für die Schalter einer Spannungsebene,
- gemeinsame Ausfälle für die Schalter von Komponenten mit erhöhten Einschaltströmen,
- gemeinsame Ausfälle für D1- und D2-Diesel,
- gemeinsame Ausfälle für Messumformer des gleichen Typs,
- gemeinsame Ausfälle für Gleichrichter des D1- und D2-Netzes oder zumindest innerhalb einer Spannungsebene,
- gemeinsame Ausfälle für Ventilatoren des gleichen Typs.

Es wurde weiterhin untersucht, ob durch Änderung der Regeln zur Bildung von Komponentengruppen erreicht werden kann, dass GVA prinzipiell nur innerhalb einer Komponentengruppe auftreten können. Es konnte gezeigt werden, dass dies grundsätzlich nicht möglich ist.

Um den quantitativen Einfluss von solchen übergreifenden GVA auf PSA-Ergebnisse zu erfassen, wurde ein existierendes PSA-Modell erweitert. Die numerischen Ergebnisse der bisherigen Modellierung, bei der keine übergreifenden GVA der D1- und D2-Notstromdiesel berücksichtigt worden waren, wurden mit einer Modellierung verglichen, bei der übergreifenden GVA berücksichtigt wurden indem alle D1- und D2-Notstromdiesel einer GVA-Gruppe zugeordnet wurden. Es zeigte sich, dass sich dadurch die Häufigkeit von Gefährdungszuständen wesentlich erhöht. Der Einfluss auf die Kernschadenzustände ist im konkreten Beispiel deutlich geringer, da Notfallmaßnahmen eine entsprechende Weiterentwicklung verhindern können. Bei einem übergreifenden Ausfall anderer Komponenten (z. B. der Batterien, für die ebenfalls entsprechende Ereignisse beobachtet wurden) ist davon auszugehen, dass auch die Durchführbarkeit von Notfallmaßnahmen wesentlich beeinflusst wird und daher auch die Kernschadenswahrscheinlichkeit erheblich steigt.

Die Untersuchungen zeigten auch, dass die bisherigen Modellierungs- und Quantifizierungsverfahren zur umfassenden Berücksichtigung übergreifender GVA nicht geeignet sind. Insbesondere wenn sehr viele Komponenten von einem gemeinsam verursachten Ausfall betroffen sein können (z. B. da sie identische Betriebsmittel wie Schalter oder Antriebe umfassen) wird die Anzahl von zu berücksichtigenden Basisereignissen so groß, dass PSA-Rechnungen nicht mehr durchgeführt werden können. Die Entwicklung neuer Methoden zur Modellierung und Quantifizierung solcher komponenten-gruppenübergreifender GVA ist daher notwendig. Es wurden zwei Ansätze entwickelt und diskutiert, auf denen eine zukünftige mathematische Modellierung aufbauen könnte. Zum einen handelt es sich dabei um den Ansatz, die feste Zugehörigkeit von Komponenten zu einer Komponentengruppe aufzugeben. Komponenten können mehreren GVA-Gruppen angehören, die jeweils die Menge der Komponenten beschreiben, die von bestimmten GVA-Phänomenen betroffen sein können. Zum anderen handelt es sich um einen Ansatz, der darauf basiert, die Algorithmen zur Quantifizierung PSA-Modelle so zu modifizieren, dass komponentengruppenübergreifende GVA berücksichtigt werden.

Abstract

The safety of nuclear power plants can be significantly affected by events with more than one redundant component being unavailable due to a common cause. Such events are called common cause failures (CCF). Although CCF are rare events, Probabilistic safety analyses (PSA) of modern nuclear power plants have shown that, particularly for systems with a high degree of redundancy, the unavailability due to CCF may be dominant in comparison to those due to independent failures.

What components are being susceptible to CCF in general and what components should be arranged into component groups potentially being susceptible to CCF are important questions in CCF modelling. Rules for defining such component groups are for example given in the technical document on PSA methods supplementing the German PSA Guide. In the research and development project RS1198 sponsored by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) research has been carried out, for which components CCF have so far been assumed and to what extent and with which reasoning deviations from the rules for defining CCF groups have been observed. Moreover, the existing operating experience has been analysed in order to find out in how far the observed CCF corresponds to the assumptions made in the guidelines with respect to determining CCF components groups.

The investigations have shown that the approaches in those PSA analysed with respect to common cause failures are in good agreement with the requirements of the technical document on PSA methods. Only few variations were found. For these it was possible to comprehend why different approaches were applied. In the majority of cases, operating experience available at the time when the PSA was carried out suggested the assumption of CCF exceeding the usual CCF groups.

For the investigation of CCF exceeding usual component group definitions and for the analysis of partial diversity within CCF groups the following methodology has been developed and tested:

- Step 1: Analysis of the CCF operating experience for components considered in PSA

- Selection of relevant CCF events with consequences not limited to one component group or with limited consequences due to partly diverse features
- Step 2: Engineering judgment with respect to the event characteristics that cause the exceedance of usual component group definitions or partial diversity
 - Grouping of the events depending on the component type or the type of the part of the components which have been impaired by the CCF phenomenon
 - Determination of potentially relevant components which, in addition to the present modelling, may be assigned to new component groups.
- Step 3: Engineering judgment of the consequences of a modified PSA modelling for the selected components and identification of suitable candidates for an extended CCF modelling
- Step 4: Definition of a suitable and feasible approach for modelling CCF within PSA depending on type and size of the additional component groups
 - Quantification of the additionally needed CCF probabilities

Applying the above mentioned approach, the CCF database of GRS has been analysed. A considerable number of CCF events has been found where components were affected that would not have been assigned to a common component group according to the established rules. The number of CCF events with partial diversities within the groups of affected components is quite low.

From these results approaches for the improvement of CCF modelling in future PSA can be derived. It is recommended to consider the following CCF in addition to the typically hitherto modelled CCF:

- Common failures of all components of the same type of valves
- Common failures of actuators of valves
- Common failures of all batteries
- Common failures of solenoid-operated pilot valves in the ventilation systems
- Common failures of pilot valves of the main steam valve stations, if applicable with limitations depending on the actuation principle

- Common failures of pressurizer pilot valves and pressurizer main valves
- Common failures of relay assemblies according to the method already applied for grouping of relays in the assessment of events
- Common failures of breakers of the same voltage level
- Common failures of breakers of components with higher start-up currents
- Common failures of D1 and D2 diesel generators
- Common failures of transducers of the same type
- Common failures of rectifiers of the D1 and D2 grid or, as a minimum, of the same voltage level
- Common failures of ventilators of the same type

In addition, an analysis has been carried out whether the rules for the formation of CCF groups could be modified such that CCF may only affect components assigned to one group. It could be shown that this principally is not achievable.

To quantitatively assess the possible influence of CCF exceeding present CCF groups on PSA results an existing PSA has been modified. It has been found that the possible impact may be large. If a CCF of all emergency diesel generators (“normal” EDGs and partly diverse additional emergency diesels for beyond design basis accidents driving generators and emergency feedwater pumps) is taken into account by assigning all emergency diesel generators to one group the estimated frequency of hazard states increases significantly. For that specific example, the effect on the core damage frequency is much lower because accident management measures may prevent a progression from a hazard state to a core damage state. It can be expected that if CCF exceeding present CCF groups of components of other types (e.g. batteries – for these also CCF events exceeding present CCF groups have been observed) are also modeled the feasibility of accident management measures is also affected and hence the estimated core damage frequency is also increased significantly.

The research also provided the insight that the present modelling and quantification approaches are not suitable for all CCF exceeding present CCF groups. In particular, for large groups of components susceptible to a common cause failure (e.g. all components containing some identical subcomponent like a specific type of switch or actua-

tor) the number of the basic events which need to be considered in the present approach would be too large to be handled. It is therefore necessary to develop new methods for the modelling and quantification of CCF exceeding present component groups. Two modelling approaches have been developed which may be the basis for future research on the mathematical modelling of such CCF in PSA. In one of these approaches, the components may no longer belong only to exactly one component group but to multiple groups which represent the different sets of components susceptible to specific CCF phenomena. The other approach is based on substituting the explicit modelling of all CCF by a modification of the PSA quantification algorithms such that CCF potentially affecting very large numbers of components are quantitatively accounted.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Definitionen von Begriffen und Definitionen der Komponentengrenzen	3
2.1	Begriffe	3
2.2	Komponentengrenzen ausgewählter Komponenten.....	5
3	Bestehende nationale und internationale Ansätze und Regeln zur Bildung von GVA-Komponentengruppen	9
3.1	Veröffentlichungen des Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke).....	9
3.2	Vorgehensweise der GRS für die PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb eines Druckwasserreaktors.....	10
3.3	Richtlinien der U.S. NRC zur Modellierung von GVA in PSA	10
3.4	Empfehlungen der IAEA zur Durchführung von GVA-Analysen in PSA....	11
4	Auswertung der GVA-Komponentengruppenbildung in den PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb zweier Druckwasserreaktoren	13
4.1	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Bildung von Komponentengruppen	13
4.2	Beschreibung der gebildeten GVA-Komponentengruppen nach Systemen	14
4.2.1	Brennelement-Beckenkühlsystem.....	14
4.2.2	Deionatversorgung	16
4.2.3	Zusatzboriersystem und vergleichbare Systeme.....	17
4.2.4	Reaktorschutzmessungen und Leittechnik.....	19
4.2.5	Primärseitige Druckabsicherung	21
4.2.6	Not- und Nachkühlsystem und vergleichbare Systeme	21
4.2.7	Nukleare und gesicherte Zwischenkühlkreise	28

4.2.8	Gesichertes und nukleares Nebenkühlwasser	32
4.2.9	Speisewasser- und Notspeisewassersysteme	35
4.2.10	Frischdampfsystem.....	39
4.2.11	Volumenregelsystem	42
4.2.12	Borsäure- und Deionateinspeisung	44
4.2.13	Lüftungsanlagen	45
4.2.14	Gebäudeabschlussarmaturen in verschiedenen betrieblichen Systemen	46
4.2.15	Notstromanlagen	47
4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	50
4.3.1	Bereits unterstellte komponentengruppenübergreifende Ausfälle	50
4.3.2	Vergleich der in der PSA unterstellten GVA mit beobachteten GVA aus der GVA-Datenbank der GRS.....	52
5	Auswertung der GVA-Datenbank im Hinblick auf komponentengruppenübergreifende GVA-Phänomene.....	59
5.1	Ausschlusskriterien für eine weitere Auswertung	62
5.1.1	Fehlende Gleichzeitigkeit.....	62
5.1.2	Nicht funktionsgefährdende Befunde	65
5.1.3	Inbetriebsetzungsereignisse	68
5.1.4	Ausfälle in Komponenten ohne etablierte probabilistische Modellierung von gemeinsam verursachten Ausfällen in der PSA der Stufe 1	68
5.1.5	Gefährdungszustand durch vollständigen Ausfall einer einzelnen Komponentengruppe	69
5.2	Auswertung.....	71
5.2.1	Betrachtung der betroffenen Systeme.....	81
5.2.2	Auswertung nach Komponentenart für komponentengruppenübergreifende Ereignisse.....	84
6	Auswertung der GVA-Datenbank im Hinblick auf Teildiversität innerhalb der betroffenen Komponentengruppe.....	113
6.1	Zusammenfassung gefundener diversitärer Aspekte	113

7	Untersuchung der Ergebnisrelevanz komponenten- gruppenübergreifender GVA.....	117
7.1	Auswahl der komponentenübergreifenden Gruppen	117
7.2	Beispielhafte Betrachtung der quantitativen Auswirkungen übergreifender GVA.....	121
7.2.1	Beispiel 1	122
7.2.2	Beispiel 2.....	125
7.2.3	Fazit.....	128
7.3	Beispielhafte Modellierung übergreifender GVA	129
7.3.1	Randbedingungen der Modellierung	129
7.3.2	GVA-Wahrscheinlichkeiten für D1-/D2-Diesel	135
7.3.3	GVA-Basisereignisse.....	136
7.3.4	Fehlerbaum-Modellierungen	136
7.3.5	Vergleich der Ergebnisse für separate GVA-Gruppen und übergreifenden GVA.....	146
7.3.6	Zusammenfassung	163
8	Kriterien für die Bildung von GVA-Komponentengruppen	167
8.1	Einfluss der Wahl der Komponentengruppen auf die Beobachtung von komponentengruppenübergreifenden GVA und GVA mit Teildiversitäten	167
8.2	Methodik zur Bestimmung von komponentengruppenübergreifenden GVA.....	170
9	Modelle zur Bewertung von Teildiversität und übergreifenden GVA bei der quantitativen Bewertung von GVA-Ereignissen.....	173
9.1	Quantitativer Ansatz zur Berücksichtigung übergreifender GVA: Ansatz 1	173
9.2	Quantitativer Ansatz zur Berücksichtigung übergreifender GVA: Ansatz 2	178
9.3	Sonstige Ansätze.....	180
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	181

	Literaturverzeichnis	185
	Abbildungsverzeichnis	189
	Tabellenverzeichnis	193
	Abkürzungen	195
A	Erwartungswerte von Basisereignissen	197
B	Beschreibung der identifizierten komponentengruppenübergreifenden GVA-Phänomene.....	209
C	Beschreibung der identifizierten GVA-Phänomene mit teildiversitären Aspekten	265

1 Einführung

Die Sicherheit von Kernkraftwerken kann durch solche Ereignisse erheblich beeinflusst werden, bei denen aufgrund einer gemeinsamen Ursache Nicht-Verfügbarkeiten von mehreren Redundanten eines Systems auftreten. Solche Ereignisse werden als gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA) bezeichnet. Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) moderner Kraftwerke haben gezeigt, dass insbesondere bei höher redundanten Systemen Systemfunktionsausfälle aufgrund von GVA dominierend gegenüber Systemfunktionsausfällen aufgrund mehrerer unabhängiger Ausfälle sein können, obwohl GVA-Ereignisse in der Betriebserfahrung relativ selten auftreten.

Eine wesentliche Fragestellung bei der probabilistischen Behandlung von GVA ist, für welche Komponenten grundsätzlich GVA unterstellt werden müssen und welche Komponenten als potentiell gleichzeitig von einem GVA betroffene Komponentengruppe zusammengefasst werden. Weiter stellt sich die Frage, wie bei Komponenten, die sich nur in gewissen Teilaspekten gleichen, zu verfahren ist. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Arbeiten, die im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens RS1198 zu diesen Fragestellungen durchgeführt wurden, zusammen.

Im Kapitel 2 werden zunächst die im folgenden Bericht verwendeten Begriffe definiert. Ebenso werden die bei der Betrachtung der Komponenten und der Bildung der Komponentengruppen verwendeten technischen Grenzen der Komponenten aufgeführt. Kapitel 3 gibt dann einen kurzen Überblick über einige nationale und internationale Ansätze zur Bildung von Komponentengruppen.

In Kapitel 4 werden zwei probabilistische Sicherheitsanalysen, die die GRS in der Vergangenheit für zwei deutsche Druckwasserreaktoren erstellt hat, hinsichtlich der dabei verwendeten GVA-Komponentengruppen untersucht. Ein Vergleich mit den in Kapitel 3 vorgestellten Ansätzen zeigt, dass bereits damals auf Grund der bestehenden Betriebserfahrung komponentengruppenübergreifende GVA unterstellt wurden. Die deutsche Betriebserfahrung mit GVA ist in der GVA-Datenbank der GRS gespeichert (siehe z. B. /HOL 06/ und /KRE 10/). Aus einem Abgleich der Komponentenarten, an denen damals GVA unterstellt wurden, mit den Komponentenarten, für die nach aktuellem Stand der Auswertung der Betriebserfahrung GVA beobachtet wurden, werden Ansätze für zukünftig zu modellierende GVA abgeleitet.

In Kapitel 5 wird die GVA-Datenbank hinsichtlich komponentengruppenübergreifender GVA ausgewertet. Dabei werden Einflussfaktoren identifiziert, die zu den komponentengruppenübergreifenden Auswirkungen führten. In Kapitel 6 werden analog dazu GVA und Einflussfaktoren betrachtet, bei denen Teildiversitäten innerhalb der Komponentengruppe die Übertragbarkeit einschränken.

In Kapitel 7 wird der tatsächliche Einfluss komponentengruppenübergreifender GVA auf die PSA-Ergebnisse untersucht. Dazu werden zunächst theoretische Überlegungen angestellt, unter welchen Bedingungen übergreifende GVA von Komponentengruppen grundsätzlich einen relevanten Beitrag zur Unverfügbarkeit von Systemen liefern können. Dann werden in einer bestehenden PSA der Stufe 1 für ausgewählte Komponentengruppen zusätzlich komponentengruppenübergreifende GVA unterstellt und der Einfluss auf das Ergebnis untersucht.

Kapitel 8 fasst zunächst die Erkenntnisse hinsichtlich der Bildung von Komponentengruppen aus den Kapiteln 3 bis 6 zusammen und beschäftigt sich dann mit den Möglichkeiten komponentengruppenübergreifende oder durch Teildiversität eingeschränkte GVA durch eine geeignete Wahl der Komponentengruppen mit den bisher bereits entwickelten Methoden zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten behandelbar zu machen. Dies zeigt sich als im Allgemeinen nicht möglich.

Kapitel 9 thematisiert verschiedene Ansätze zur Modellierung und Quantifizierung von Teildiversitäten und komponentenübergreifenden GVA. Einerseits wird die Abschätzung zusätzlicher Faktoren zur Beschreibung komponentengruppenübergreifender Ausfälle untersucht, andererseits werden Überlegungen dazu präsentiert, gezielt Minimalschnitte, deren Einzelereignisse als komponentengruppenübergreifende GVA auftreten können, höher zu gewichten.

Kapitel 10 fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf Möglichkeiten zur Weiterentwicklung.

2 Definitionen von Begriffen und Definitionen der Komponentengrenzen

Im Folgenden werden wesentliche, im Bericht verwendete Begriffe definiert und die Grenzen von Komponenten, beschrieben.

2.1 Begriffe

Die verwendeten Begriffe orientieren sich soweit möglich an /FAK 05/ und /FAK 05a/.

Betrachtungseinheit

Eine Betrachtungseinheit ist eine technische Einrichtung unterschiedlichen Umfangs, die eine oder mehrere Funktionen erfüllt und für die eine probabilistische Aussage zu treffen ist.

Betriebsmittel

Als Betriebsmittel wird die kleinste Einheit, die betrachtet wird, bezeichnet. Sie ist in sich funktionsfähig, einbauortneutral und austauschbar. Die Anschlüsse oder Verbindungen zu den angrenzenden Betriebsmitteln gehören zu dem den Einbau verursachenden Betriebsmittel (Verursacherprinzip). Beispiele sind ein Elektromotor, eine Pumpe ohne Antrieb, ein Dieselmotor, ein Geber, eine Antriebssteuerbaugruppe usw.

Komponente

Bei einer Komponente handelt es sich um eine Einheit, die eine selbständige Funktion innerhalb eines Prozesses wahrnimmt, mit zugehörigen Betätigungs- und Vorrangbausteinen und Abzweig, aber ohne eventuell notwendige Schutzeinrichtungen und Hilfsysteme, wie z. B. 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. Die Grenzen einer Komponente ergeben sich aus den Grenzen ihrer Betriebsmittel, wobei zu beachten ist, dass Fundament, Unterstützung oder Befestigung zur Komponente selbst gehören. Zur Komponente sind auch die Betätigungs- und/oder Vorrangbausteine und der Abzweig in der Stromversorgung mit dem Leistungsschalter hinzuzurechnen. Die Grenze des Abzweiges ist dabei der

Anschluss an die Sammelschiene. Zur Steuerung gehören der Steuerbaustein auf dem Wartenpult, der Betätigungsbaustein und eventuell vorhandene Vorrangbausteine. Die Grenze innerhalb der Steuerung ist dort zu ziehen, wo der benachbarte Baustein auf mehrere Komponenten wirkt. Aus der Komponente sind solche Betriebsmittel auszugrenzen, die funktionell redundant sind oder für die abweichende Ausfallerkennungszeiten gelten. Übergeordnete Funktionsgruppen und Verriegelungen zählen zum Teilsystem, zum System oder zur Anlage. Beispiele für Komponenten sind: Eine Pumpe mit Motor, eine Kupplung, ein Schalter, die Antriebssteuerebene; eine Temperaturmesseinrichtung mit Schutzrohr, ein Messwertgeber, ein Messumformer, eine Analogverteilerbaugruppe, eine Trennbaugruppe oder ein Grenzwertgeber.

Anregeeinheiten

Der Begriff der Anregeeinheiten umfasst die Logikebene (z. B. Reaktorschutzlogik), aus der eine Komponente oder Systemfunktion angeregt bzw. angesteuert wird. Zu einer Anregeeinheit gehören innerhalb der Leittechnik alle Baugruppen ab dem Ausgang der Grenzsinalgeber/Binärsignalüberwachungsbaugruppen bis zum Eingang der Vorrang- bzw. Betätigungsbausteine der angesteuerten Komponenten.

Funktionseinheit

Eine Komponente einschließlich ihrer zugehörigen Schutzeinrichtung, Hilfs- und Versorgungseinrichtungen wird als Funktionseinheit bezeichnet. Die Grenzen der Funktionseinheit ergeben sich aus den Abgrenzungen ihrer Komponenten. Ein Beispiel für eine Funktionseinheit wäre der Notstromdiesel.

Teilstrang, Teilsystem

Ein Teilstrang oder Teilsystem ist der Teil eines Systems, der allein oder in Kombination mit anderen Teilsystemen eine Funktion innerhalb des Systems wahrnehmen kann. Ein Teilstrang oder Teilsystem beginnt an der jeweiligen Übernahmestelle des Mediums oder im Verzweigungspunkt und endet an der Übergabestelle bzw. der Zusammenführung im System. Sie umfassen die zugehörige Steuerung, Überwachung, Messung, Regelung, Schutz und den Anteil an der Energieversorgung. Ein Beispiel wäre ein Nachkühlstrang.

System

Als System wird eine Zusammenschaltung von Komponenten mit einer Steuerung und ggf. einer Regelung zur Erfüllung einer selbständigen Aufgabe innerhalb des Gesamtprozesses bezeichnet. Beispiele für Systeme sind das Kühlwassersystem oder das Frischdampfsystem.

Teildiversität

Eine technische Eigenschaft in der sich Komponenten unterscheiden, die im Rahmen der Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten zu einer Komponentengruppe zusammengefasst wurden. Ein Schädigungsmechanismus mit einem Potential zur Verursachung von GVA kann, sofern die technische Eigenschaft für den Schädigungsmechanismus relevant ist, dann nicht bei allen Komponenten der Komponentengruppe zu Schädigungen oder einem Ausfall führen.

2.2 Komponentengrenzen ausgewählter Komponenten

Im Folgenden werden die Grenzen einiger Komponenten, für die im Rahmen der Auswertung der GVA-Datenbank der GRS übergreifende GVA gefunden wurden, festgelegt. Die Definitionen der Komponentengrenzen in Tab. 2.1 sind an /FAK 05/ und /NEA 11/ angelehnt:

Tab. 2.1 Definitionen von Komponentengrenzen

Komponenten	eingeschlossen	nicht eingeschlossen
Notstromdiesel	Notstromdiesel, Generator, Anlasssystem, Schmierölsystem, dieselinternes Kühlwassersystem, Kraftstoffsystem (bis Tagesbehälter), dieselinternes Zuluft- und Abgassystem, Überwachung (Drehzahl, Niveau Ausgleichsbehälter, Schmieröldruck)	Dieselbelastungsprogramm, Transportsystem für Dieselöl, externes Kühlwassersystem, Generatorleistungsschalter, Raumkühlung, Reaktorschutz
Motorbetätigte Armaturen	Ventilgehäuse und Einbauteile, Stellgetriebe einschließlich Wegend- und Drehmomentschalter,	Verriegelungen, Systemsteuerung und -regelung, Funktionsgruppensteuerungsep.,

Komponenten	eingeschlossen	nicht eingeschlossen
	Schaltanlage einschließlich Leistungsschalter, Koppelrelais, elektrische Schutzeinrichtungen, Elektromotor, Baugruppen der Steuerung einschließlich Vorrang und Entkopplung, Kabel	Stellungsgeber, die nicht der unmittelbaren Steuerung dienen.
Rückschlagventile und -klappen	Ventilgehäuse, Sitz, Kegel, Klappe, Stellungsgeber, Klappengegengewicht, Ventilprüfmechanismus	Stellungsgeber, die nicht unmittelbar der Steuerung dienen
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	Zuluft- und Abluftklappen, Steuerung, Verriegelungen, Systemsteuerung, Meldeeinrichtungen

Komponenten	eingeschlossen	nicht eingeschlossen
	elektrische Schutzeinrichtungen, Baugruppen der Antriebssteuerung einschließlich Vorrangbildung und Entkopplung, Kabel	
Gleichrichter	Thyristorsteuersatz einschließlich Glättungseinrichtung, Spannungsregelung, Strombegrenzung, Überwachungseinrichtungen, Batteriekreisüberwachung	Schaltanlagen auf Sammelschiene
Differenzdruckmessung	Mehrventilblock, Messumformer, Analogverteilerbaugruppen einschließlich Stromversorgung und Absicherung, Entkoppel- und Trennbaugruppen, Signalumformerbaugruppen, Grenzwertgeber, Messwertanzeiger	Messwertverarbeitung für Rechner, Meldeanlagen, Reaktorschutz, Aggregatschutz
Temperaturmessung	Schutzrohr, Messwertgeber, Messumformer, Analogverteilerbaugruppen einschließlich Stromversorgung und Absicherung, Entkoppel- und Trennbaugruppen, Signalumformerbaugruppen, Grenzwertgeber, Messwertanzeiger	Messwertverarbeitung für Rechner, Meldeanlagen, Reaktorschutz, Aggregatschutz
Batterien	Batteriezellen und -brücken, Gestelle, Leitungen, Leistungsschalter, Sicherungen	Batterieschienen

3 Bestehende nationale und internationale Ansätze und Regeln zur Bildung von GVA-Komponentengruppen

In diesem Kapitel soll zunächst ein kurzer Überblick über verschiedene Ansätze zur Bildung von GVA-Komponentengruppen gegeben werden, wie sie derzeit in Deutschland oder im Ausland in Verwendung sind. Besondere Berücksichtigung erfährt dabei die Frage, ob Vorgehensweisen für komponentengruppenübergreifende GVA gemäß den Definitionen behandelt werden.

3.1 Veröffentlichungen des Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke)

/FAK 05/ gibt für die PSA der Stufe 1 in Abschnitt 3.3.2.1 „*Qualitative Überlegungen*“ im Kapitel „*Abhängige Ausfälle*“ nach der allgemeinen Anforderung, dass eine qualitative Analyse durchgeführt werden muss mit dem Ziel, diejenigen Gruppen von Komponenten zu identifizieren, die von einem gemeinsam verursachten Ausfall betroffen sein können, folgende Bedingungen an für Komponenten, für die ein GVA modelliert werden muss und die somit in einer GVA-Komponentengruppe zusammengefasst werden:

1. Komponenten sind redundant zueinander und
2. Komponenten haben den gleichen Typs eines Herstellers bzw. das gleiche Baumuster, insbesondere in Systemen mit gleichen Betriebsbeanspruchungen
oder
Komponenten weisen einzelne typgleiche Betriebsmitteln eines Herstellers (bzw. gleichen Baumustern bei Auftragsfertigung) oder baugleichen Baugruppen bzw. funktionsentscheidenden Materialien auf; gegebenenfalls sind für diese Teile der Komponenten GVA getrennt anzusetzen.

Komponenten, deren unabhängiges Verhalten wegen geringer Beiträge zur Systemunverfügbarkeit nicht modelliert wurde (z. B. passive Komponenten, wie z. B. Verstopfung von Filtern), sind trotzdem hinsichtlich eines möglichen GVA-Beitrages anhand der Betriebserfahrung zu betrachten und gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Zu komponentengruppenübergreifenden GVA wird nur in Bezug auf die Leittechnik und die elektrische Energieversorgung der Komponenten Stellung genommen: Als Komponentengrenzen werden die elektrischen Abzweige und die Betätigungs- und Vorrang-

bausteine in der Ansteuerung festgelegt. Diese sind oft typgleich und daher in einer Betriebsmittelgruppe zusammenzufassen. Unter Berücksichtigung der Betriebserfahrung ist die Möglichkeit übergreifender GVA an dieser Stelle zu berücksichtigen, wobei GVA, die sich auf Grund der gleichartigen Belastung und Einstellung ereigneten, den jeweiligen Komponentengruppen zugeordnet werden sollen.

3.2 Vorgehensweise der GRS für die PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb eines Druckwasserreaktors

Die letzte, seitens der GRS durchgeführte und durch das Bundesumweltministerium (BMUB) finanzierte PSA für einen Druckwasserreaktor stammt aus dem Jahre 2001. Der Bericht /HOL 01/ befasst sich mit der Erfassung und Auswertung des Ausfallverhaltens von Komponenten durch GVA, mit den damals aktuellen mathematischen Methoden zur Berechnung der GVA-Ausfallwahrscheinlichkeiten und mit den im Rahmen der PSA durchgeführten Berechnungen der Ausfallwahrscheinlichkeit durch GVA. In diesem Bericht sind Komponentengruppen, für die GVA unterstellt werden, wie folgt definiert: *„Eine Komponentengruppe besteht aus im Allgemeinen redundanten Komponenten, die identisch oder nahezu identisch sind und gleichen Betriebs- und Anforderungsbedingungen unterworfen sind.“* Eine detaillierte Auswertung, für welche Komponenten seinerzeit GVA unterstellt wurden und wo dabei entsprechend dieser Definition komponentengruppenübergreifende GVA angenommen wurden, erfolgt in Kapitel 4.

3.3 Richtlinien der U.S. NRC zur Modellierung von GVA in PSA

In /MOS 98/ ist ein zweistufiges Verfahren zur Bestimmung von Komponentengruppen beschrieben. In einem ersten Schritt wird in einer sogenannten qualitativen Auswahl untersucht, zwischen welchen Komponenten sogenannte Kopplungsfaktoren, also Eigenschaften bestehen, die verursachen können, dass Ausfälle mehrere Komponenten gleichzeitig betreffen (gleiche Auslegung, gleiche Hardware, gleiche Funktion, gleiches Montage-, Wartungs- oder Betriebspersonal, gleiche Prozeduren, gleiche System-/Komponentenoberfläche, gleicher Aufbauort, gleiche Umgebungsbedingungen). Diese Analyse kann durch Anlagenrundgänge und die Auswertung von Betriebserfahrung unterstützt werden. Komponenten, die eine oder mehrere dieser Charakteristika teilen, können abhängig von dem genauen Systemaufbau zu einer Komponentengruppe zusammengefasst werden. Folgende Regeln werden für die Bildung von Komponentengruppen angegeben:

1. Identische, funktional nicht diversitäre, aktive Komponenten sollten innerhalb einer Komponentengruppe betrachtet werden.
2. Diversitäre Komponenten mit identischen Teilkomponenten oder Betriebsmitteln sollten nicht als vollständig unabhängig betrachtet werden. Eine mögliche Option um mit derartigen Komponenten umzugehen, ist eine Aufteilung in einen diversitären Teil und einen identischen Teil, der dann eine Komponentengruppe darstellt.
3. Passive Komponenten müssen nicht betrachtet werden, da aktive Komponenten das Ausfallverhalten dominieren.

In einem weiteren Schritt wird eine vereinfachte quantitative Fehlerbaumanalyse durchgeführt. Hierbei wird im Fehlerbaum der Ausfall einer Komponente einer potentiellen Komponentengruppe durch eine 'ODER'-Verknüpfung 'Ausfall durch Einzelfehler' ODER 'Ausfall durch maximalen GVA' (maximaler GVA = Ausfall aller Komponenten der Komponentengruppe) ersetzt. Als Wahrscheinlichkeit für diesen maximalen GVA wird die Ausfallwahrscheinlichkeit der Komponente multipliziert mit einem Korrekturfaktor (je nach Redundanzgrad zwischen 0,05 und 0,2) angesetzt. Komponentengruppen, deren GVA in dieser vereinfachten Analyse nur einen geringen Beitrag zur Gesamtunverfügbarkeit ihres jeweiligen Systems oder zum Unfallablauf liefert, können in der weiteren GVA-Betrachtung vernachlässigt werden.

Alternativ kann auch der zweite Schritt als erster durchgeführt werden, um die Anzahl der genauer zu betrachtenden Komponenten zu verringern.

3.4 Empfehlungen der IAEA zur Durchführung von GVA-Analysen in PSA

Das IAEA Technical Document 'Procedures for conducting common cause failure analysis in probabilistic safety assessment' /IAE 92/ lehnt sich in seiner Methodik an die Vorgehensweise der U.S. NRC an. Zur Definition von Komponentengruppen werden auch dort Kopplungsfaktoren im Rahmen eines vergleichbaren zweistufigen Verfahrens verwendet. Ein Kopplungsfaktor ist dabei definiert als Charakteristik einer Komponentengruppe, die sie für einen gemeinsamen Ausfallmechanismus anfällig macht. Als Beispiele für Kopplungsfaktoren werden Gemeinsamkeiten in Design, Einsatzort, Umgebungsbedingungen am Einsatzort, Hersteller, Einsatzziel, Einsatz-, Instandhaltungs- und Prüfprozeduren angegeben.

4 Auswertung der GVA-Komponentengruppenbildung in den PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb zweier Druckwasserreaktoren

In diesem Kapitel wurden zwei PSA, die in der Vergangenheit seitens der GRS durchgeführt wurden, einer genaueren Auswertung hinsichtlich der Komponentengruppen, für die GVA unterstellt wurden, unterzogen. Bei den Reaktoren handelt es sich jeweils um Druckwasserreaktoren. Der neuere der beiden Reaktoren ist ein Reaktor der Konvoi-Baulinie, die Informationen bezüglich der modellierten GVA sind /HOL 01/ oder internen, nicht publizierten Unterlagen der GRS entnommen. Der ältere der beiden Reaktoren ist ein Druckwasserreaktor der ersten Generation, als zusammenfassender Bericht der zugehörigen PSA wurde /FRE 98/ veröffentlicht. Die für diese Auswertung verwendeten Detailinformationen wurden nicht veröffentlicht, sondern entstammen internen Unterlagen der GRS. In Abschnitt 4.1 werden zunächst einige Grundlagen der Komponentengruppenbildung, die in beiden PSA Anwendung fanden, dargestellt. Abschnitt 4.2 enthält dann, nach Systemen aufgeschlüsselt, jeweils eine kurze Beschreibung des Systems und eine Auflistung für welche Komponentengruppen GVA angenommen wurden. In Abschnitt 4.3 wird ausgewertet, an welchen Stellen in den PSA bereits komponentengruppenübergreifende GVA angenommen wurden und inwieweit sich die Komponentenarten der in der PSA unterstellten GVA mit den betroffenen Komponentenarten der in der GRS-GVA-Datenbank verzeichneten, aus der Betriebserfahrung bekannten GVA decken.

4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Bildung von Komponentengruppen

Grundsätzlich wurden Komponenten immer dann als GVA-Komponentengruppe (Komponentengruppen) betrachtet, wenn sie in redundant aufgebauten, sicherheitsrelevanten Systemen an vergleichbaren Positionen in den verschiedenen Strängen eingebaut sind bzw. waren und bei Betrachtung des Ausfallverhaltens der Komponenten nicht von vornherein ein vernachlässigbarer Beitrag zur Verfügbarkeit sicherheitsrelevanter Systemfunktionen zu erwarten ist. Passive Komponenten wie beispielsweise Rohrleitungen wurden daher nicht unter GVA-Gesichtspunkten betrachtet. Während des Anlagenbetriebs ist zu erwarten, dass die Komponenten einer Gruppe auf Grund dieser Auswahlregel mit ähnlichen Belastungen beaufschlagt werden und auf Grund der iden-

tischen Anforderungen aus der Auslegung in der Regel auch identische Modelle oder zumindest funktionell sehr ähnliche Fabrikate eingesetzt wurden.

Für Komponenten der Elektro- und Leittechnik wurden nur dann Gruppen gebildet, wenn sie sich nicht eindeutig als Hilfssysteme einer bereits betrachteten maschinentechnischen Komponente zuordnen lassen. Ein Leitungssicherungsschalter in der Ansteuerung einer Armatur würde somit beispielsweise der Armatur zugerechnet werden, wohingegen für die Einspeiseschalter auf die Notstromschienen eigene Komponentengruppen gebildet wurden.

Eine gewisse Ausnahme dieser Regeln stellen dabei Durchdringungsabschluss (DDA)-Armaturen dar. Diese sind nicht in einer parallelen, sondern in serieller Redundanz aufgebaut. Entsprechend erfolgte hier auch die Gruppenbildung: Standardmäßig wurden die beiden hintereinanderliegenden DDA-Armaturen zu einer Gruppe zusammengefasst. Auch für einige Absperrarmaturen zur Trennung von betrieblichen und sicherheitstechnisch relevanten Systemen wurden die Komponentengruppen auf diese Weise gebildet.

4.2 Beschreibung der gebildeten GVA-Komponentengruppen nach Systemen

4.2.1 Brennelement-Beckenkühlsystem

Das Brennelement-Beckenkühlsystem dient dazu, die Nachwärme der im Brennelementbecken gelagerten Brennstäbe abzuführen. In der neueren Anlage ist das System insgesamt dreisträngig ausgelegt. Zwei Stränge nutzen teilweise Leitungen der entsprechenden Stränge des Not- und Nachkühlsystems mit. Die Pumpen können, da sie parallel zu den Not- und Nachkühlpumpen eingebunden sind, auch zur Notkühlung des Reaktordruckbehälters (RDB) genutzt werden. Es handelt sich um einstufige Kreiselpumpen. Bei den mit dem Not- und Nachkühlsystem gemeinsamen Leitungen handelt es sich erstens um die Saugleitung aus dem Loop, in die die Saugleitung aus dem Becken über ein motorbetriebenes Drei-Wege-Ventil eingebunden ist und zweitens um den Zwischenteil der Einspeiseleitung der den Nachkühler zur Nachwärmeabfuhr sowie das Nachkühlregelventil enthält. Diese gehören systemtechnisch zum Nachkühlsystem und werden dementsprechend in Abschnitt 4.2.6 behandelt. Wie das Nachkühlsystem sind auch die Komponenten dieses Systems notstromgesichert, allerdings

durch das gegen Einwirkungen von außen (EVA) gesicherte D2-Notstromnetz. Im Notstandsfall können die Beckenkühpumpen auch zur Bespeisung des Kerns über das Not- und Nachkühlsystem genutzt werden. Der dritte Strang hat einen eigenen Kühlkreis mit einem eigenen Wärmetauscher, der über den betrieblichen Zwischenkühlkreis versorgt wird. Er ist durch das D1-Netz notstromgesichert. Als quasi-einsträngiges System wurde es damals als ausreichend diversitär angesehen, daher wurden für die Komponenten dieses Strangs keine GVA-Wahrscheinlichkeiten zusammen mit den anderen Strängen des Beckenkühlsystems berechnet.

In den anderen beiden Strängen bilden folgende Komponenten jeweils eine Komponentengruppe:

- Die zwei Beckenkühpumpen selbst,
- die beiden Rückschlagventile, die sich auf der Druckseite der Beckenkühpumpen befinden,
- beide motorbetriebenen Absperrarmaturen auf der Einspeiseleitung in Richtung Brennelementbecken vor der Durchführung durch den Sicherheitsbehälter, die das Brennelementbecken gegen den Nachkühlkreis absperren, wenn einer der Stränge zur Not- oder Nachkühlung genutzt wird,
- die beiden Rückschlagventile in der Saugleitung aus dem Brennelementbecken innerhalb des Sicherheitsbehälters,
- die beiden motorbetriebenen Drei-Wege-Ventile an der Einmündung der Saugleitung in die Saugleitung des Nachkühlsystems aus dem Loop wurden ebenfalls als Gruppe behandelt. Allerdings wurden, auf Grund der für eine statistisch robuste Abschätzung der Ausfallraten mit dem Kopplungsmodell unzureichenden Betriebserfahrung, die Ausfallraten hier von Experten geschätzt

In der älteren Anlage gibt es zwei unterschiedliche Systeme zur Kühlung des Brennelementbeckens. Beide sind einsträngig im Bereich der Saug- und Einspeiseleitungen und besitzen je einen eigenen Wärmetauscher. Im Bereich der Pumpen verfügen jedoch beide Systeme über Redundanzen. Das BE-Beckenkühlsystem besitzt drei redundante Pumpen mit der Auslegung 3 x 100 % und führt die Wärme über den nuklearen Zwischenkühlkreis ab, wozu wahlweise der eigene Beckenkühler oder einer der Kühler des Nachkühlsystems genutzt werden können. Die Armaturen und zwei der Pumpen sind notstromgesichert. Das EVA-gesicherte Notstands-Beckenkühlsystem

besitzt zwei redundante Pumpen mit der Auslegung 2 x 100 % und führt die Wärme über den Notstands-Zwischenkühlkreis ab, wobei es von beiden Strängen des Notstands-Zwischenkühlkreises bespeist werden kann. Als Notstandssystem ist es durch das Notstands-Notstromnetz notstromgesichert. Zusätzlich existiert auch ein externes Brennelementbecken. Die Untersuchung von Ereignissen im Zusammenhang mit dem Brennelementbecken gehörte allerdings nicht zum Aufgabenspektrum der PSA, weshalb für die Systeme auch keine Komponentengruppen gebildet wurden.

4.2.2 Deionatversorgung

Die Deionatversorgung speichert vollentsalzenes und entgastes Wasser. Zu ihren Aufgaben gehört die Bereitstellung von Sperrwasser und die Nachfüllung verschiedener nuklearer und konventioneller Systeme.

In der neueren Referenzanlage sind dabei die Auffüllung des Speisewasserbehälters bei sekundärseitigem Abfahren vor der Inbetriebnahme des Not- und Nachkühlsystems und die Kühlung der Gleitringdichtungen der An- und Abfahrpumpen (siehe Abschnitt 4.2.9) sicherheitsrelevante Aufgaben. Der sicherheitstechnisch relevante Teil des Systems besteht aus zwei Deionatbehältern, die aus der Vollentsalzungsanlage des Nachbarblocks bespeist werden, sowie aus zwei Teilsystemen, dem Deionatbetriebssystem und dem Deionatnachfüllsystem, die aus den Deionatbehältern ansaugen. Ersteres System ist zweisträngig und dient dazu, die Mindesttemperatur im Deionatverteilungssystem über einen Wärmetauscher mit dem Heizungssystem aufrecht zu erhalten. Dies geschieht über die Mindestmenge der beiden Deionatbetriebspumpen. Die Pumpen speisen wie das Nachfüllsystem auf die Deionatverteilungsschiene. Außerdem gibt es eine Abzapfung für einige betriebliche Systeme. Das Deionatnachfüllsystem ist ebenfalls zweisträngig, die Entnahmeleitungen sind tiefer im Deionatbehälter als die Entnahmeleitungen des Betriebssystems angeordnet. Sie speisen ebenfalls auf die Deionatverteilungsschiene, von der aus der Speisewasserbehälter aufgefüllt und die Gleitringdichtungen der An- und Abfahrpumpen gekühlt werden. Über eine Abzweigung können andere nukleare und konventionelle Systeme mit Deionat versorgt werden. Die Nachfüllpumpen (einstufige Kreiselpumpen) werden vom D1-Notstromnetz versorgt.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden Freilauf-Rückschlagventile druckseitig unmittelbar hinter den Deionatnachfüllpumpen,
- die beiden Deionatnachfüllpumpen,
- die beiden parallelen motorbetriebenen Regelventile auf der Einspeiseleitung in den Speisewasserbehälter,
- die beiden Magnetventile an der Gleitringdichtungskühlung der An- und Abfahrpumpen sowie
- die beiden seriellen motorbetriebenen Absperrschieber, die die Versorgung der Bespeisungsleitung für betriebliche Systeme im Notstromfall abschieben.

Auch die ältere Referenzanlage besitzt ein System grundsätzlich ähnlichen Aufbaus mit leichten Abweichungen im Bereich der Pumpen. Hier gibt es drei redundante Pumpen, die exklusiv den Speisewasserbehälter versorgen, von denen zwei notstromgesichert sind und eine, die exklusiv die Reaktor- und Hilfsanlagen versorgt. Im Bereich der Einspeisung hinter den Pumpen ist das System einsträngig. Das System wurde allerdings nicht modelliert, da eine Deionatnachspeisung bei funktionierenden Einspeisesystemen frühestens nach acht Stunden notwendig ist und daher im Rahmen der PSA geschätzt wurde, so dass genügend Zeit für manuelle Maßnahmen zur Verfügung steht und somit die Verfügbarkeit des Systems keinen relevanten Beitrag zur Kernschadenshäufigkeit liefert.

4.2.3 Zusatzboriersystem und vergleichbare Systeme

Bei dem Zusatzboriersystem handelt es sich um ein diversitäres Abschaltssystem, das den Reaktor durch Einspeisung von hochkonzentrierter Borsäure unterkritisch kalt Xenon-frei fahren kann. In der neueren Referenzanlage ist das System viersträngig aufgebaut mit einer 4 x 50 %-Auslegung. Das System besitzt pro Strang zwei Saugleitungen. Eine saugt aus den Borierbehältern (4%ige H_3BO_3), um den Reaktor beispielsweise im Falle eines ATWS-Störfalls abzufahren. Die andere saugt aus den Flutbehältern an und wird beispielsweise zur Leckageergänzung im Fall einer Einwirkung von außen (EVA) benutzt. Bei den verwendeten Pumpen handelt es sich um dreikolbige Tauchkolbenpumpen. Das Zusatzboriersystem ist durch das D2-Netz notstromgesichert.

Folgende Komponenten bilden jeweils eine Komponentengruppe:

- Die vier motorbetätigten Absperrventile in der Saugleitung aus den Borierbehältern,
- die vier Rückschlagventile in der Saugleitung aus den Borierbehältern,
- die vier Rückschlagklappen in der Saugleitung aus den Flutbehältern,
- die vier Kolbenpumpen,
- die vier motorbetätigten Absperrventile auf der Druckseite der Pumpen vor der Durchführung in den Sicherheitsbehälter (SB),
- die vier Rückschlagventile auf der Druckseite der Pumpen hinter der Durchführung in den SB,
- die vier Rückschlagventile auf der Einspeiseleitung Richtung Druckhaltersprühung sowie
- die vier Rückschlagventile auf der Einspeiseleitung Richtung Hauptkühlmittelleitung.

Hingegen wurden keine GVA-Wahrscheinlichkeiten für die Drei-Wege-Ventile zur Auswahl der Einspeiseleitungen und die motorbetätigten Absperrschieber in der Saugleitung aus den Flutbehältern berechnet. Gar keine Ausfälle wurden für die handbetätigten Absperrarmaturen auf der Druckseite der Pumpen angenommen, da diese auf Grund ihrer hohen Zuverlässigkeit nur einen vernachlässigbaren Beitrag liefern, normalerweise im Anlagenbetrieb offen sind und nur zu Prüfzwecken geschlossen werden.

Die ältere Referenzanlage besitzt an Stelle des Zusatzboriersystems das Leckageergänzungssystem. Dabei handelt es sich um ein zweisträngiges System mit einer 2 x 100 %-Auslegung. Das Leckageergänzungssystem besteht aus zwei Borwasserbehältern, aus denen je eine Kolbenpumpe, die sogenannte Leckageergänzungspumpe, ansaugt und in die Einspeiseleitungen des Volumenregelsystems im Ringraum fördert. Das Volumenregelsystem ist in diesem Bereich ebenfalls zweisträngig aufgebaut und spaltet sich erst im Sicherheitsbehälter weiter auf fünf Einspeisestellen auf (drei Pfade zu Hauptkühlmittelleitungen und zwei zur Druckhaltersprühung). Das System wird durch das Notstands-Notstromnetz versorgt. Als konservativer Ansatz wurde dieses System für die PSA als ausgefallen betrachtet und folglich nicht genauer modelliert.

4.2.4 Reaktorschutzmessungen und Leittechnik

Die korrekte Überwachung und Erfassung der verfahrenstechnischen Zustandsgrößen wie Druck oder Füllstand sicherheitstechnisch relevanter Behälter und Systeme ist für den Störfallbetrieb von höchster Bedeutung. Für Druckmessungen oder Messungen, die auf Druckmessungen aufbauen (Durchfluss, Füllstand), die im Reaktorschutz verwendet werden, wurden daher GVA angenommen. Eine solche Messung besteht erstens aus den Wirkdruckleitungen über welche die Messstelle mit Medium beaufschlagt wird. Denkbare Ausfälle wären hier z. B. Verstopfungen oder falsch eingestellte Absperrventile. Zweitens aus den Messumformern, die die Messgröße in ein elektrisches Signal transformieren und in denen diverse mechanische oder elektrische Defekte auftreten können, und drittens aus den Grenzwertgebern, die bei Über- oder Unterschreiten spezifizierter Grenzwerte ein Binärsignal auslösen; hier wären z. B. falsche Einstellungen möglich.

In der neueren Referenzanlage wurden folgende Komponentengruppen der Leittechnik betrachtet:

- Die Wirkdruckleitungen der Füllstandsmessung der Dampferzeuger,
- die Wirkdruckleitungen der Füllstandsmessung der Flutbehälter,
- Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Wirkdruckleitungen der Füllstandsmessung des Druckhalters berechnet:
der GVA erwies sich dann aber als vernachlässigbar, da die in der PSA berücksichtigten Reaktorschutzsignale, in die diese Messungen eingehen auch durch andere Messungen ausgelöst werden können,
- die Füllstandsmessung der vier Zellenkühler (Grenzwertgeber, Messumformer, Wirkdruckleitungen), die in einem GVA-Modul verarbeitet wurden, so dass die Zahlen nicht direkt im Fehlerbaum verwendet wurden,
- die vier Messumformer der Druckmessstellen druckseitig der Notspeisepumpen unmittelbar vor den Regelventilen,
- die Grenzwertgeber der FD-Druckmessung,
- die vier Messumformer der Primärkreisdruckmessung, deren GVA-Daten allerdings lediglich für Abschätzungen verwendet wurden und sich letztendlich als vernachlässigbar erwiesen.

In der älteren Referenzanlage wurden bei den Komponentengruppen der Leittechnik folgende Messungen grundsätzlich betrachtet:

- Die beiden Messkanalgruppen des Primärkreisdrucks:
Als GVA wurden jeweils Ausfälle der Messumformer (da hier nicht diversitär), die systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber und eine systematische Fehlabspernung der Wirkdruckleitungen betrachtet.
- Die beiden Messkanalgruppen des Dampferzeugerfüllstands:
Als GVA wurden die systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber und eine systematische Fehlabspernung der Wirkdruckleitungen betrachtet.
- Die beiden Messkanalgruppen des Dampferzeugerdrucks:
Als GVA wurden jeweils Ausfälle der Messumformer (da hier nicht diversitär), die systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber und eine systematische Fehlabspernung der Wirkdruckleitungen betrachtet.
- Die Messkanalgruppe des Druckhalterfüllstand:
Hier wurde nur eine ungewollte Absperrung der Impulsleitungen betrachtet.
- Die Messkanalgruppe der Differenzdruckmessung SB zu Atmosphäre;
Als GVA wurden die systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber und eine systematische Fehlabspernung der Wirkdruckleitungen betrachtet.
- Die Messkanalgruppe des Primärkreisfüllstands:
Als GVA wurden jeweils Ausfälle der Messumformer (da hier nicht diversitär) und die systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber betrachtet.
- Die Messkanalgruppen des vorrangigen Komponentenschutzes der Diesel des Sicherheitseinspeisesystems (Motordrehzahl, Kühlwassertemperatur, Schmieröl-
druck):
Als GVA wurden eine systematische Fehleinstellung der Grenzwertgeber und für die Druckmessung ein GVA der Messumformer betrachtet.
- Die Messkanalgruppen der Druckmessung des Notstandsspeisesystems druck-
seitig der Pumpen:
Es wurde als GVA ein Ausfall der Messumformer betrachtet.
- Die Messkanalgruppen der Füllstandsmessung der Flutbehälter des zusätzli-
chen Sicherheitseinspeisesystems:
Es wurde als GVA eine Fehljustierung der Grenzwertgeber betrachtet.

4.2.5 Primärseitige Druckabsicherung

Bei dem Druckhalter (DH) handelt es sich um einen Behälter, der über die Volumenausgleichsleitung mit dem Primärkreis verbunden ist und in dem Siedebedingungen herrschen. Seine Aufgabe besteht in der Druckregelung des Primärkreises, auch im Störfalle. Im Falle eines Überdrucks im Primärkreis kann Primärkühlmittel über zwei Sicherheitsventile in den DH-Abblasebehälter abgelassen werden. Daneben gibt es ein betriebliches DH-Abblaseventil, welches dazu dient, ein Ansprechen der Sicherheitsventile bei Transienten zu unterbinden, sowie ein im Normalbetrieb geöffnetes DH-Abblaseabsperrentil, welches im Falle eines fehlerhaften Öffnens oder Offenbleibens des DH-Abblaseventils die zu diesem gehörige Leitung verschließt.

In der neueren Referenzanlage wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Beide DH-Sicherheitsventile,
- die motorbetriebenen Vorsteuerventile der beiden Sicherheitsventile und des DH-Abblaseventils bilden zusammen eine fünf Armaturen umfassende Gruppe (je zwei pro Sicherheitsventil und eines für das Abblaseventil), dieser GVA erwies sich allerdings wegen der Handmaßnahmen für eine primärseitige Druckentlastung als für das Gesamtergebnis nicht relevant.

In der älteren Referenzanlage sind die betrieblichen Abblaseventile direkt motorbetätigte Armaturen ohne Vorsteuerventile. Ansonsten ist der Aufbau vergleichbar. Es wurde lediglich eine Komponentengruppe für die DH-Sicherheitsventile gebildet, die motorbetriebenen Vorsteuerventile wurden wenngleich vorhanden nicht separat modelliert.

4.2.6 Not- und Nachkühlsystem und vergleichbare Systeme

Das Not- und Nachkühlsystem dient dazu die Nachwärme der im RDB befindlichen Brennelemente im Normal- und Störfallbetrieb (Kühlmittelverlust) abzuführen.

In der neueren DWR-Anlage ist das Not- und Nachkühlsystem viersträngig mit einer 4 x 50 %-Auslegung aufgebaut. Im Einzelnen besteht ein Strang aus einem Flutbehälter (450 m³, 1,25%ige H₃BO₃), aus dem die Sicherheitseinspeisepumpe (mehrstufige Kreiselpumpe, maximal 225 m³/h Fördermenge, 145 bar Auslegungsdruck, 125 bar Betriebsdruck) und die Nachkühlpumpe (einstufige Kreiselpumpe, max. 1260 m³/h Fördermenge, 55 bar Auslegungsdruck, 45 bar Betriebsdruck) ansaugen. Beide Pumpen

verfügen über zunächst getrennte Einspeiseleitungen, die sich im Sicherheitsbehälter in je eine Einspeiseleitung für den kalten und den heißen Strang des zugehörigen Primärkreisloops aufspalten. Der Niederdruckteil (ND) des Systems speist immer an beiden Strängen gleichzeitig ein, der Hochdruckteil (HD) besitzt ein drucksensitives Drei-Wege-Ventil, welches automatisch als Einspeiseweg denjenigen auswählt, der kein Leck aufweist. Die beiden Einspeiseleitungen der beiden Pumpen münden dann in eine gemeinsame Einspeiseleitung, die ihrerseits im Loop entweder zwischen RDB und DE (heißer Strang) oder zwischen Hauptkühlmittelpumpe (HKP) und RDB einmündet (kalter Strang). Hinter den Nachkühlpumpen befindet sich ein Wärmetauscher mit dem Wärme über das nukleare Zwischenkühlsystem abgeführt werden kann. Über ein Drei-Wege-Ventil können die Nachkühlpumpen statt aus den Flutbehältern auch aus dem Sumpf des Sicherheitsbehälters ansaugen. Es existiert außerdem hinter dem Wärmetauscher eine Querverbindung zur Saugseite der Sicherheitseinspeisepumpen, so dass im Notstandsfall die Nachkühlpumpen als Vorstufe der Sicherheitseinspeisepumpen genutzt werden können, womit auch unter Verwendung der Sicherheitseinspeisepumpen ein Sumpfbetrieb möglich wird. Bei den Druckspeichern handelt es sich um Behälter (34 m³, 1,25%ige H₃BO₃), die unter einem Druck von 30 bar stehen und im Falle eines großen Kühlmittelverluststörfalls bei gleichzeitigem Notstromfall die Bepfeisung des Kerns übernehmen bis die Notstromdiesel angelaufen und damit die Pumpen verfügbar sind. Zwei der vier Stränge teilen sich teilweise Leitungen und Armaturen mit dem BE-Beckenkühlsystem (siehe Abschnitt 4.2.1). Die Systeme sind durch das D1-Notstromnetz gesichert.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier motorbetriebenen Absperrventile zwischen Flutbehältern und Nachkühlpumpe auf der Saugleitung der Pumpen;
- die vier Rückschlagklappen zwischen Flutbehältern und Nachkühlpumpen auf der Saugleitung der Pumpen;
- die vier motorbetriebenen Absperrventile auf der Querverbindung von der Druckseite des ND-Strangs hinter dem Nachkühler zur Saugseite des HD-Strangs;
- die zwei Rückschlagventile auf der Druckseite der Nachkühlpumpe vor der Einmündung der druckseitigen Leitung der Beckenkühlpumpe; diese sind nur in den Strängen zu finden, die auch Beckenkühlpumpen besitzen;

- die zwei Regelventile hinter den Nachkühlern auf der Druckseite der Nachkühlpumpen; wenngleich diese in allen Strängen vorhanden sind, wurden sie nur in den Strängen mit Beckenkühlsystemen als Komponentengruppen angenommen, da sie nur dort im Rahmen der Funktion Beckenkühlung benötigt wurden;
- die zwei motorbetriebenen Absperrventile in der Saugleitung aus dem heißen Strang des Primärkreises für den Nachkühlbetrieb hinter der Einmündung der Saugleitung des Beckenkühlsystems; Diese sind nur in den Strängen zu finden, die auch Beckenkühlpumpen besitzen;
- die vier Rückschlagventile in der ND-Einspeiseleitung in den kalten Strang des Primärkreises, Zweitabsperung gegen den Primärkreis;
- die vier Rückschlagventile in der Einspeiseleitung in den kalten Strang des Primärkreises, Erstabsperung gegen den Primärkreis;
- die vier motorbetrieben-aufziehbaren Rückschlagventile in der ND-Einspeiseleitung in den heißen Strang des Primärkreises, Zweitabsperung gegen den Primärkreis;
- die vier motorbetrieben-aufziehbaren Rückschlagventile in der Einspeiseleitung in den heißen Strang des Primärkreises, Erstabsperung gegen den Primärkreis;
- die vier kolbenbetätigt-aufziehbaren Rückschlagventile in der Saugleitung aus dem heißen Strang des Primärkreises für den Nachkühlbetrieb, entgegengesetzt zur Durchströmungsrichtung im Nachkühlbetrieb;
- die vier motorbetätigten Absperrventile in dem Bypass um das obige kolbenbetätigte Rückschlagventil zum Zwecke des Druckausgleichs;
- die vier motorbetätigten Absperrventile in der Ansteuerleitung zu dem Kolben des obigen Rückschlagventils, Nachkühldosierventile;
- die vier Drei-Wege-Ventile, die den ND-Strang von Flutbetrieb (Ansaugung aus den Flutbehältern) auf Sumpfbetrieb (Ansaugung aus dem SB-Sumpf) umstellen;
- die vier Nachkühlpumpen;
- die vier Nachwärmekühler;
- die vier Sperrwasserkühler der Nachkühlpumpen;

- die vier motorbetätigten Absperrventile auf der Saugseite der Sicherheitseinspeisepumpen;
- die vier Rückschlagventile in der HD-Einspeiseleitung in den heißen Strang des Primärkreises, Zweitabspernung gegen den Primärkreis;
- die vier Rückschlagventile in der HD-Einspeiseleitung in den kalten Strang des Primärkreises, Zweitabspernung gegen den Primärkreis;
- die vier Rückschlagklappen auf der Saugseite der Sicherheitseinspeisepumpen;
- die vier Freilauf-Rückschlagventile auf der Druckseite der Sicherheitseinspeisepumpen, an denen eine Abzweigung geöffnet werden kann, um im Falle eines DE-Heizrohrbruchs den Einspeisedruck der Sicherheitseinspeisepumpen auf 82 bar (entspricht dem sekundärseitigen Druck im DE) zu begrenzen;
- die vier Sicherheitseinspeisepumpen;
- die vier Mindestmengenkühler der Sicherheitseinspeisepumpen;
- die vier Sperrwasserkühler der Sicherheitseinspeisepumpen;
- die motorbetätigt-abschließbaren Rückschlagventile auf den Einspeiseleitungen der Druckspeicher in den heißen bzw. kalten Strang wurden jeweils als Vierergruppen modelliert.

In der älteren Referenzanlage ist das Not- und Nachkühlsystem grundsätzlich anders aufgebaut und besteht aus mehreren Einzelsystemen. Die Bespeisung und Wärmeabfuhr im Niederdruckbereich übernehmen das Nachkühlsystem, das Rückspeisesystem und das zusätzliche Rückspeisesystem. Die Bespeisung im Hochdruckbereich übernehmen das Sicherheitseinspeisesystem und das zusätzliche Sicherheitseinspeisesystem. Insgesamt gibt es sechs Einbindungen der Not- und Nachkühlsysteme in den Primärkreis, wovon eine eine Saugleitung darstellt und fünf als Einspeiseleitung genutzt werden. Dies fünf Leitungen verteilen sich auf das zusätzliche Rückspeisesystem und das Sicherheitseinspeisesystem (nutzen zusammen zwei Einspeiseleitungen), das zusätzliche Sicherheitseinspeisesystem (nutzt insgesamt zwei Einspeiseleitungen) sowie das Rückspeisesystem und das Nachkühlsystem (zusammen eine Einspeiseleitung).

Das Nachkühlsystem ist im Bereich der Pumpen und Kühler zweisträngig aufgebaut, im Bereich der Saug- und Einspeiseleitungen lediglich einsträngig. Die Auslegung der

Pumpen ist 2 x 100 % (max. Fördermenge 200 m³/h, Auslegungsdruck 35 bar), die der Kühler 2 x 50 %. Die Wärmeabfuhr erfolgt über das nukleare Zwischenkühlwasser. Zwischen Pumpen und Kühlern existiert ebenfalls ein einsträngiger Rohrleitungsbe- reich. Darüber hinaus existiert eine Bypass-Leitung um die Kühler herum, eine Kurz- schlussleitung zwischen Saug- und Einspeiseleitung und eine Querverbindung zu den beiden Einspeiseleitungen des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems. Dadurch können im Falle des Nichtöffnens einer der Armaturen in den Saug- oder Einspeiselei- tungen des Nachkühlsystems, die Einspeiseleitungen des zusätzlichen Sicherheitsein- speisesystems genutzt werden. Bei Ausfall der Saugleitung wird über die Kurz- schlussleitung die bisherige Einspeiseleitung als Ersatz verwendet.

Das Rückspeisesystem ist in den aktiven Komponenten zweisträngig aufgebaut und saugt aus dem SB-Sumpf an. Bei den Pumpen handelt es sich um vierstufige Krei- seltauchpumpen mit einer 2 x 100 %-Auslegung (200 m³/h, 18,5 bar). Das System speist vor den Wärmetauschern in das Nachkühlsystem ein. Sowohl das Rückspeise- als auch das Nachkühlsystem sind notstromgesichert. Die Hilfskühler der Pumpen bei- der Systeme werden durch das Komponentenkühlsystem versorgt.

Das EVA-gesicherte zusätzliche Rückspeisesystem ist zweisträngig aufgebaut, im Be- reich der Pumpen und Kühler viersträngig. Es saugt ebenfalls aus dem SB-Sumpf an und speist über gemeinsam mit dem Sicherheitseinspeisesystem genutzte Anschlüsse in den heißen Strang des Primärkreises. Bei den Pumpen handelt es sich um not- standsnotstromgesicherte Spaltrohrpumpen (120 m³/h, 18 bar). Das System ist als 2 x 50 % (bzw. 4 x 25 % im Bereich der Pumpen und Kühler)-System ausgelegt. Die Nachwärmeabfuhr erfolgt über das Notstandszwischenkühlwasser.

Das Sicherheitseinspeisesystem besteht aus einem Borwasserbehälter, aus dem drei Pumpen ansaugen können. Die drei Pumpen (220 m³/h, 110 bar) speisen auf zwei Einspeiseleitungen, die zusammen mit dem zusätzlichen Rückspeisesystem genutzt werden, in den heißen Strang des Primärkreises. Zwei Pumpen sind jeweils einer Ein- speiseleitung zugeordnet, während eine im Falle eines Ausfalles beide Leitungen be- speisen kann. Die Energieversorgung erfolgt entweder durch das Notstromnetz oder durch einen elektromagnetisch gekuppelten Diesel (einer pro Pumpe); dieser wird ebenfalls durch Wasser aus dem Borwasserbehälter gekühlt. Bei den Pumpen des Systems handelt es sich um zehnstufige Kreiselpumpen, sie sind auf 3 x 100 % aus- gelegt.

Das EVA-gesicherte zusätzliche Sicherheitseinspeisesystem ist ein zweisträngiges System, bei dem zwei zehnstufige Kreiselpumpen (360 m³/h, 110 bar) aus zwei separaten Borwasserbehältern über zwei Einspeiseleitungen in den kalten Strang des Primärkreises fördern. Es existiert saugseitig der Pumpen eine Verbindungsleitung zwischen den beiden ansonsten getrennten Strängen, durch die bei einem Pumpenausfall der zweite Borwasserbehälter der funktionierenden Pumpe zur Verfügung gestellt werden kann. Die Einspeiseleitung in den Primärkreis können bei Bedarf auch dem Nachkühl- bzw. Rückspeisesystem zur Verfügung gestellt werden. Die Pumpen werden durch luftgekühlte Diesel angetrieben, die sonstige Energieversorgung erfolgt über das Notstands-Notstromnetz.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden motorbetriebenen Absperrschieber auf der Druckseite der Nachkühlpumpen vor der Einspeiseleitung des Rückspeisesystems,
- die beiden Rückschlagklappen auf der Druckseite der Nachkühlpumpen unmittelbar hinter den Pumpen,
- die beiden motorbetätigten Regelventile einerseits in der Bypassleitung um die Nachkühler vor der Einmündung des Bypasses in die normale Einspeiseleitung, andererseits in der Einspeiseleitung vor der Einmündung der Bypassleitung, regeln den Durchfluss über die Nachkühler,
- die beiden motorbetriebenen Absperrschieber vor und hinter einem Nachkühler, wurde nur bei einem Nachkühler betrachtet, da eine der beiden Schiebergruppen immer in offener Stellung und daher keine Zustandsänderung bei Anforderung nötig,
- die beiden Nachkühlpumpen,
- die beiden Nachkühler,
- die beiden motorbetätigten Absperrschieber in der Verbindung des Nachkühlsystems mit den beiden Einspeiseleitungen des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems, Drittsperrung gegen den Primärkreis,
- die beiden Rückschlagklappen direkt hinter den Rückspeisepumpen,
- die beiden motorbetätigten Absperrschieber auf der Druckseite der Rückspeisepumpen vor der Einspeisung in das Nachkühlsystem,

- die beiden Rückspeisepumpen,
- die drei Freilauf-Rückschlagventile direkt hinter den Sicherheitseinspeisepumpen,
- die drei Sicherheitseinspeisepumpen,
- die drei elektrischen Antriebe der Sicherheitseinspeisepumpen,
- die drei Dieselantriebe der Sicherheitseinspeisepumpen,
- die elektromagnetischen Kupplungen der drei Sicherheitseinspeisepumpen, mangels statistisch verwertbarer Betriebserfahrung wurden hier Ausfallwerte geschätzt,
- die beiden motorbetätigten Regelventile auf der Druckseite der Pumpen nach der Verjüngung von drei auf zwei Stränge, Drittabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden Rückschlagklappen des Sicherheitseinspeisesystems vor der Vereinigung der Einspeiseleitungen des Sicherheitseinspeisesystems mit denen des zusätzlichen Rückspeisesystems zu den gemeinsamen Einspeiseleitungen in den RDB, Zweitabspernungen gegen den Primärkreis,
- die beiden Rückschlagventile auf der Druckseite der Sicherheitseinspeisepumpe, die beide Einspeiseleitungen des Sicherheitseinspeisesystems bespeisen kann,
- die beiden motorbetätigten Drosselventile auf der Druckseite der zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen,
- die beiden Rückschlagventile auf der Druckseite der zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen, Drittabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden Rückschlagklappen auf der Druckseite der zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen vor der Einmündung der Verbindung zum Rückspeise- bzw. Nachkühlsystem, Zweitabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden Rückschlagklappen in der Verbindung zwischen Rückspeise- bzw. Nachkühlsystem zu den Einspeiseleitungen des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems, Zweitabspernung gegen den Primärkreis,

- die beiden Rückschlagventile in den Einspeiseleitungen des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems hinter der Einmündung der Verbindung zum Rückspeise- bzw. Nachkühlsystem, Erstabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden Diesel der zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen,
- die beiden zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen,
- die beiden Kühlerventilatoren der Diesel der zusätzlichen Sicherheitseinspeisepumpen,
- die beiden motorbetätigten-abspernbaren Rückschlagventile im zusätzlichen Rückspeisesystem vor der Vereinigung der Einspeiseleitungen des Sicherheitseinspeisesystems mit denen des zusätzlichen Rückspeisesystems zu den gemeinsamen Einspeiseleitungen in den Primärkreis, Zweitabspernungen gegen den Primärkreis,
- die vier Rückschlagklappen unmittelbar hinter den zusätzlichen Rückspeisepumpen,
- die vier zusätzlichen Rückspeisepumpen,
- die vier Wärmetauscher des zusätzlichen Rückspeisesystems,
- die beiden Rückschlagventile in den gemeinsamen Einspeiseleitungen des Sicherheitseinspeisesystems und des zusätzlichen Rückspeisesystems, Erstabspernung gegen den Primärkreis.

4.2.7 Nukleare und gesicherte Zwischenkühlkreise

Die Wärmeabfuhr aus den Not- und Nachkühlsystemen des Reaktorkerns und des Brennelementbeckens kann nicht direkt über das dem Fluss entnommene Nebenkühlwasser geschehen, da sonst im Falle einer Leckage im Wärmetauscher eventuell kontaminiertes Material direkt in das Flusswasser gelangen könnte. Deshalb gibt es den nuklearen Zwischenkühlkreis, der Deionat zwischen den Wärmetauschern der Nachkühl- und Nebenkühlwassersysteme im Kreis fördert.

In der neueren Referenzanlage werden durch den nuklearen Zwischenkühlkreis die Nach- und Beckenkühler des Not- und Nachkühlsystems, sowie die Hilfskühler der Pumpen dieser Systeme bespeist, sofern vorhanden auch die der Beckenkühlpumpen.

Die dabei aufgenommene Wärme wird über die Zwischenkühler an das gesicherte Neben Kühlwasser abgegeben. Der Zwischenkühlkreis ist analog zum Not- und Nachkühl-system viersträngig aufgebaut. Jeder Strang besitzt zwei Pumpen mit einer Auslegung von 2 x 100 % (1800 m³/h, 8 bar) in Bezug auf den Kühlbetrieb des einzelnen Strangs. Die beiden Stränge des Zwischenkühlsystems, die einem Notkühlkreisstrang zugeordnet sind, der eine D2-gesicherte Becken/Notkühlpumpe besitzt, haben statt einer zweiten Zwischenkühlpumpe eine Notzwischenkühlpumpe (1440 m³/h, 6,5 bar), die, im Gegensatz zu den restlichen D1-gesicherten Pumpen, D2-gesichert ist. Die Stränge ohne Notzwischenkühlpumpen können mit den betrieblichen Zwischenkühlkreisen verbunden werden. Um temperaturbedingte Volumenschwankungen auszugleichen besitzt jeder Strang einen ausreichend dimensionierten Ausgleichsbehälter.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die acht Rückschlagklappen unmittelbar druckseitig hinter den Zwischenkühl-pumpen, wobei effektiv von einer Komponentengruppen der Größe sieben aus-gegangen wurde, da eine Zwischenkühlpumpe immer in Betrieb ist und ein Aus-fall dort sofort auffallen würde,
- die sechs Zwischenkühlpumpen, aus denselben Gründen wie oben effektiv eine Fünfergruppe,
- die vier Absperrklappen in dem Bypass um die nuklearen Zwischenkühler,
- die vier Regelklappen in dem Bypass um die nuklearen Zwischenkühler,
- die vier Rückschlagklappen unmittelbar vor den nuklearen Zwischenkühlern, ef-fektive Dreiergruppe (siehe oben),
- die beiden Absperrklappen vor den Nachkühlern in den Strängen ohne Notzwi-schenkühlpumpen,
- die beiden Regelklappen vor den Nachkühlern in den Strängen ohne Notzwi-schenkühlpumpen,
- die beiden Notzwischenkühlpumpen,
- die vier nuklearen Zwischenkühler.

Sicherheitstechnisch wichtige Komponenten, die keine Aktivität führen können, werden direkt über einen Zwischenkühlkreis, den sogenannten gesicherten Zwischenkühlkreis,

gekühlt, der seine Abwärme ebenfalls an das gesicherte Nebenkühlwasser abgibt. In der neueren Referenzanlage ist auch dieses System viersträngig ausgelegt. Ein Strang besteht aus dem gesicherten Zwischenkühler, der die Wärme dann an das gesicherte Nebenkühlwasser abgibt, der gesicherten Zwischenkühlpumpe (468 m³/h, 6,5 bar), einem Volumenausgleichsbehälter und den zu bespeisenden Kühlstellen der Notstromdiesel einerseits und der Kältemaschinenkondensatoren der Lüftung andererseits. Das System ist D1-notstromgesichert.

Es wurde folgende Komponentengruppe gebildet:

- Die vier gesicherten Zwischenkühlpumpen

In der älteren Referenzanlage gibt es keine gesonderte Unterscheidung zwischen nuklearen und gesicherten Zwischenkühlkreis. Es gibt lediglich ein System, welches die entsprechenden Aufgaben übernimmt; den Komponentenkühlkreislauf. Allerdings haben einige sicherheitstechnisch relevante Komponenten ihre Kühlstellen auch im konventionellen Zwischenkühlkreislauf, der in der neueren Referenzanlage als sicherheitstechnisch nicht relevantes System gar nicht betrachtet werden musste. Darüber hinaus haben die nachgerüsteten Notstandssysteme (z. B. zusätzliches Rückspeisesystem, Notstandsnotstromdiesel etc.) ihre eigenen Notstandszwischenkühlkreise.

Der Komponentenkühlkreislauf ist im Bereich der Kühler zweisträngig (Auslegung 2 x 100 %, 400 m³/h), im Bereich der Pumpen dreisträngig (Auslegung 3 x 50 %), im sonstigen Bereich je nach Redundanz der zu bespeisenden Kühlstellen ein- bis zweisträngig. Er enthält einen Volumenausgleichsbehälter. Zu den wichtigen Kühlstellen zählen die Hilfskühler der Nebenkühlwasserpumpen, die Hilfskühler der Hauptkühlmittelpumpen, die Nachkühler und der Beckenkühler. Daneben sind zahlreiche Kühlstellen der Abwasser- und Abgasaufbereitung und der Probenentnahmeanlage in diesem System untergebracht, die zwar nominell auch aktives Inventar enthalten können, aber in einer PSA in der Regel auf Grund der geringen Mengen nicht betrachtet werden. Das System ist notstromgesichert.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden motorbetätigten Absperrschieber hinter den Nachkühlern,
- die beiden motorbetätigten Absperrschieber hinter den Hilfskühlern der Nachkühlpumpen,

- die vier motorbetätigten Absperrschieber in der Bypassleitung um die Nachkühler, die Hilfskühler der Nachkühlpumpen und die Hilfskühler der Hauptkühlmittelpumpen,
- die beiden Rückschlagventile vor den Hilfskühlern der Nachkühlpumpen,
- die drei Rückschlagklappen hinter den Komponentenkühlpumpen sowie
- die drei Komponentenkühlpumpen.

Der konventionelle Zwischenkühlkreis kühlt eine Vielzahl von Verbrauchern ohne sicherheitstechnische Relevanz. Er enthält jedoch auch einige sicherheitsrelevante Kühlstellen. Diese sind die Kühler der Notstromdiesel, die Hilfskühler der Notspeisepumpen, die Ölkühler der Sicherheitseinspeisepumpen und den Kühler des Eigenbedarfstransformators. Über die Kühlstellen hinaus besteht der Kühlkreis aus drei Zwischenkühlpumpen (340 m³/h, 4,2 bar, Auslegung Normalbetrieb 3 x 50 %, Notbetrieb 3 x 100 %), zwei Zwischenkühlern und einem Zwischenkühlkreisbecken. Das System ist jenseits der Pumpen und Wärmetauschern überwiegend einsträngig, die Redundanz an den Kühlstellen richtet sich nach der Redundanz der zu kühlenden Systeme. Eine der Pumpen ist notstromgesichert.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die drei Rückschlagklappen unmittelbar hinter den konventionellen Zwischenkühlpumpen,
- die drei Regelventile vor den Kühlern der Notstromdiesel sowie
- die drei konventionellen Zwischenkühlwasserpumpen.

Das EVA-gesicherte Notstandszwischenkühlssystem besteht aus zwei Strängen in denen jeweils eine Notstandszwischenkühlpumpe (250 m³/h, 10 bar) die Kühler der Notstandsdiesel und der Belüftung des Notstandsgebäudes, die Hilfskühler der Notstandspeisewasserpumpen und die Kühler des externen Brennelementbeckens bespeisen. Die Wärme wird dann über das Notstandsnebenkühlwassersystem abgegeben. Pro Strang existiert ein Volumenausgleichsbehälter. Zwischen den beiden Strängen gibt es zwei Querverbindungen, auf dieser zweigen die Einspeise- und Rücklaufleitung für die Kühlstellen im Sicherheitsbehälter ab. In diesem Bereich ist das System einsträngig. Bei den dortigen Kühlstellen handelt es sich um das zusätzliche Rückspeisesystem, den Notstandsstrang des Beckenkühlsystems und um eine zusätzliche Bespeisungs-

möglichkeit der Nachkühler und der Hilfskühler der Nachkühlpumpen. Die Auslegung des Gesamtsystems ist 2 x 50 %. Das System wird durch das Notstands-Notstromnetz versorgt.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier motorbetätigten Absperrklappen vor und hinter den Kühlern des zusätzlichen Rückspeisesystems,
- die beiden motorbetätigten Rückschlagklappen in den Einspeiseleitungen zur zusätzlichen Bespeisung der Nachkühler,
- die beiden motorbetätigten Regelklappen in den Rücklaufleitungen der zusätzlichen Bespeisung der Nachkühler,
- die vier motorbetätigten Absperrventile vor und hinter der zusätzlichen Bespeisung der Hilfskühler der Nachkühlpumpen in den entsprechenden Leitungen,
- die beiden Rückschlagventile in den Einspeiseleitungen zur zusätzlichen Bespeisung der Hilfskühler der Nachkühlpumpen,
- die vier motorbetätigten Absperrklappen in den Querverbindungen der beiden Stränge, um die Abzweigungen in bzw. aus dem SB angeordnet,
- die beiden absperrbaren Rückschlagklappen unmittelbar hinter den Notstandszwischenkühlpumpen auf der Druckseite,
- die beiden Notstandszwischenkühlpumpen,
- die vier Notstandszwischenkühler.

4.2.8 Gesichertes und nukleares Nebenkühlwasser

Die Aufgabe des gesicherten Nebenkühlwassers besteht darin, die Nachzerfallsleistung der Brennelemente sowie die betrieblich entstehende Abwärme der sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten an Fluss oder Umgebung abzugeben. Praktisch bedeutet dies, dass die Sekundärseiten der nuklearen und gesicherten Zwischenkühler mit Flusswasser zu bespeisen sind.

In der neueren Referenzanlage ist das System viersträngig aufgebaut, entsprechend der 4 x 50 %-Auslegung der Zwischen- und Nachkühlkreise. Je eine gesicherte Neben-

kühlwasserpumpe fördert Wasser über die beiden Zwischenkühler eines Stranges. Zur Kühlung wird das Wasser in Zellenkühlern durch die Zellenkühlerpumpen verrieselt. Die Kühlung erfolgt im Gegenstromverfahren gefördert durch Ventilatoren. Das System wird vom D1-Notstromnetz versorgt. Zwei Stränge besitzen zusätzlich EVA-gesicherte Notnebenkühlwasserpumpen, die redundant zu den gesicherten Nebenkühlwasserpumpen aufgebaut und vom D2-Netz versorgt sind. Sie befinden sich in den Strängen, in denen auch die zugehörigen Zwischen- und Nachkühlkreise entsprechende Notstandspumpen hatten. Verdunstungsverluste im Rahmen des Kühlprozesses können aus drei Quellen ausgeglichen werden: Aus dem Hauptkühlwasser, von den Brunnen-zusatzwasserpumpen (viersträngig aufgebaut) und von dem Einlaufbauwerk des Notnebenkühlwassers.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier Rückschlagklappen auf der Druckseite der Notnebenkühlwasserpumpen hinter den Pumpen selbst und seriell dazu vor der Einmündung in den normalen gesicherten Neben Kühlkreis,
- die beiden Rückschlagklappen auf der Druckseite der gesicherten Nebenkühlwasserpumpen vor der Einmündung der Notnebenkühlwasserleitungen, nur vorhanden, wo Notnebenkühlwasserpumpen vorhanden
- die vier motorbetätigten Absperrarmaturen in den Ausgleichsleitungen zwischen den Sammelbecken der einzelnen Zellenkühler,
- die vier Rückschlagklappen auf der Druckseite der Zusatzwasserbrunnenpumpen,
- die anderen vier Rückschlagklappen auf der Druckseite der Zusatzwasserbrunnenpumpen,
- die vier gesicherten Nebenkühlwasserpumpen, effektiv eine Dreiergruppe, da eine gesicherte Nebenkühlwasserpumpe immer läuft,
- die beiden Notnebenkühlwasserpumpen,
- die vier Zusatzwasserbrunnenpumpen,
- die fünfzehn Ventilatoren der Zellenkühler, einer wurde jeweils als normalerweise in Betrieb angenommen, Startversagen dominierten in der Betriebserfah-

rung gegenüber Betriebsversagen, so dass letztere Ausfallart vernachlässigt wurde,

- die fünfzehn Zellenkühlerpumpen, siehe Ventilatoren.

In der älteren Referenzanlage ist das Nebenkühlwassersystem im Bereich der Rohrleitungen überwiegend einsträngig. Zwei Nebenkühlwasserpumpen (Auslegung 2 x 100 %, 2000 m³/h, 4,4 bar) saugen aus dem Einlaufbecken an und bespeisen damit die Zwischenkühler des konventionellen Zwischenkühlkreises, des Komponentenkühlkreislaufs und die Kühler diverser aus betrieblichen Gründen zu kühlenden Komponenten (z. B. Maschinentransformatoren). Im Bereich der Kühler spalten sich die Leitungen entsprechend der Redundanz des zu kühlenden Systems auf. Die Rücklaufleitungen führen ins Kraftschlussbecken. Die Nebenkühlwasserpumpen sind nicht notstromgesichert. Für diesen Fall gibt es die notstromgesicherten Notnebenkühlwasserpumpen (1000 m³/h, 4,4 bar), die ebenfalls zunächst zweisträngig redundant aus dem Einlaufbecken ansaugen und dann über eine einsträngige Einspeiseleitung mit verschiedenen Abzweigungen vor den Zwischenkühlern des konventionellen Zwischenkühlkreises und des Komponentenkühlkreislaufs einspeisen.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden Rückschlagklappen druckseitig direkt hinter den Nebenkühlwasserpumpen,
- die beiden Nebenkühlwasserpumpen,
- die beiden Rückschlagklappen druckseitig direkt hinter den Notnebenkühlwasserpumpen,
- die beiden Notnebenkühlwasserpumpen.

Das EVA-gesicherte Notstandsnebenkühlwasser versorgt lediglich die Zwischenkühler des Notstandszwischenkühlsystems und ist wie dieses zweisträngig und im Hinblick auf die Nachwärmeabfuhr mit 2 x 50 % ausgelegt. Die Notstandsnebenkühlwasserpumpen (288 m³/h, 4 bar) saugen aus dem Speicherbecken eines Zellenkühlers an, bespeisen damit die Zwischenkühler, danach wird das Wasser wieder im Zellenkühler verrieselt. Ein Ventilator sorgt dabei für eine entsprechende Gegenströmung der Luft. Das System ist notstandsnotstromgesichert.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden Rückschlagklappen druckseitig direkt hinter den Notstandsnebenkühlwasserpumpen,
- die beiden Notstandsnebenkühlwasserpumpen sowie
- die beiden Zellenkühlerventilatoren.

4.2.9 Speisewasser- und Notspeisewassersysteme

Das Speisewassersystem fördert Wasser aus dem Speisewasserbehälter in die Dampferzeuger und dient daher der Wärmeabfuhr in allen Fällen, in denen das Not- und Nachkühlsystem nicht in Betrieb genommen werden kann (z. B. zu hoher Druck) oder soll (z. B. Normalbetrieb der Anlage). Die drei Speisewasserpumpen (3 x 50 %-Auslegung bezogen auf den Leistungsbetrieb) fördern auf einen gemeinsamen Sammler über den zwei Vorwärmstraßen bespeist werden können. Ein weiterer Sammler verteilt das Speisewasser dann über die Vollastregelstränge auf die vier Dampferzeuger. Das Speisewassersystem ist auf Grund der großen Leistungsaufnahme der Pumpen nicht notstromgesichert. Stattdessen wird im Notstromfall das durch das D1-Netz gesicherte An- und Abfahrssystem (2 x 50 % bezogen auf die Nachwärmeabfuhr, 151 m³/h, 103 bar) benutzt, das in diesem Falle über einen Bypass um die Vorwärmstraße herum und einen anderen Sammler über den Schwachlastregelstrang die Dampferzeuger bespeist. Für betriebliche Aufgaben (den An- und Abfahrprozess selbst) kann das An- und Abfahrssystem die Dampferzeuger auch auf dem normalen Wege bespeisen und auch das Speisewassersystem die Schwachlastregelarmaturen nutzen. Um die Anforderungen an die Redundanz der Bespeisung der Dampferzeuger im Notfall zu erfüllen gibt es zusätzlich das EVA-gesicherte Notspeisesystem. Es ist viersträngig mit einer 4 x 50 %-Auslegung aufgebaut und fördert über entweder direkt von den D2-Dieseln oder elektrisch angetriebene Pumpen Deionat aus den Deionatbecken des Systems in die Dampferzeuger. Das Notspeisesystem hat eigene Einspeisleitungen in die Dampferzeuger. Sowohl die Hilfskühler der Notspeisepumpen als auch die der D2-Diesel können über Wasser aus den Deionatbecken gekühlt werden. Beide Kühlvorgänge geschehen innerhalb eines Kühlkreises, der durch die Deionatumwälzpumpen getrieben wird.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier motorbetätigten Absperrventile in dem Volllaststrang vor dem Volllastregelventil, Drittabspernung der Dampferzeuger,
- die vier Volllastregelventile,
- die vier Absperrschieber vor den Dampferzeugern in der Einspeiseleitung hinter Volllastregelventil und der Einspeisung des Schwachlaststrangs, Zweitabspernung der Dampferzeuger,
- die vier Rückschlagventile unmittelbar vor den Dampferzeugern, Erstabspernung der Dampferzeuger,
- die vier Rückschlagventile an der Verbindung zwischen Schwachlast- und Volllaststrang,
- die vier Absperrschieber in dem Schwachlaststrang, Drittabspernung der Dampferzeuger,
- die vier Schwachlastregelventile,
- die beiden Regelventile druckseitig der An- und Abfahrpumpen,
- die beiden Freilauf-Rückschlagventile (Mindestmenge) auf der Druckseite der An- und Abfahrpumpen,
- die vier Rückschlagventile auf der Druckseite der Zahnradpumpen im Ölsystem der An- und Abfahrpumpen,
- die beiden Ventilatoren im Kühlsystem des Ölkreises der An- und Abfahrpumpen,
- die beiden An- und Abfahrpumpen,
- die vier Ölpumpen der An- und Abfahrpumpen,
- die zu den Regelventilen des An- und Abfahrsystems gehörige Druckregelung,
- die vier Regelventile druckseitig der Notspeisepumpen,
- die vier Absperrschieber druckseitig der Notspeisepumpen, Zweitabspernung der Dampferzeuger,

- die vier Rückschlagventile im Notspeisesystem unmittelbar vor den Dampferzeugern, Erstabspernung der Dampferzeuger,
- die vier Rückschlagklappen druckseitig der Deionatumwälzpumpen,
- die vier Deionatumwälzpumpen,
- die vier Freilauf-Rückschlagventile druckseitig der Notspeisepumpen (Mindestmenge),
- die vier Notspeisepumpen.

Die Speisewassersysteme der älteren Referenzanlage sind anders aufgebaut. Grundsätzlich besitzt die Anlage lediglich zwei Dampferzeuger, so dass alle Notsysteme entsprechend lediglich zweisträngig aufgebaut sind. Das Speisewassersystem selbst ist analog zur neueren Referenzanlage in einer 3 x 50 %-Auslegung (bezogen auf Volllastbetrieb) aufgebaut (1130 m³/h, 64 bar), auch der sonstige Verlauf entspricht der neueren Anlage.

Das Notspeisewassersystem entspricht hier allerdings dem An- und Abfahrssystem der neueren Anlage. Die beiden Pumpen (60 m³/h, 73 bar, 2 x 100 % in Bezug auf die Nachwärmeabfuhr), von denen eine per Elektromotor und eine per Dampfturbine (Entnahme aus dem Frischdampf) angetrieben wird, saugen aus dem Speisewasserbehälter an und bespeisen die Dampferzeuger über einen eigenen Sammler vor dem Schwachlaststrang. Das Notspeisesystem ist notstromgesichert.

Darüber hinaus gibt es einerseits das zusätzliche Notspeisesystem und andererseits das Notstandsspeisesystem. Beide verfügen über je eine gemeinsame Einspeiseleitung pro Dampferzeuger. Das zusätzliche Notspeisesystem ist auf 2 x 100 % Nachwärmeabfuhr ausgelegt und startet nur nach entsprechendem manuellem Befehl (Warte oder Leitstand vor Ort). Ein Strang besteht aus einem Deionatbehälter, einer mehrstufigen Kreiselpumpe (60 m³/h, 79 bar) und einem Diesel, der die Pumpe über ein Getriebe direkt antreibt. Die zusätzlichen Notspeisepumpen fördern in die Einspeisestränge des Notstandsspeisewassers. Saug- und druckseitig der Pumpen existieren jeweils Querverbindungen zwischen den beiden Strängen.

Das Notstandsspeisewasser ist EVA-gesichert im Notstandsgebäude untergebracht. Auch dieses System ist zweisträngig aufgebaut, wobei ein Strang die Nachwärme alleine abführen kann. Zwei Pumpen (65 m³/h, 73 bar) saugen unter Zuhilfenahme je

einer Tauchvorpumpe aus dem Deionatvorratsbecken und speisen über eigene Einspeiseleitungen in die Dampferzeuger. Druckseitig der Pumpen existieren Querverbindungen, die es ermöglichen mit einem Systemstrang beide Dampferzeuger zu bespeisen. Die Pumpen werden direkt über ein Getriebe von den Notstandsdieseln angetrieben. Die Hilfskühler der Pumpen, sowie der Notstandsdiesel und der Lüftung des Notstandsgebäudes werden ebenfalls über das angesaugte Wasser versorgt.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die drei Rückschlagventile auf der Druckseite unmittelbar hinter den Speisewasserpumpen,
- die drei Rückschlagventile in der Mindestmengenleitung der Speisewasserpumpen,
- die beiden Schwachlastregelventile,
- die beiden Rückschlagklappen vor den Schwachlastregelventilen,
- die beiden Rückschlagventile druckseitig unmittelbar hinter den Notspeisepumpen,
- die beiden Rückschlagklappen druckseitig der Notspeisepumpen,
- die beiden Notspeisepumpen,
- die beiden Freilauf-Rückschlagventile auf der Druckseite der zusätzlichen Notspeisepumpen,
- die beiden Rückschlagklappen auf der Druckseite der zusätzlichen Notspeisepumpen unmittelbar vor der Einmündung der Speiseleitungen in das Notstandsspeisewassersystem,
- die beiden Diesel, die die zusätzlichen Notspeisepumpen antreiben,
- die beiden zusätzlichen Notspeisepumpen,
- die beiden Rückschlagklappen zwischen Vorpumpe und Notstandsspeisepumpe im Notstandsspeisesystem,
- die beiden Magnetkupplungen über die die Notstandsdiesel die Notstandsspeisepumpen antreiben, mangels Betriebserfahrung wurden hier Werte geschätzt,
- die beiden Notstandsspeisepumpen,

- die beiden Vorpumpen der Notstandsspeisepumpen,
- die beiden Regelventile auf der Druckseite der Notstandsspeisepumpen,
- die insgesamt sechs Rückschlagklappen in der Einspeiseleitung des Notstandsspeisesystems, je eine vor der Einmündung der Querverbindung zum anderen Strang, je eine auf der Querverbindung vor der Einmündung in den anderen Strang und je eine hinter der Einmündung der Querverbindung vor dem Dampferzeuger, Zweit- bzw. Drittabspernung der Dampferzeuger,
- die insgesamt sechs Regelventile in den Einspeiseleitungen des Notstands- und des zusätzlichen Notspeisesystems, je eines im Notstandsspeisesystem vor der Einmündung der Querverbindungen vom anderen Strang, aber hinter der Abzweigung der Querverbindung zum anderen Strang, je eines in den beiden Querverbindungen im Notstandsspeisesystem und je eines druckseitig der zusätzlichen Notspeisepumpen direkt hinter den Freilauf-Rückschlagventilen.

4.2.10 Frischdampfsystem

Das Frischdampfsystem führt den Dampf aus den Dampferzeugern in die Turbinen. Von sicherheitstechnischer Relevanz ist hier vor allem die Absicherung gegen Überdruck, sowie die Möglichkeit des kontrollierten Abblasens von Frischdampf (FD) über Dach im Falle einer Unverfügbarkeit der Hauptwärmesenke. Dies geschieht in neueren DWR-Anlagen über die Frischdampf-Sicherheitsarmaturenstationen (FSA-Stationen). Der Armaturenblock besteht aus insgesamt fünf sicherheitsrelevanten Hauptarmaturen.

Die FD-Abschlussarmatur ist die erste Armatur hinter den Dampferzeugern. Sie besitzt zwei ablaufseitige Anschlüsse, an einem setzt die Leitung Richtung Turbine an, an dem anderen befinden sich die restlichen Armaturen der FSA-Station. Ihre Sicherheitsfunktion besteht darin, den Anschluss Richtung Turbine zu verschließen.

Hinter der FD-Abschlussarmatur befindet sich das Abblaseabsperventil. In ihm zweigen die Abblaseleitungen zum FD-Abblaseregelventil (FD-ARV) ab, der Weg zur nächsten Armatur bleibt immer offen. Im Normalbetrieb ist das Abblaseabsperventil geschlossen, im Falle einer Störung am FD-ARV sperrt es den Weg zu der defekten Armatur ab. Um über das FD-ARV den Druck zu regulieren (z. B. bei Teilabfahren mit 100K/h) müssen die Ventile geöffnet werden.

Hinter dem Abblaseabsperrventil befindet sich das Absperrventil vor dem Sicherheitsventil. Im Normalbetrieb ist dieses Ventil offen. Seine Aufgabe besteht darin, bei fehlerhaftem Offenbleiben des FD-Sicherheitsventils dieses vom Dampfstrom abzusperren.

Dahinter befindet sich dann das FD-Sicherheitsventil, das bei zu hohem FD-Druck öffnet und den Frischdampf in die Atmosphäre entlastet.

Hinter dem FD-Sicherheitsventil befindet sich in der Regel eine Anwärmlleitung für die Frischdampfleitung, in der auch Absperr- und Regelarmaturen zu finden sind. Diese sind jedoch nicht sicherheitsrelevant.

Die letzte sicherheitsrelevante Armatur der FSA-Station ist das FD-ARV. Es befindet sich in der Abblaseleitung, die im Abblaseabsperrventil abzweigt. Mit dem FD-ARV kann regelnd auf den FD-Druck eingewirkt werden.

Für die neuere Referenzanlage wurden folgende Komponentengruppen gebildet (für größere Komponentengruppen wurden auf Grund der ansonsten zu großen Anzahl an Basisereignissen teilweise sogenannte GVA-Module angelegt, bei denen Komponenten eines Stranges bereits während der Berechnung der Zuverlässigkeitsdaten kombinatorisch zusammengefasst werden):

- Die vier FD-Abblaseregelventile,
- die acht motorbetriebenen Vorsteuerventile (VSV) zum Öffnen der Abblaseabsperrventile,
- die 16 Magnet-VSV zum Schließen der FD-Abschlussarmatur,
- die 24 Magnet-VSV zum Öffnen der FD-Sicherheitsventile,
- die acht Magnet-VSV zum Öffnen der Abblaseabsperrventile,
- die vier FD-Abschlussarmaturen (Zahlen lediglich geschätzt),
- die vier Abblaseabsperrventile (Zahlen lediglich geschätzt),
- die vier Absperrventile vor den Sicherheitsventilen (Zahlen lediglich geschätzt),
- die vier FD-Sicherheitsventile (Zahlen lediglich geschätzt).

Darüber hinaus wurden für einige Komponentengruppen übergreifende Ausfallwahrscheinlichkeiten geschätzt:

Gemeinsamer Ausfall der Abblaseabsperrventile und der FD-Sicherheitsventile (Ausfallart: 'Öffnet nicht'),

gemeinsamer Ausfall der Absperrventile vor den FD-Sicherheitsventilen und den FD-Sicherheitsventilen (Ausfallart: 'Schließt nicht nach Öffnen'), später dann vernachlässigt.

In der älteren Referenzanlage ist die Druckabsicherung der Dampferzeuger grundsätzlich ähnlich aufgebaut, im Detail gibt es jedoch einige Unterschiede: Es gibt keine FSA-Station, stattdessen ersetzen mehrere eigenmediumbetätigte Einzelarmaturen den Armaturenblock. Die Abzweigungen für die Anwärmleitungen befinden sich noch vor den FD-Abschlussarmaturen. Da es nur zwei Dampferzeuger gibt, besitzt jeder Dampferzeuger zwei FD-Sicherheitsventile, um im Bereich der Druckabsicherung eine höhere Redundanz zu erreichen. Dementsprechend existieren insgesamt vier Absperrventile vor den FD-Sicherheitsventilen. Im Gegensatz zur neueren Anlage sind die Abblaseabsperrventile in dieser Anlage im Normalbetrieb geöffnet. Außerdem unterscheiden sich die VSV in Anzahl und Art der Ansteuerung. Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden FD-Abschlussarmaturen,
- die beiden motorbetätigten Absperrventile in den Frischdampfanwärmleitungen,
- die beiden motorbetätigten Regelventile in den Frischdampfanwärmleitungen,
- die vier Absperrventile vor den FD-Sicherheitsventilen,
- die vier FD-Sicherheitsventile,
- die acht federbetätigten VSV der Sicherheitsventile,
- die acht federbetätigten VSV mit magnetischer Zusatzbelastung der FD-Sicherheitsventile (Ausfallart schließt nicht nach Öffnen, daher auch Zusatzbelastung relevant),
- die beiden Abblaseabsperrventile,
- die beiden FD-Abblaseregelventile.

Auch hier wurden komponentengruppenübergreifende GVA unterstellt, nämlich zwischen folgenden Komponenten:

- Die insgesamt 16 federbetätigten VSV der FD-Sicherheitsventile (zwei pro Ventil) und der Absperrventile vor den FD-Sicherheitsventilen (zwei pro Ventil),
- die insgesamt 40 magnetbetätigten VSV der pneumatischen Offenhaltung der FD-Schnellschlussventile (4 pro Ventil), der Abblaseabsperrventile (8 pro Ventil) und der Sicherheits-Absperrventile (4 pro Ventil),
- die insgesamt 24 magnetbetätigten VSV der FD-Abschlussarmaturen (vier pro Ventil), der Abblaseabsperrventile (vier pro Ventil) und der Absperrventile vor den FD-Sicherheitsventilen (zwei pro Ventil),
- die insgesamt acht Sicherheitsventile und Absperrventile vor den Sicherheitsventilen.

4.2.11 Volumenregelsystem

Das Volumenregelsystem dient dazu, die Entnahme und Einbringung von zusätzlichem Kühlmittel aus oder in den Primärkreis im Normalbetrieb der Anlage zu regeln. In der neueren betrachteten Referenzanlage ist das Volumenregelsystem folgendermaßen aufgebaut: Der Hochdruckteil der Entnahme des Volumenregelsystem besteht aus einer Entnahmeleitung, die aus dem kalten Strang eines Loops ansaugt, je zwei redundanten Rekuperativwärmetauschern und Hochdruckkühlern, in denen das entnommene Kühlmittel gekühlt wird und zwei HD-Reduzierstation, in denen das bis dahin unter Primärdruck stehende Kühlmittel auf 4 bar entspannt wird. Hinter der Reduzierstation wird das Kühlmittel auf die ND-Hilfssysteme (z. B. Kühlmittelreinigung, Kühlmittellagerung, Chemikalieneinspeisung) und den Volumenausgleichsbehälter aufgeteilt. Die Einspeisung in den Primärkreis erfolgt über drei redundante HD-Förderpumpen (36 m³/h, 168 bar). Die Einspeiseleitung verzweigt sich hinter den Pumpen zwischenzeitlich auf einen Strang, wird über die Rekuperativwärmetauscher vorgewärmt und speist dann entweder über eine Leitung in den Druckhalter oder über vier Leitungen in die kalten Stränge der Loops.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden motorbetätigten Absperrventile in den Einspeiseleitungen in den Primärkreis vor den Rekuperativwärmetauschern, Zweitabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden motorbetätigten Absperrventile in den Saugleitungen vor den Rekuperativwärmetauschern, Erstabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden motorbetätigten Absperrschieber vor der Vereinigung der Einspeiseleitungen in den Druckhalter,
- die vier Rückschlagventile in den Einspeiseleitungen unmittelbar vor der Einmündung in den Primärkreis, Erstabspernung gegen den Primärkreis,
- die beiden seriellen, motorbetätigten Absperrarmaturen hinter der HD-Reduzierstation nach der Vereinigung der beiden Leitungen, Gebäudeabschlussarmaturen zwischen SB und Ringraum,
- die drei Freilauf-Rückschlagventile druckseitig der HD-Förderpumpen mit einer Rücklaufleitung in den Volumenausgleichsbehälter (Mindestmenge) und einem Bypass um die folgende Armatur (Anwärmeleitung), effektiv eine Zweier-Gruppe, da ein Ventil immer in Betrieb, also offen,
- die drei Absperrschieber druckseitig der HD-Förderpumpen hinter den Freilauf-Rückschlagventilen,
- die beiden motorbetätigten Absperrarmaturen im einsträngigen Bereich der Einspeiseleitung, Gebäudeabschlussarmaturen zwischen SB und Ringraum,
- die beiden Drei-Wege-Ventile, die auswählen, ob in Druckhalter oder Loop eingespeist wird.

In der älteren Referenzanlage ist das System analog aufgebaut, es existiert hier allerdings nur ein Rekuperativwärmetauscher, zweisträngig wird das System erst im Bereich der HD-Kühler. Dies hat auch zur Folge, dass die beiden Einspeiseleitungen des Systems nicht völlig redundant sind. Lediglich eine Leitung hat eine Vorwärmung durch den Rekuperativwärmetauscher, ihre beiden Einspeiseleitungen führen in die heißen Stränge der beiden Loops. Die andere Leitung kommt ohne Vorwärmung aus und speist den kalten Loop, aus dem nicht entnommen wird. Beide Leitungen verfügen über je eine Einspeisemöglichkeit in den Druckhalter. Vom Volumenregelsystem wurde

in der PSA dieser Anlage kein Kredit genommen, es wurden daher nur Zuverlässigkeitsgrößen für die Absperrarmaturen bestimmt:

- Die beiden Rückschlagventile in den Sprühleitungen des Druckhalters sowie
- die beiden motorbetätigten Absperrventile in den Sprühleitungen des Druckhalters.

4.2.12 Borsäure- und Deionateinspeisung

Die Borsäure- und Deionateinspeisung stellt sicher, dass sich im Primärkreis die neutronenphysikalisch erwünschte Borsäurekonzentration einstellt. Die Bespeisung selbst übernimmt dabei das Volumenregelsystem, die Borsäure- und Deionateinspeisung stellt lediglich die passende Konzentration im Fördermedium sicher.

In der neueren Referenzanlage gibt es hierzu zwei Teilsysteme, die beide in das Volumenregelsystem einspeisen, einerseits die Deionateinspeisung, andererseits die Borsäureeinspeisung. Beide sind im Bereich der Pumpen zweisträngig aufgebaut um auch bei einem einzelnen Ausfall das System betrieblich weiter nutzen zu können. Die Deionateinspeisung saugt mit den sogenannten Rückspeisepumpen (46,8 m³/h, 5 bar, nicht zu verwechseln mit den gleichnamigen Pumpen im Notkühlsystem der älteren Referenzanlage) aus der Kühlmittellagerung Deionat an. Die Borsäureeinspeisung saugt mit den Borsäurepumpen (21,6 m³/h, 6,7 bar) aus den Borsäurebehältern (212 m³) an, die Borsäurebehälter werden über die Borsäurespeisepumpe aus dem Borsäureansatzbehälter bespeist, in dem die Borsäure gemischt wird. Von dort werden auch die Flutbehälter des Not- und Nachkühlsystems sowie die Borierbehälter des Zusatzboriersystems gefüllt.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die beiden Rückschlagventile druckseitig der Borsäurepumpen,
- die beiden Regelventile druckseitig der Borsäurepumpen,
- die beiden Rückschlagventile druckseitig der Rückspeisepumpen sowie
- die beiden Regelventile druckseitig der Rückspeisepumpen.

Der Aufbau der Boreinspeisung in der älteren Referenzanlage ist im Prinzip identisch, die Deionateinspeisung ist dort Teil der Kühlmittellagerung. Von diesem System wurde

allerdings sicherheitstechnisch kein Kredit genommen, da bereits das Volumenregelsystem als nicht verfügbar angenommen wurde.

4.2.13 Lüftungsanlagen

Im Allgemeinen werden in den Lüftungsanlagen der Kernkraftwerke keine GVA angenommen, da der Ausfall der verfahrenstechnischen Komponenten auf Grund der hohen Wärmekapazität der zugehörigen Räume sehr lange Karenzzeiten zur Behebung zulässt bevor es zu Folgeausfällen kommt, und dementsprechend auch keine GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet. Deshalb werden im Folgenden lediglich kurz die Lüftungsteilsysteme beschrieben, für die GVA-Wahrscheinlichkeiten errechnet wurden, weil die Karenzzeiten relativ kurz sind. Es handelt sich dabei ausschließlich um Lüftungsanlagen von Batterie- und Dieselräumen.

In der neueren Referenzanlage wurden insgesamt zwei Teilsysteme im Hinblick auf GVA betrachtet. Zum einen die Umluftkühlanlage der Dieselräume im Notspeisegebäude, die im Störfallbetrieb Luft aus den Dieselräumen im Notspeisegebäude ansaugt, über einen Wärmetauscher, der sekundärseitig vom Notspeisewasser bespeist wird leitet und anschließend wieder in den Raum ableitet. Das System ist entsprechend dem Notspeisesystem viersträngig (ein Strang pro Raum) aufgebaut und vom D2-Notstromnetz versorgt. Zum anderen handelt es sich um die Fortluftsysteme im Notstromerzeugergebäude. Diese saugen aus den Räumen in denen die Notstromdiesel stehen mit D1-notstromgesicherten Ventilatoren an und fördern diese Luft ins Freie.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier Ventilatoren der Umluftanlage der Dieselräume des Notspeisegebäudes und
- die vier Ventilatoren der Abluftanlage der Dieselräume des Notstromerzeugergebäudes.

In der älteren Referenzanlage wurden ebenfalls zwei Teilsysteme betrachtet. Eines ist die Umluftkühlanlage der Dieselräume der Notstandsdiesel. In diesem zweisträngig (ein Strang pro Raum) aufgebauten System saugen notstandsnotstromgesicherte Ventilatoren Luft aus den Räumen an und leiten sie über mehrere Wärmetauscher, die sekundärseitig entweder vom Notstandsspeisewasser oder vom Notstandszwischen-

kühlwasser bespeist werden, bevor sie wieder in die Dieselräume gefördert wird. Das andere Teilsystem ist die Fortluftanlage der Batterieräume.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Die vier Fortluftventilatoren der Fortluftanlage der Batterieräume im Notstromerzeugergebäude,
- die beiden Umluftventilatoren der Umluftkühlanlage der Dieselräume im Notstandsgebäude sowie
- die Wärmetauscher der Umluftkühlanlage der Dieselräume im Notstandgebäude.

4.2.14 Gebäudeabschlussarmaturen in verschiedenen betrieblichen Systemen

Im Rahmen der Störfallbewältigung ist es häufig nötig verschiedene Gebäude vom Rest der Anlage abzusperren, man spricht von einem Gebäudeabschluss (GBA). Dies betrifft im Druckwasserreaktor vor allem den Sicherheitsbehälter (SB). Verschiedene an sich rein betriebliche Systeme besitzen daher einzelne sicherheitsrelevante GBA-Armaturen, für die auch GVA unterstellt werden. Es wird hier darauf verzichtet, Funktion und Aufbau der einzelnen Systeme genauer zu erläutern, da die sicherheitstechnische Funktion der in den Komponentengruppen zusammengefassten Armaturen klar ist.

In der neueren Referenzanlage wurden folgende GBA-Armaturen zu Komponentengruppen zusammengefasst:

- Die vier motorbetätigten Absperrklappen im betrieblichen Zwischenkühlkreis am Durchgang zwischen SB und Ringraum,
- die beiden motorbetätigten Absperrklappen im betrieblichen Zwischenkühlkreis am Durchgang zwischen Ringraum und Hilfsanlagegebäude,
- die vier motorbetätigten Absperrklappen im Lüftungssystem des Reaktorgebäudes/SB am Durchgang zwischen SB und Ringraum sowie
- die beiden motorbetätigten Absperrventile in der Sperrwasserversorgung der Hauptkühlmittelpumpen (HKP) am Durchgang zwischen SB und Ringraum.

In der älteren Referenzanlage wurden folgende GBA-Armaturen zu Komponenten-
gruppen zusammengefasst:

- Die vier magnetisch-pneumatisch-betätigten Gebäudeabschlussklappen der Zu-
luftanlage der Betriebsräume des Reaktorgebäudes am Durchgang zwischen
Ringraum und Reaktorgebäude und der Fortluftanlage des Kontrollbereichs am
selben Gebäudeübergang,
- die beiden magnetisch-pneumatisch-betätigten Gebäudeabschlussklappen der
Fortluftanlage der Anlagenräume des Reaktorgebäudes am Durchgang zwi-
schen Ringraum und SB,
- die drei Regelventile neben den oben genannten GBA-Armaturengruppen,
- die vier motorbetätigten Absperrklappen des Zwischenkühlkreises Reaktorge-
bäude, der das Teilsystem des konventionellen Zwischenkühlkreises darstellt,
das die Komponenten im Reaktorgebäude versorgt, am Durchgang zwischen
Ringraum und Hilfsanlagegebäude.

4.2.15 Notstromanlagen

Um bei Ausfall der Eigenbedarfsversorgung alle sicherheitstechnisch relevanten Ver-
braucher mit Strom zu versorgen, besitzt jedes Kraftwerk eine Notstromanlage.

Im neueren der beiden betrachteten Kernkraftwerke sind die Notstromanlagen vier-
strängig mit einer 4 x 50 %-Auslegung aufgebaut. Die Blockanlage besteht aus einem
Generator mit zwei Maschinentransformatoren und je einem Generatorschalter und
oberspannungsseitigem Leistungsschalter, welcher die Anlage mit dem 400 kV-Hoch-
spannungsnetz verbindet. Über zwei Eigenbedarfstransformatoren werden die 10 kV-
Blockschienen entweder vom Hauptnetz oder vom Blockgenerator versorgt. Als alter-
native Einspeisung steht ein Fremdnetztransformator zur Verfügung, der die Block-
schienen mit dem örtlichen 110 kV-Fremdnetz versorgen kann. Er ist in seiner Kapazi-
tät allerdings insoweit beschränkt, als dass er nur die zum Abfahren der Anlage not-
wendigen Verbraucher versorgen kann. Ein unterirdisch verlegtes Kabel bietet eine
dritte Versorgungsmöglichkeit mit reduzierter Kapazität für eine Nachkühlkette.

Unter den 10 kV-AC-Blockschienen beginnt die eigentliche Notstromanlage, das soge-
nannte D1-Notstromnetz. Es gibt insgesamt vier 10 kV-AC-Notstromschienen, die je-

weils von einem Notstromdiesel oder den zugehörigen Blockschiene bespeist werden können. An den Notstromschienen hängen die sicherheitstechnisch relevanten Verbraucher (z. B. Not- und Nachkühlpumpen). Der Vorrat an Betriebsmitteln der Diesel ist ausreichend um eine Laufzeit von mindestens 72 Stunden zu garantieren. Über den den Notstromschienen unterlagerten Notstromtransformator werden die 660 V- und 380 V-AC-Notstromschienen bespeist. Von den 660 V-AC-Schienen werden über zwei Gleichrichter die 220 V-Gleichstromschienen versorgt. Für den Fall eines Spannungsabfalls auf den 660 V-AC-Schienen verhindert eine Pufferbatterie bis zum Anlaufen der Notstromdiesel einen Spannungsabfall auf den Gleichspannungsschienen. Über Wechselrichter werden von den 220 V-DC-Notstromschienen die unterbrechungsfrei gesicherten 380 V-AC-Notstromschienen bespeist. Die 380 V-AC-Notstromschienen bespeisen über Gleichrichter noch die 24/48 V-DC-Schienen der Leittechnik, die ebenfalls batteriegestützt ausgeführt sind. Die Batteriekapazität reicht hier für mindestens zwei Stunden aus. Verbindungen zwischen den Schienen sind durch zwei Leistungsschalter trennbar.

Das D2-Notstromnetz wird im Normalbetrieb von den 380 V-Notstromschienen des D1-Notstromnetzes bespeist. Es besteht aus vier 380 V-AC-Notstromschienen, die ihrerseits über Gleichrichter batteriegesicherte 24/48 V-DC-Notstromschienen versorgen. Im Anforderungsfall, also bei Einwirkungen von außen, gegen die das gesamte D2-Notstromnetz ausgelegt ist, oder bei Ausfällen im D1-Notstromnetz, übernehmen die vier D2-Notstromdiesel die Versorgung des D2-Notstromnetzes. Verbindungen zwischen den Schienen sind durch zwei Leistungsschalter trennbar.

Es wurden folgende Komponentengruppen gebildet:

- Eine allgemeine Vierergruppe für alle 10 kV-Kuppelschalter; da das gesamte System viersträngig aufgebaut ist, konnten die Zahlen dieser Gruppe für alle Kuppelschaltergruppen verwendet werden;
- eine allgemeine Vierergruppe für alle 380 V-Kuppelschalter;
- die vier Notstromdiesel des D1-Notstromnetzes (abweichend vom sonstigen Vorgehen ohne die Generatorschalter);
- die vier Notstromdiesel des D2-Notstromnetzes (abweichend vom sonstigen Vorgehen ohne die Generatorschalter);
- die vier Batterien auf den 220 V-DC-Schienen (Zahlen geschätzt);

- die vier Batterien auf den D1-24/48 V-DC-Schienen (Zahlen geschätzt);
- die vier Batterien auf den D2-24/48 V-DC-Schienen (Zahlen geschätzt);
- die vier Generatorschalter der D1-Notstromdiesel;
- die vier Generatorschalter der D2-Notstromdiesel.

In dem älteren Kraftwerk ist die Notstromanlage zweisträngig aufgebaut. Die Blockanlage besteht aus einem Generator, einem Maschinentransformator, dem Generatorschalter und einem hochspannungsseitigen Leistungsschalter. Die Versorgung der Blockschienen erfolgt über einen Eigenbedarfstransformator, alternativ dazu über einen Fremdnetztransformator, hier für den vollen Eigenbedarf im Leistungsbetrieb ausgelegt oder eine Baustromleitung, die nur die Notstromverbraucher versorgen kann.

Die beiden 380 V-AC-Notstromschienen werden im Normalbetrieb über je einen Trafo von den beiden 6 kV-AC-Blockschienen versorgt. Im Notstromfall steht für jede Schiene ein Notstromdiesel bereit, ein drittes Aggregat kann per Hosenbeinschaltung auf beide Notstromschienen einspeisen. Von den 380 V-AC-Notstromschienen werden sowohl die 220 V-DC-Schienen als auch die 24/48 V-DC-Schienen über Gleichrichter versorgt. Die DC-Schienen sind alle batteriegesichert. Von den 220 V-DC-Schienen aus wird über Wechselrichter die unterbrechungsfrei gesicherten 380 V-AC-Schienen versorgt.

Das Notstandsnotstromsystem ist ebenfalls nach einer 2 x 100 %-Auslegung aufgebaut. Es besteht aus den Notstandsdieseln, die auf die 380 V-AC-Notstandsschienen einspeisen, die über Gleichrichter das 24/48 V-DC-Notstandsnetz versorgen. Im Normalbetrieb erfolgt die Versorgung der Schienen über zwei Transformatoren von den Blockschienen aus.

Das zusätzliche Sicherheitseinspeisesystem hat ein separates, autarkes Notstromsystem. Die beiden Diesel, die auch die Pumpen direkt antreiben, bespeisen zwei 380 V-AC-Schienen über die mittels zweier Gleichrichter auch eigene 24/48 V-DC-Schienen versorgt werden. Alle Armaturen, Antriebe, Messstellen etc. dieses Systems hängen an diesem sogenannten ZSE-Netz. Betrieblich kann dieses Netz mit 380 V-AC-Unterschienen der Blockschienen verbunden werden.

Bei der Bildung der Komponentengruppen wurden insbesondere die Hilfsbatterien der zahlreichen Dieselaggregate der Anlage genau betrachtet:

- Die beiden Generatorschalter der Notstandsnotstromdiesel,
- die beiden Batterien der 220 V-DC-Schienen der Notstromversorgung,
- die beiden Batterien der 24/48 V-DC-Schienen der Notstromversorgung,
- die beiden Batterien der 24/48 V-DC-Schienen der Notstandsnotstromversorgung,
- die beiden 24 V-Steuerbatterien der Diesel des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems,
- die beiden 24 V-Starterbatterien der Diesel des zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystems,
- die drei 24 V-Starterbatterien der Notstromdiesel,
- die drei 24 V-Starterbatterien der Diesel des Sicherheitseinspeisesystems,
- die drei 24 V-Steuerbatterien der Diesel des Sicherheitseinspeisesystems,
- die beiden 24 V-Steuerbatterien der Diesel des zusätzlichen Notspeisesystems,
- die beiden 24 V-Starterbatterien der Diesel des zusätzlichen Notspeisesystems,
- die beiden 24 V-Starterbatterien der Notstandsnotstromdiesel,
- die drei Notstromdiesel,
- die beiden Notstandsnotstromdiesel.

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

4.3.1 Bereits unterstellte komponentengruppenübergreifende Ausfälle

Zusammengefasst folgen die meisten gebildeten Komponentengruppen den in Abschnitt 3.1 bzw. 3.2 vorgestellten Regeln zur Bildung von Komponentengruppen. Es gibt jedoch einige Ausnahmen, die man als komponentengruppenübergreifende Ausfälle betrachten kann:

Wenn ein System verfahrenstechnisch so aufgebaut ist, dass jeder Strang potentiell die Einspeiseleitungen aller Stränge nutzen kann, wurden in einigen Fällen die Rück-

schlagarmaturen, die in den entsprechenden Leitungen und Querverbindungen angebracht sind, als gemeinsame Gruppe betrachtet. Dies wird technisch dadurch gerechtfertigt, dass erstens als Systemfunktion der Ausfall der Bespeisung betrachtet wird, der durch bestimmte GVA-Kombinationen dieser Armaturen zu erreichen ist. Zweitens sind die entsprechenden Armaturen vom gleichen Armaturentyp.

Beispiele hierfür sind:

- Im zusätzlichen Notspeise- und dem Notstandsspeisesystem der älteren Referenzanlage befinden sich jeweils druckseitig der Pumpen Regelventile; eingespeist wird über gemeinsame Leitungen des Notstandsspeisesystems. Auch in den Leitungen, mit denen die einzelnen Redundanzen des Notstandsspeisesystems jeweils über die Einspeiseleitung der anderen Redundanz die Dampferzeuger bespeisen, befinden sich Regelventile. Für all diese Armaturen wird ein gemeinsamer Ausfall unterstellt.
- Hinter diesen Regelventilen befinden sich außerdem Rückschlagklappen, auch für diese wird ein übergreifender GVA unterstellt.

Insbesondere bei GVA in der Druckabsicherung im Frischdampfsystem wurde ebenfalls von den Regeln aus /FAK 05/ abgewichen. Dies ist erstens durch die Betriebserfahrung begründet. Man hatte bereits in der Praxis Ereignisse beobachtet, bei denen es zu gemeinsamen Ausfällen nicht redundanter Hauptarmaturen im Bereich der FSA-Station gekommen war. Zweitens waren im Bereich der Vorsteuerventile für nicht-redundante Hauptarmaturen in größerem Umfang die gleichen Ventiltypen im Einsatz.

Entsprechend wurden unter den VSVs gleicher Ansteuerungsart (federbetätigt, magnetbetätigt) verschiedener Hauptarmaturen übergreifende Ausfälle unterstellt. Bei den Hauptarmaturen wurden insbesondere gleichzeitige Ausfälle der Sicherheitsventile und ihrer Absperrventile unterstellt, da dies ein nicht-absperbares Leck des Dampferzeugers in Richtung der Atmosphäre und damit ein Ausdampfen des Dampferzeugers zur Folge hätte. Außerdem wurde bei der neueren Referenzanlage ein Nichtöffnen der Sicherheitsventile und der Absperrventile der Abblaseregelventile unterstellt, da dies ein Versagen der Druckabsicherung darstellt.

Ebenfalls nur für die neuere Referenzanlage wurde ein gemeinsamer Ausfall der typgleichen motorbetätigten Vorsteuerventile der Druckhalterarmaturenstation (DH-

Sicherheitsventile und DH-Abblaseventile) unterstellt, da auch hier identische Ventiltypen zum Einsatz kommen. Es zeigt sich allerdings, dass dieser Ausfall auf Grund noch möglicher Handmaßnahmen lediglich unwesentlich zur Kernschadenshäufigkeit beiträgt, so dass er bei der Minimalschnittanalyse des Fehlerbaums nicht auftaucht.

4.3.2 Vergleich der in der PSA unterstellten GVA mit beobachteten GVA aus der GVA-Datenbank der GRS

Ein Vergleich der Komponentenarten, für die in /FRE 98/ und /HOL 01/ Komponenten-
gruppen gebildet wurden (siehe Abschnitt 4.2), mit den Komponentenarten, der in der
GVA-Datenbank der GRS als GVA-Ereignis (GD) bewerteten Ereignisse, kann Auf-
schluss darüber geben, an welchen Komponenten es zukünftig empfehlenswert sein
kann, GVA zu modellieren. An folgenden Komponentenarten wie sie in der GVA-
Datenbank definiert werden, wurden im Rahmen der PSA /FRE 98/ und /HOL 01/ GVA
unterstellt: 'Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme', 'Absperrschie-
ber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme', 'Absperrventile (motorbetätigt), Was-
ser führende Systeme', 'FD-ARV', 'FD-Absperrarmaturen (eigenmediumgesteuert),
FSA', 'Regelventile', 'Rückschlagklappen', 'Rückschlagventile', 'Rückschlagventile (ab-
sperrbar)', 'Rückschlagventile (kolbenbetätigt aufziehbar)', 'Schnellschlussklappen
(Lüftung)', 'Sicherheitsventile (eigenmediumbetätigt)', 'Vorsteuerventile (federbelastet)',
'Vorsteuerventile (magnetbetätigt)', 'Vorsteuerventile (motorbetätigt)', 'Batterien', 'Leis-
tungsschalter mit Federantrieb (zwischen Unterverteilungen)', 'Notstromdiesel', 'Ven-
tilatoren', 'Wärmetauscher', 'Druckmessungen: Messrohrleitungen', 'Druckmessungen:
Messumformer', 'Druckmessungen: Grenzwertgeber' und 'Kreiselpumpen'.

Da es sich bei der betrachteten PSA um eine PSA der Stufe 1 für anlageninterne Er-
eignisse (ohne Einwirkungen von innen und außen) handelte, wurden zu aktiven Kom-
ponenten des Brandschutzes keine Betrachtungen angestellt und folglich auch keine
GVA angenommen. In der GVA-Datenbank sind trotzdem alle bisher entdeckten GVA
auch an Brandschutzeinrichtungen verzeichnet. Bei den entsprechenden Komponen-
tenarten handelt es sich um: 'Feuerlöschventile (incl. Zeitbaugruppen)', 'Vorsteuerven-
tile in Wasserlöschanlagen (magnetbetätigt)', 'Batterien (keine Blockbatterien)' (bei
dieser Komponentenart handelt es sich um Bleigelakkumulatoren, die in den Brand-
meldezentralen als Batterien zum Einsatz kommen) und 'Rauchmelder'.

Einige Komponentenarten kommen in den hier betrachteten Druckwasserreaktoren gar nicht oder nicht an sicherheitsrelevanter Stelle zum Einsatz und wurden daher hinsichtlich gemeinsam verursachter Ausfälle nicht betrachtet. In DWR überhaupt nicht zum Einsatz kommen die Komponentenarten 'FD-Absperrarmaturen (eigenmediumgesteuert) FD-ISO-Ventile' (Große schnellschließende Armaturen für den Durchdringungsabschluss der Frischdampfleitungen in Siedewasserreaktoren) und 'Steuerstäbe (SWR)', 'Absperrventile (motorbetätigt), Dampf führende Systeme' kommen im DWR nicht in sicherheitsrelevanten Positionen vor, da die potentiell mit Dampf beaufschlagten, sicherheitsrelevanten Armaturen am Druckhalter entweder eigenmediumbetätigt oder lediglich Vorsteuerventile sind. Ebenso verhält es sich mit den Armaturen der FSA-Station des Frischdampfsystems. Die übrigen Armaturen des Frischdampf- und Turbinensystems sind wiederum nicht sicherheitsrelevant (z. B. Absperrventile auf den Anwärmlösungen des FD-Systems). In Siedewasserreaktoren (SWR) gibt es allerdings sicherheitsrelevante Armaturen dieser Komponentenart (z. B. die diversitären Druckbegrenzungsventile).

Bei dem einzigen zu der Komponentenart 'Absperrschieber (motorbetätigt), Dampf führende Systeme (mit Dämpfungskolben)' gehörigen Ereignis handelt es sich um einen Ausfall der Frischdampfschieber einer Anlage. Bei den Frischdampfschiebern handelt es sich um Armaturen, deren verfahrenstechnische Aufgabe vergleichbar mit denen der Frischdampfabsperrarmatur ist (siehe Abschnitt 4.2.10). Für die Armaturen an dieser verfahrenstechnischen Position wurden in beiden PSA GVA angenommen, die Komponentenart konnte dabei allerdings nicht verwendet werden: In der neueren Referenzanlage gibt es keine derartigen Schieber, da dort an dieser Stelle die entsprechende Armatur der FSA-Station zum Einsatz kommt. In der älteren Referenzanlage gibt es zwar keine FSA-Station, die den Frischdampfschiebern entsprechenden Armaturen sind aber dennoch nicht in Schieberbauweise ausgeführt.

Für die Komponentenart 'Absperrventile (motorbetätigt), Gas führende Systeme' gab es zum Zeitpunkt der Datenerhebung der betrachteten PSA noch keine erfassten Ereignisse. Zum damaligen Zeitpunkt wurde bei der Bestimmung von GVA-Wahrscheinlichkeiten an Absperrventilen auch noch keine Unterscheidung nach Betriebsmedium durchgeführt. Die beobachteten Ausfälle fanden außerdem in dem Wasserstoffüberwachungssystem und dem Druckluftsystem statt. Dabei handelt es sich nicht um Systeme, die im Rahmen einer PSA der Stufe 1 üblicherweise betrachtet werden.

Die Komponententart 'Absperrventile in Betriebssystemen' betrifft ebenso wie die Komponententart 'Mindestmengenventile mit Hubmagnet' Ventile, die direkt per Hubmagnet bewegt werden und nicht in sicherheitstechnisch relevanten Systemen vorkommen. Die entsprechenden Einträge in der GVA-Datenbank dienen Dokumentationszwecken.

'Drei-Wege-Ventile in wasserführenden Systemen' und 'Rückschlagventile (aufziehbar)' stellen Sonderfälle dar. Zwar gab es zum Zeitpunkt der Datenerhebung der hier untersuchten PSA noch keine Ereignisse für diese Komponententarten, trotzdem wurden entsprechende Ausfallwahrscheinlichkeiten geschätzt. Bei den Drei-Wege-Ventilen, speziell für die Betrachtung des Sumpfansaugventils im Nachkühlsystem, entschied man sich nach einer detaillierteren Betrachtung des Aufbaus, dass angesichts der konstruktiven Gemeinsamkeiten (Sitzausführung, anstehender Differenzdruck, Spindel, Stopfbuchse, Stellantrieb, Getriebe und Nennweite) auf die Betriebserfahrung mit 'Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme' im Nachkühlsystem zurückgegriffen werden konnte. Analog wurde bezüglich der Rückschlagventile verfahren.

Für Komponenten der Komponententarten 'Handabsperrentile, Dampf' und 'Handabsperrentile, kein Dampf' wurden in den ausgewerteten PSA keine GVA unterstellt, da im Ereignisablauf keine Zustandsänderungen angefordert werden und der Beitrag zur Systemunverfügbarkeit daher klein ist. Bei dem Ereignis an Handabsperrentilen mit dem Medium Dampf handelt es sich um ein Ereignis aus der älteren der beiden bisher betrachteten Referenzanlagen. Betroffen waren Handarmaturen zum Absperrn der Steuerleitungen der DH-SiV-Vorsteuerventile. Ausfälle an diesen könnten alternativ auch je nach Ausfallart als Ausfälle der Vorsteuerventile oder der Hauptarmaturen selbst interpretiert werden. Für letztere wurden in den PSA auch GVA angenommen. Bei den Ereignissen mit Handarmaturen ohne Dampf als Medium handelt es sich entweder um Ereignisse, die beim Anfahren der Anlage bemerkt wurden und daher lediglich für den Nichtleistungsbetrieb von Belang sind, (z. B. irrtümliche Absperrungen im Volumenregelsystem (in der betroffenen Anlage ein Sicherheitssystem, da keine eigene Zusatzboriereinrichtung vorhanden) oder die irrtümliche Absperrung der Frischdampfdruckmessungen in einer ausländischen Anlage (IRS-Ereignis)) oder um Ereignisse in betrieblichen Systemen (z. B. Ventile der Entwässerungsleitung eines Vorwärmers).

Bei der Komponententart 'Schnellschlussventile (Lüftung)' handelt es sich um GBA-Armaturen in der Lüftung. Bei den Schnellschlussventilen handelt es sich um eine Ar-

maturrenart, die spezifisch nur in Konvoi-Anlagen zum Einsatz kommt und daher für die ältere Referenzanlage grundsätzlich nicht betrachtet werden muss. Bei der neueren Referenzanlage handelt es sich um eine Konvoi-Anlage, so dass die Komponentenart hier hätte betrachtet werden können. Allerdings wurden zum Zeitpunkt der Erstellung nicht zwischen den verschiedenen GBA-Armaturenarten unterschieden, so dass alle Armaturen als Schnellschlussklappen betrachtet wurden.

Die Komponentenart 'Sicherheitsventile (federbelastet mit Wasservorlage in Gassystemen)' betrifft lediglich Sicherheitsventile mit einer konstruktiven Eigenheit, wie sie nicht in Sicherheitssystemen zum Einsatz kommt. Die Ereignisse betreffen das betriebliche Abgassystem. Daher wurden bisher keine GVA an dieser Komponentenart unterstellt.

GVA an Komponenten vom Typ 'Sicherheitsventile (federbelastet – zur Druckabsicherung von Rohrleitungen etc.)' führen zur Unverfügbarkeit der zugehörigen Rohrleitungen. Diese sind passive Systeme. Aus der bisherigen Auswertung der Betriebserfahrung und probabilistischen Betrachtungen geht hervor, dass passive Komponenten keinen relevanten Beitrag zu Systemunverfügbarkeiten liefern. Daher wurden für diese Ventile auch keine GVA betrachtet.

Bei der Betrachtung von Vorsteuerventilen wurden die Steuerleitungen nicht als eigenständige Komponentenart erfasst. Die entsprechenden Ereignisse an den Vorsteuerventilen der Sicherheits- und Entlastungsventile (SWR) und DH-SiV können auch als Ausfälle der Vorsteuerventile selbst modelliert werden. Für die Komponentenart 'Vorsteuerventile (Steuerleitung)' wurden daher keine GVA angenommen.

Die Komponentenart 'Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)' bezeichnet Vorsteuerventile, die zu Armaturen gehören, die pneumatisch oder durch Federkraft mit einer pneumatischen Offenhaltung geschaltet werden. Die magnetbetätigten Vorsteuerventile befinden sich im zugehörigen Druckluftsystem und entlasten bei Anforderung die Druckluft nach außen, wodurch dann die Armatur verfahren wird. Derartige VSV finden sich im Offenhaltesystem der FSA-Station bzw. ihrer äquivalenten Frischdampfarmaturen, in GBA-Armaturen des Lüftungssystems, in den Ventilen des Schnellabschaltsystems (nur SWR) oder in betrieblichen Armaturen des Turbinensystems. Erstere sind nur bei niedrigen Drücken funktionsrelevant, letztere erst in der Stufe 2 der PSA und die letzteren beiden in einem Druckwasserreaktor gar nicht, daher hätten GVA keinen großen Einfluss auf die Ergebnisse der PSA (Stufe 1).

Bei dem einzigen Ereignis, das die Komponentenart 'Vorsteuerventile im Ölsystem (magnetbetätigt)' betrifft, handelt es sich um Ausfälle im Offenhaltesystem der Absperrungsarmatur im Frischdampfsystem einer Vor-Konvoi-Anlage (verfahrenstechnisch vergleichbar mit der FD-Absperrarmatur). Eigenmediumbetätigte Armaturen, deren Vorsteuerarmaturen mit dem Betriebsmedium Öl verfahren werden, sind nur in dieser Anlage im Sicherheitssystem im Einsatz. Normalerweise wird das Offenhaltesystem mit Druckluft betrieben. In anderen Anlagen gibt es derartige Ventile nicht in sicherheitstechnisch relevanter Position.

Für die Komponentenart 'Leistungsschalter, Leistungsschütze (zwischen Unterverteilungen)' wurden nicht explizit GVA unterstellt, obwohl die Ereignisse sogar teilweise aus der älteren Referenzanlage, deren PSA untersucht wurde, stammen. Es wurden allerdings generelle Schalter-GVA unterstellt, dabei wurde kein Unterschied zwischen Leistungsschaltern mit Federantrieb und Schützen gemacht. Die verwendete Betriebserfahrung entspricht der Betriebserfahrung der Komponentenart 'Leistungsschalter mit Federantrieb'.

Für einige Komponentenarten wurden bisher keine GVA in der Betriebserfahrung beobachtet. Trotzdem existieren für sie eigene Einträge in der GVA-Datenbank. Dies betrifft die Komponentenarten 'Relais, Quecksilberrelais', 'Siebe' und 'Steuerstäbe (DWR)'. Für andere Komponentenarten gibt es zwar mittlerweile Ereignisse, zum Zeitpunkt der Durchführung der PSA waren diese allerdings noch nicht aufgetreten. Dies betrifft die Komponentenarten 'Transformatoren', 'Temperaturmessungen', 'Kolbenpumpen', 'Zahnradpumpen' und 'Behälter'. Für die Komponentenart 'Neutronenflussmessungen' finden sich nur Ereignisse für die In-Core-Messung bei SWR, in den Reaktorschutz geht allerdings bei DWR nur die Ex-Core-Instrumentierung ein.

Die Komponentenart 'Membranverdichter' wurde nicht betrachtet. Diese Komponenten kommen in Gas führenden Systemen zum Einsatz. Die vorhandenen Ereignisse betreffen Verdichter im Wasserstoffabbausystem welches in der PSA der Stufe 1 normalerweise nicht modelliert wird. Für die Komponentenart 'Aktivitätsmessungen' wurden keine GVA unterstellt, da es keine in der PSA der Stufe 1 betrachteten Sicherheitsfunktionen gibt, die von einem eventuellen Ausfall der Aktivitätsmessungen zu beeinträchtigen wären

Die Komponentenart 'Differenzdruckmessungen' wurde in den ausgewerteten PSA betrachtet, allerdings nicht als eigenständige Komponentenarten, sondern wie die übr-

gen Druckmessungen durch eine Aufteilung in Messrohrleitungen, Messumformer und Grenzwertgeber.

Die Komponentenart 'Kapazitive Füllstandsmessungen' kommt in den Kühlkreisen von Notstromdieseln zum Einsatz, als solche wurden sie als Teil der Komponente Notstromdiesel interpretiert. Sofern sie auch als ein Teil der diversitären Füllstandsmessungen sicherheitstechnisch relevanter Behälter vorkamen, war die entsprechende Messung mit diversitären Messumformern ausgerüstet, so dass keine GVA unterstellt wurden.

Die Komponentenart 'Schwingungsmessung' umfasst die Körperschallmessungen am RDB, diese sind nicht sicherheitsrelevant.

Für die Komponentenart 'Luftkühler' wurden früher die Zahlen für allgemeine Wärmetauscher verwendet. Eine Unterscheidung nach Betriebsmedium wurde damals nicht vorgenommen.

GVA im Bereich der Leittechnik wurden in den beiden ausgewerteten PSA nicht unterstellt. Im Rahmen der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke Phase B (DRS-B, siehe /GRS 90/) wurden allerdings Leittechnikbaugruppen exemplarisch modelliert und erst danach auf Grund zu geringer Relevanz vernachlässigt. Daher wurden für die Komponentenarten 'Baugruppen', 'Baugruppen, H&B AW03', 'Baugruppen, Iskamatic A AMA 11', 'Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen', 'Dieselbelastungsprogrammstufe', 'Digitale Rechner/Software', 'Relais, Koppelrelais und Hilfsschütze', 'Relais, Quecksilberrelais', 'Relais, Reed-Relais', 'Relais, Zeitrelais' und 'Relais, offenes System (Kammrelais)' keine GVA unterstellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Brandmeldelinien als Brandschutzkomponenten in einer PSA der Stufe 1 zum Zeitpunkt der Erstellung der ausgewerteten PSA sowieso nicht zu betrachten gewesen wären. Das Ereignis an der Dieselbelastungsprogrammstufe hätte auch als Ausfall des Notstromdiesels interpretiert werden können. Außerdem gibt es bisher keine GVA-Ereignisse für Quecksilberrelais. Auf Grund der veränderten Betriebserfahrung und der neu entwickelten Modellierungstechniken seit Durchführung der DRS-B wären genauere Betrachtungen zu GVA in den leittechnischen Systemen empfehlenswert.

Für die Komponentenart 'Gleichrichter' wurden bisher keine GVA unterstellt, da davon ausgegangen wird, dass eventuelle Ausfälle selbstmeldend sind und über die Batteriepufferung der Gleichspannungsschienen abgefangen werden können, so dass die

Gleichrichter keinen nennenswerten Beitrag zur Systemunverfügbarkeit liefern. Allerdings ist bei Berücksichtigung der begrenzten Batteriekapazität und der größeren Anzahl an Ereignissen aus der Betriebserfahrung (derzeit insgesamt zehn) ein relevanter Einfluss auf die Nichtverfügbarkeit von Systemen nicht auszuschließen. Für diese Komponententart sollte bei zukünftigen PSA GVA angenommen werden.

Ähnliches gilt für die Komponententart 'Rotierende Umformer', wobei hier die Auswirkungen der GVA durch Umschalten der Einspeisung für die gesicherten Wechsellspannungsschienen auf die Notstromschienen benachbarter Redundanzen abgefangen werden können, sofern diese zur Verfügung stehen. Dennoch ist auch diese Komponententart ein Kandidat für GVA in zukünftigen PSA.

Auch für die Komponententart 'Transformatoren' sollen zukünftig GVA unterstellt werden, dabei können aber nur solche Ereignisse berücksichtigt werden, die nicht selbst-meldend und nicht sofort reparierbar sind.

Für die Komponententart 'Kältemaschinen' wurden keine GVA angenommen, da diese in den betrachteten Anlagen erst sehr spät im Ereignisablauf benötigt werden, so dass eine große Karenzzeit für Reparatur- und sonstige Handmaßnahmen bleibt. Da es aber auch Anlagen gibt, in denen die Kältemaschinen auf Grund einer anderen Auslegung der Kühlung zu den sicherheitswichtigen Komponenten gehören, sollten auch für diese Komponententart GVA in Betracht gezogen werden.

5 Auswertung der GVA-Datenbank im Hinblick auf komponentengruppenübergreifende GVA-Phänomene

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens RS1198 wurden alle in deutschen Druckwasserreaktoren bis zum 31.12.2002 aufgetretenen, gemeinsam verursachten Ausfälle (GVA) aus der GVA-Datenbank der GRS /HOL 06/ bzw. /KRE 10/ ausgewertet. Es wurde untersucht, inwieweit sich die GVA auf mehrere Komponentengruppen gleichzeitig auswirkten. Die GVA-Datenbank wurde einerseits zur systematischen Erfassung und Bewertung von Ereignissen zur Ermittlung von GVA-Wahrscheinlichkeiten mit dem GRS-Kopplungsmodell (siehe /FAK 05/ für eine grundlegende Beschreibung und /STI 08/ bzw. /STI 09/ für seitdem implementierte Erweiterungen) und andererseits zur grundsätzlichen Erfassung von GVA-Phänomenen eingerichtet. In der GVA-Datenbank ist daher zwischen bewerteten GVA und GVA-Phänomenen, die aus verschiedenen Gründen nicht für die tatsächliche Ermittlung von GVA herangezogen wurden (Phänomene ohne Funktionsausfälle, Komponenten, die bisher nicht in PSA betrachtet werden, einleitende Ereignisse, Einzelfehler, funktionale Abhängigkeiten etc.), zu unterscheiden. Es erwies sich als notwendig, die Meldetexte und Kommentierungen der GVA-Datensätze detailliert auszuwerten, um alle übergreifenden GVA erfassen zu können. Nachfolgend werden einige Beispiele aufgeführt, um diese Notwendigkeit zu illustrieren:

Beispiel 1:

Es wurden übergreifende GVA-Phänomene sowohl als ein GVA betrachtet, bei dem die Komponentengruppe entsprechend vergrößert wurde und somit der in Abschnitt 3.1 beschriebenen grundsätzlichen Vorgehensweise nicht mehr entsprach, als auch in mehrere, für die Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten unabhängige Einzelereignisse zerlegt.

Beispiel 2:

Komponenten, auf die das Ereignis grundsätzlich auf Grund identischer Konstruktion (z. B. identische Armatur, Schalter etc.) übertragbar war, welche aber bei Detektion des Phänomens keine bzw. noch keine Ausfälle zu verzeichnen hatten, wurden bei der Bewertung ausgeklammert und nur die Komponentengruppe bewertet, die tatsächliche Ausfälle zu verzeichnen hatte.

Da alle GVA-Phänomene mit komponentengruppenübergreifenden Auswirkungen erfasst werden sollten, mussten neben den als GVA eingeschätzten Ereignissen auch

die als GVA-Phänomene, -Initiatoren, Einzelfehler oder Folgeausfälle eingeschätzten Ereignisse mit ausgewertet werden.

Im Anhang B werden die gefundenen übergreifenden Phänomene geordnet nach Komponentengruppen aufgeführt. Zur einfacheren Referenz wird jedes gefundene Ereignis mit einem Kürzel versehen. Das Kürzel setzt sich aus drei Buchstaben, die die betroffene Komponente oder Teilkomponente kennzeichnen und einer laufenden Nummer zusammen. In Abschnitt 5.1 werden dann einige Faktoren diskutiert, auf Grund derer einige der gefundenen Ereignisse teilweise trotzdem nicht weiter betrachtet werden müssen oder können. In Abschnitt 5.2 werden die von übergreifenden Ausfällen betroffenen Systeme und die Ursache für den übergreifenden Charakter der Ereignisse genauer hinsichtlich der Eigenschaften, die zu einem komponentengruppenübergreifenden Ausfall führten und ihrer Systemzugehörigkeit ausgewertet.

Insgesamt wurden 123 GVA-Ereignisse mit übergreifendem Charakter identifiziert. Diese verteilen sich wie folgt auf die Komponentenarten:

Tab. 5.1 Überblick über die Anzahl der gefundenen komponentengruppen-
übergreifenden Ereignisse

Kategorie	Unterkategorie	Anzahl der Ereignisse
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Absperrklappen	1
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Absperrschieber	4
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Absperrventile	7
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	GBA-Armaturen Lüftung	5
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Regelventile	2
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Rückschlagklappen	3
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Rückschlagventile	5
Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen	Armaturenartübergreifend	8
Batterien	Batterien	6
Brandschutz	Absperrschieber Löschwasser	1
Eigenmediumbetätigte Sicherheits- und Entlastungsventile	Druckabsicherung Primärkreis	10
Eigenmediumbetätigte Sicherheits- und Entlastungsventile	Druckabsicherung Sekundärkreis	8
Kreiselpumpen		11
Leittechnik	Kondensatoren	4
Leittechnik	Leisten/Steckkontakte	4
Leittechnik	Analog-Trennwandler	1
Leittechnik	Relais	3
Leittechnik	Energieversorgung	2
Leittechnik	Transistoren	2
Leittechnik	Verdrahtung	4
Messeinrichtungen	Druck, Durchfluss, Füllstand	3
Messeinrichtungen	Aktivität- und Neutronenfluss	2
Messeinrichtungen	Verschiedene	2
Notstromdiesel		7
Rohrleitungs-SiV	Rohrleitungs-SiV	7
Schalter		6
Stromrichter	Gleichrichter	3
Ventilatoren		2
Summe:		123

5.1 Ausschlusskriterien für eine weitere Auswertung

Die Ereignislisten im Anhang B enthalten alle Ereignisse der GVA-Datenbank bei denen mehr als eine Komponentengruppe betroffen war. Dabei wurde auf eine vollständige Erfassung aller potentiell übergreifenden Ereignisse geachtet. Vor der detaillierten Auswertung ist nun noch zu beurteilen, ob die Ereignisse auch Befunde betrafen, die gleichzeitig auftraten bzw. auftreten können und funktionseinschränkende Konsequenzen nach sich ziehen können. Außerdem ist zu beurteilen, ob die betroffenen Komponentenarten in einer Level1-PSA überhaupt betrachtet werden. Der Ausleseprozess für die weitere Auswertung ist in Abb. 5.1 dargestellt.

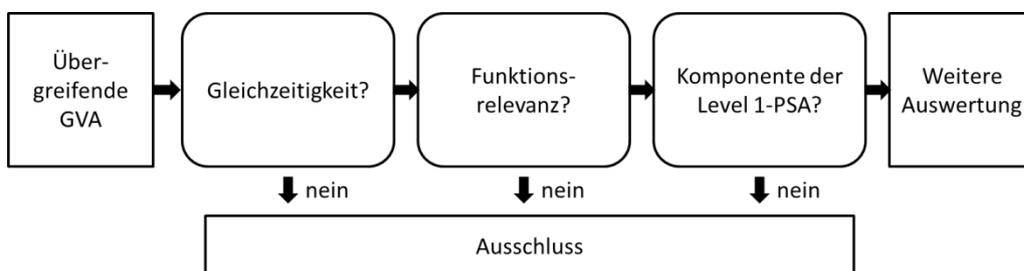


Abb. 5.1 Ausschlusskriterien für übergreifende GVA

5.1.1 Fehlende Gleichzeitigkeit

Wenn ein Schädigungsmechanismus im Vergleich zum Instandhaltungsintervall sehr langsam voranschreitet, wie es z. B. bei manchen Alterungsphänomenen der Fall ist, ist es sehr unwahrscheinlich, dass tatsächlich mehrere Komponenten gleichzeitig auf Grund dieses Phänomens unverfügbar sind. Die entsprechenden GVA werden dann als mehrere einzelne Ausfälle der betroffenen Komponenten über einen längeren Zeitraum hinweg beobachtet. Je nach verwendeter Modellierung wird in der Bewertung entweder der Gleichzeitigkeitsfaktor und damit der Übertragbarkeitsfaktor reduziert oder das Ereignis wird gleich überhaupt nicht als GVA in die statistische Auswertung aufgenommen. Von den 27 komponentenübergreifenden Ereignissen, bei denen Funktionsausfälle von Komponenten mit zeitlichem Abstand zueinander beobachtet wurden, wurden lediglich drei als potentielle GVA bewertet. Bei den restlichen Ereignissen wurde nur das GVA-Phänomen in der Datenbank dokumentiert (systematischer Ausfallmechanismus).

Eine andere Möglichkeit, gleichzeitige Ausfälle praktisch ausschließen zu können, besteht dann, wenn die betroffenen Komponenten oder Teilkomponenten überwacht werden, so dass ein Ausfall sofort gemeldet wird und somit die Fehlerentdeckungszeit sehr kurz ist. Dies ist besonders im Bereich der Leittechnik häufig der Fall, wo redundante Signale leicht mit Vergleichern ausgerüstet werden können, die auf der Warte melden, wenn eines der redundanten Analog- oder Digitalsignale in seiner Ausgabe zu stark von den anderen abweicht. Man spricht hierbei von einem selbstmeldenden Ausfall.

Die folgenden vier Ereignisse mit reduzierter Gleichzeitigkeit wurden für die weitere Untersuchung berücksichtigt:

- Bei AAS1 lagen die Ausfälle vier Monate auseinander. Da allerdings zum Zeitpunkt des ersten Ausfalls bereits Vorschädigungen an den Spindelmuttern vorgelegen haben mussten, diese aber im Rahmen der Übertragbarkeitsprüfungen nicht bemerkt worden waren, wurde der Ausfall als GVA bewertet und ebenfalls für die weitere Auswertung verwendet.
- Bei AGL3 war ein systematischer Fehler in der Instandhaltung beim ersten Ausfall unbemerkt geblieben und konnte daraufhin zu weiteren Ausfällen in der nächsten WKP führen. Da anzunehmen ist, dass die Dichtschläuche als ausgefallenes Bauteil bei Anforderung besonders belastet werden, ist hauptsächlich mit Ausfällen bei WKPs oder Anforderungen zu rechnen, ergo wird der Fall in der weiteren Auswertung berücksichtigt.
- Bei AGL4 verteilten sich die Ausfälle der Vorsteuerventile auf ein Jahr, allerdings gab es teilweise mehrere Ausfälle pro Prüfzyklus, daher wurde auch dieses Ereignis als GVA bewertet und weiter ausgewertet.
- RSV3 besteht aus zwei Ausfällen im Abstand einer Woche, dies ist eine geringere Zeitspanne als der Prüfzyklus, daher wird der Fall trotz unklarer Ursache für den Fremdkörpereintrag (potentieller Folgefehler auf Grund eines einzelnen Ereignisses) weiter betrachtet.

Die folgenden 23 Ereignisse werden auf Grund ihrer geringen Gleichzeitigkeit nicht weiter betrachtet:

Tab. 5.2 Komponentengruppenübergreifende GVA, die auf Grund von geringer Gleichzeitigkeit nicht weiter ausgewertet werden

Ereignis-kürzel	Beschreibung
AAÜ1	Falscher Schraubentyp kann bei langfristigem Betrieb unter KMV-Bedingungen zu Korrosion führen. Ausfälle, wenn überhaupt, mit geringer Gleichzeitigkeit
BAT4	Schnellere Alterung durch elektrochemische Effekte, Ausfälle durch WKP vorhersehbar und über Jahre verteilt (WKP-Frequenz nur auf Grund von Ereignis BAT1 erhöht, daher bleibt BAT1 im Pool der betrachteten Ereignisse)
BAT5	Schnellere Alterung durch elektrochemische Effekte, Ausfälle durch WKP vorhersehbar und über Jahre verteilt (WKP-Frequenz nur auf Grund von Ereignis BAT1 erhöht, daher bleibt BAT1 im Pool der betrachteten Ereignisse)
KON3	Elektrolytverluste von Kondensatoren führen zu selbstmeldenden Sekundärschäden
KON4	Fehlerhaftes Keramikmaterial. Alle Rechenschaltungen mit den entsprechenden Kondensatoren sind vergleichsüberwacht; Ausfälle daher selbstmeldend
KPA1	Zwei Ausfälle in drei Wochen, Ursache unklar, quasi-'selbstmeldend', da nur jeweils eine Pumpe pro Komponentengruppe außer Betrieb
KPA2	Sehr langsame chemisch-korrosive Reaktion, bei Vorliegen von Schädigung bereits entdeckt
KPA5	Sporadisches Versagen durch mangelnde Maßhaltigkeit (eine von 84 Schaltungen)
KPA8	Zwei Ausfälle in fünf Monaten durch fehlerhafte Einstellung Motor/Federspeicher, dazwischen erfolgreiche WKPs
KPA9	Zwei Ausfälle in vier Monaten durch fehlerhafte Einstellung Motor/Federspeicher, dazwischen erfolgreiche WKPs
KPA10	Sehr langsame mechanische Schädigung, ein Ausfall nach mehreren Jahren
SPA1	Vier Ausfälle durch mechanische Überbelastung innerhalb eines Jahres, außerdem selbstmeldend
TRA1	Erschütterungen führen wegen fehlerhafter Transistoren zu Signalauslösung, Auslösung selbstmeldend
TRA2	Unsachgemäße Reparaturmaßnahmen an Transistoren führen zu sporadischen, aber selbstmeldenden Ausfällen

Ereignis-kürzel	Beschreibung
VDH1	Sehr langsame mechanische Schädigung durch Ziehen/Stecken der Karten, vor erstem Ausfall detektiert
VDH2	Whiskerereignis, prinzipiell geringe Gleichzeitigkeit
VDH4	Whiskerereignis, prinzipiell geringe Gleichzeitigkeit
MEP2	Fünf Ausfälle innerhalb von mehr als einem Jahr (siehe SPA1), außerdem selbstmeldend
MEX1	Fehlerhafte Lötstellen an Hochspannungsversorgungsbaugruppen, alle zugehörigen Messungen sind vergleichsüberwacht
NSD2	Zwei Ausfälle durch Verschmutzung in 13 Monaten, WKP-Intervall kleiner
NSD7	Zwei Ausfälle im Abstand von 7 Wochen, WKP-Intervall kleiner
SCH2	Funktionsbeeinträchtigend defekte Hülsen treten erst nach ca. 6000 Schaltungen auf, Instandhaltungsintervall kürzer
GLR3	25 Ausfälle von Wechselspannungswächtern von Gleichrichtern in vier Jahren, außerdem teilweise selbstmeldend

5.1.2 Nicht funktionsgefährdende Befunde

Befunde, die die betroffenen Komponenten grundsätzlich nicht daran hindern ihre sicherheitstechnische Funktion auszuführen, können ebenfalls von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

- AAS3: Die im Falle einer Anforderung des Not- und Nachkühlsystems gewünschte Stellung der Armaturen des Prüfsystems ist zu. Die ausgefallenen Armaturen waren prinzipiell zu, lediglich die Rückmeldung wurden nicht abgegeben. Aus den Rückmeldungen werden keine Freigaben oder Schalthandlungen im Not- und Nachkühlsystem abgeleitet. Die Armaturen sind im Normalbetrieb zu und werden lediglich zur Prüfung der Pumpen des Not- und Nachkühlsystems geöffnet und unmittelbar danach wieder verschlossen, dies geschieht normalerweise nicht gleichzeitig. Die Rückmeldung wurde außerdem nur dann sporadisch nicht abgesetzt, wenn die Sicherheitseinspeisepumpen geprüft wurden und noch liefen. Folglich wäre erstens auch die Gleichzeitigkeit in Frage zu stellen und zweitens ist fraglich, ob, sollten GVA des Prüfsystems jemals in einer PSA modelliert werden, die betroffenen Armaturen nicht in einer Komponentengruppe modelliert werden. Das Ereignis AAS3 wird aus den genannten Gründen nicht weiter in der Auswertung berücksichtigt.

- AAV4: Insgesamt gibt es mehrere Argumente, die es in diesem Falle nahelegen eine Funktionsgefährdung auszuschließen. Erstens wurden die Risse an den Schrauben der Endstufen zu einem Zeitpunkt entdeckt als noch keine Funktionsbeeinträchtigung gegeben war. Zweitens konnte durch den Armaturenhersteller gezeigt werden, dass auch beim Abriss einer Schraubenverbindung die Armatur weiter funktionsfähig bleibt. Drittens konnte durch metallographische Untersuchungen gezeigt werden, dass die Risse auf einmalige Überbeanspruchung durch das per Hand aufgebrachte Drehmoment bei der Montage zurückzuführen sind. Es ist nicht plausibel, dass dadurch bereits bei der Montage schwere Schäden oder Schraubenabriss unbemerkt hervorgerufen werden können. Das Ereignis AAV4 wird folglich bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.
- DHS4: Die von dem Korrosionsphänomen betroffenen Leckageleitungen der Vorsteuerventile schränken auch bei weiterem Fortschreiten der Korrosion bis zu einem vollständigen Abriss der Leitung die Funktionsfähigkeit der Hauptarmatur nicht ein. Das Ereignis DHS4 wird daher in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.
- DHS7: Der durch die Messfehler bei der Bestimmung der Durchflusscharakteristik erhöhte Durchsatz der Ventile beeinträchtigte die Stabilität der Rohrleitungen und Komponenten noch nicht. Da außerdem die Fehler noch vor der Inbetriebnahme der Armaturen auffielen, wird das Ereignis DHS7 in der weiteren Auswertung nicht betrachtet.
- DHS8: Das beschriebene GVA-Phänomen kann nur bei Überlagerung mit einem weiteren Einzelfehler oder GVA der Wegendabschaltung an den betroffenen Armaturen zu einem Ausfall der betroffenen Motoren führen. Dieser wird allerdings in der Regel für sich bereits als Ausfall der Komponente gewertet, daher wird das Ereignis DHS8 in der weiteren Auswertung nicht betrachtet.
- DHS9: Als Folge der unzureichenden Entgasung entstanden Wasserstoffpolster vor den Hauptventilen. Solange wie im vorliegenden Falle bei der Auslegung der Ventile ein Abblasen mit Gaspolster berücksichtigt wurde, können keine Schädigungen an den Armaturen auftreten. Das Ereignis DHS9 wird daher bei der weiteren Auswertung nicht betrachtet.
- DHS10: Analog zu dem Ereignis DHS4 waren auch hier lediglich die Leckageleitungen der Vorsteuerventile betroffen. Folglich wird auch dieses Ereignis nicht weiter betrachtet.

- FSA3: Die von der Fehlverdrahtung betroffenen motorbetätigten Vorsteuerventile waren gemäß Vermutungen des Betreibers lediglich für ein betriebliches Verfahren der FD-Schieber im Einsatz. Eine genauere Analyse war zum Zeitpunkt der Datenerhebung nicht mehr möglich, da die betroffene Armatur bereits seit mehreren Jahren abgebaut war. Die Sicherheitsfunktion der Schieber wäre daher durch diesen Ausfall nicht beeinträchtigt. Bei der zusätzlich ausgefallenen Armatur handelt es sich ebenfalls um ein motorbetätigtes Ventil im Bereich der Vorsteuerung der Frischdampfschieber, das allerdings in einer Leitung mit geringerer Nennweite sitzt. Da die damals in der betroffenen Anlage verwendete Konzeption der Druckabsicherung des Sekundärkreises heute in keiner Anlage mehr Verwendung findet, es im Rahmen der GVA-Modellierung unklar ist, ob nicht alle motorbetätigten Vorsteuerarmaturen als eine Komponentengruppe aufgefasst werden (ein entsprechendes Vorgehen wird bei magnetbetätigten VSV in modernen FSA-Stationen teilweise angewandt) und eine Funktionsgefährdung des FD-Schiebers zumindest durch den Betreiber bezweifelt wird, wird das Ereignis FSA3 nicht weiter in der Auswertung berücksichtigt.
- FSA5: Die brüchigen Federn dienen lediglich dazu, die Vorsteuerventile bei niedrigen Drücken geschlossen zu halten. Beim Anforderungsfall der sekundärseitigen Druckabsicherung öffnen die Ventile ohne Einflussnahme durch die Federn. Da der Gutachter auch ein Blockieren des Vorsteuer- oder Hauptventils durch eventuell vorhandene Federbruchstücke ausschließt, wird das Ereignis FSA5 in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.
- FSA6: Schädigung ähnlich wie FSA5, daher ist das Verfahren analog zu FSA5.
- KPA3: Gemäß Herstellerangabe ist eine Kraftübertragung beim Betrieb der Pumpen auch mit defekten Profilhülsen an der Verbindung der Kupplungshälften möglich. Folglich kann kein Ausfall durch den vorgefundenen Schadensmechanismus entstehen. Das Ereignis KPA3 wird daher von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.
- KPA4: Bei den betroffenen Pumpen wäre im Anforderungsfall eine Warnmeldung durch den Aggregateschutz abgesetzt, es konnte auch nicht ausgeschlossen werden, dass es zum Ansprechen des Aggregateschutzgrenzwertes kommt. Dieser wäre bei Anforderungen aus dem Reaktorschutz allerdings wirkungslos. Da der Gutachter die Entstehung von Lagerschäden bei Betrieb unter den Randbedingungen, die bei einer Anforderung aus dem Reaktorschutz bestehen, explizit ausschließt, wird das Ereignis KPA4 nicht in die weitere Auswertung übernommen.

- KPA11: Die Beschädigung der Kabel betraf lediglich den äußeren Kabelmantel, der dazu dient die Kabel vor derlei mechanischer Einwirkung wie beim Ereignis geschehen zu schützen. Da der Schädigungsprozess durch die mechanische Einwirkung des Herabfallens der Kabelpitschen bereits abgeschlossen war, ist keine weitere Eskalation der Schädigung anzunehmen. Das Ereignis KPA11 wird daher in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.
- VDH3: Durch die nicht spezifikationsgerechten Lötstellen war die EVA-Festigkeit nicht mehr gegeben. Die bei Messungen auf dem Rütteltisch festgestellten, für ein Versagen notwendigen Beschleunigungen überschritten die EVA-Anforderungen allerdings um ein mehrfaches, daher wird das Ereignis VDH3 nicht weiter betrachtet.

Die 14 hier unter dem Aspekt 'nicht funktionsgefährdende Befunde' betrachteten Ereignisse werden nicht weiter betrachtet.

5.1.3 Inbetriebsetzungsereignisse

Ereignisse, die vor der Inbetriebsetzung (IBS) der zugehörigen Komponenten stattfanden und durch die Inbetriebsetzungsprüfungen erkannt wurden, sind nicht ohne weiteres auf den normalen Leistungsbetrieb der Anlage übertragbar. Sie können allerdings auch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, da stets eine Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie bei den IBS-Prüfungen nicht erkannt werden. Die IBS-Ereignisse AAÜ5, AAÜ8, DHS2, DHS7, FSA6, LSK1, LSK2, LSK3 und MEX2 werden daher nicht auf Grund ihrer Eigenschaft als Ereignis während der Inbetriebsetzung von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Einige dieser Ereignisse sind allerdings aus anderen Gründen nicht für die Auswertung relevant (siehe Abschnitt 5.1.2).

5.1.4 Ausfälle in Komponenten ohne etablierte probabilistische Modellierung von gemeinsam verursachten Ausfällen in der PSA der Stufe 1

Sicherheitsventile an Rohrleitungen gefährden bei ihrem Versagen die Integrität der Leitung, die sie absichern. Ihre Funktionsfähigkeit beeinflusst also ausschließlich die Verfügbarkeit einer passiven mechanischen Komponente. Da der Beitrag passiver Komponenten zur Unverfügbarkeit von Sicherheitsfunktionen vernachlässigbar gering ist, müssen für Komponenten, die lediglich die Verfügbarkeit passiver Komponenten

beeinflussen, keine GVA unterstellt werden. Auch bei diesen Ereignissen ist die Definition einer GVA Komponentengruppe schwierig, da die Druckabsicherung einer Redundanz teilweise durch mehrere Ventile erfolgt, so dass nicht jeweils lediglich die direkt redundanten Ventile eines Rohrleitungssicherheitsventils betrachtet werden können. Die Ereignisse RSI1-7 werden daher in der weiteren Auswertung nicht mehr untersucht.

5.1.5 Gefährdungszustand durch vollständigen Ausfall einer einzelnen Komponentengruppe

In den Fehlerbäumen der PSA für die Referenzanlage vom Typ Konvoi-DWR finden sich außerdem Komponentengruppen, deren gemeinsam verursachter Ausfall alleine bereits genügt, um automatisch zu einem Gefährdungs- bzw. Kernschadenzustand zu führen. Eine Überlagerung mit weiteren Unverfügbarkeiten im Sinne eines komponentengruppenübergreifenden Ausfalls führt dann nicht mehr zu einer Erhöhung der Häufigkeit eines Gefährdungszustandes. Folgende GVA wurden in der PSA identifiziert:

Tab. 5.3 GVA, die direkt zu einem Gefährdungszustand führen

Komponentengruppe	Ausfallart und Kombination	Systemfunktion	Auslösendes Ereignis
Sicherheitseinspeisepumpen	4v4 startet nicht (STN) / Betriebsversagen (BV)	HD-Einspeisung	Kleines Leck (HKML oder DH), Mittleres Leck (HKML)
Nachkühlpumpen	4v4 STN/BV	ND-Einspeisung / Nachwärmeabfuhr (NWA)	Kleines Leck (HKML oder DH)
Nebenkühlwasserpumpen	4v4 BV	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Zwischenkühlpumpen	6v6 BV	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Nachwärmekühler	4v4	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Sperrwasserkühler für Nachkühlpumpen	4v4	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Ventilatoren Zellenkühler	4v4 STN	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Zellenkühlerpumpen	4v4 STN/BV	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)

Komponenten- gruppe	Ausfallart und Kombination	Systemfunktion	Auslösendes Ereignis
Messrohrleitungen für Flutbecken	4v4 Signal geht nicht durch	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Messumformer Ni- veaumessung der Zellenkühler	4v4 falsches Ausgangssignal	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
3-Wege-Ventil im Nachkühlsystem Um- schaltung Sumpfbe- trieb/Flutbetrieb	4v4 schaltet nicht um	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
Rückschlagventile (RSV) saugseitig der Nachkühlpumpen zwischen Pumpe und Flutbehälter	4v4 Öffnet nicht (ÖN)	ND-Einspeisung / NWA	Kleines Leck (HKML oder DH)
RSV Erstabsperung Primärkreis Cold Leg	4v4 ÖN	HD-Einspeisung	Kleines Leck (HKML oder DH), Mittleres Leck (HKML)
RSV Erstabsperung Primärkreis Hot Leg	4v4 ÖN	HD-Einspeisung	Kleines Leck (HKML oder DH), Mittleres Leck (HKML)
RSV Zweitabsperung Primärkreis HD- Einspeisung Hot Leg & Cold Leg	4v4 ÖN	HD-Einspeisung	Kleines Leck (HKML oder DH), Mittleres Leck (HKML)
Freilauf-RSV druck- seitig der Sicher- heitseinspeisepumpen (MiMe)	4v4 ÖN	HD-Einspeisung	Kleines Leck (HKML oder DH), Mittleres Leck (HKML)
48 V-Batterien Not- netz 2	4v4 Kurzzeitaus- fall	DE-Bespeisung	Notstromfall
FD-SiV und FD- Abblaseabsperren- ventile	8v8 ÖN	FD-Abgabe	Notstromfall + Aus- fall Hauptwärme- senke, FD- Leistungsbruch

Da es sich bei diesen Ereignissen ausschließlich um vollständige Ausfälle der gesamten Komponentengruppe handelt, kann eine Überlagerung von Teilausfällen dieser Komponentengruppen mit Ausfällen in anderen Komponentengruppen allerdings immer noch zu einer Erhöhung der Gesamthäufigkeit der Gefährdungszustände/Kernschadenzustände führen. Daher können übergreifende Phänomene, die an

den in Tab. 5.3 genannten Komponentengruppen gefunden wurden, nicht pauschal aus der Auswertung ausgeschlossen werden.

5.2 Auswertung

Entfernt man die in Abschnitt 5.1 als nicht weiter für die Auswertung relevant erkannten Ereignisse aus dem Pool der gefundenen Ereignisse, verbleiben die in Tab. 5.4 aufgeführten 79 Ereignisse. Die Spalten 'Kürzel' und 'Diskussion in Anhang B' referenzieren die Stelle im Anhang B, wo Details zu den jeweiligen Ereignisabläufen aufgeführt sind. 'Bewertete Komponentenart' gibt an, für welche Komponentenart im Rahmen der quantitativen GVA-Bewertungen bei diesem Ereignis Experteneinschätzungen abgegeben wurden (soweit das Ereignis dafür als relevant angesehen wurde). Die Spalte 'Betroffene Systeme' gibt an, in welchen Systemen sich die vom Ausfall betroffenen Komponenten befanden. In der Spalte 'Anzahl der betr. Sys.' ist eingetragen, wie viele Systeme betroffen waren. 'Ursache' gibt eine kurze Zusammenfassung der Ausfallursache und 'Ausfälle?', ob und wenn ja zu wie vielen Ausfällen es gekommen war, bevor das Ereignis bemerkt wurde. Die Spalte 'Ausfallart' gibt an, zu welcher Art von Ausfall es gekommen war. Die Spalte übergreifender Aspekt gibt sehr kurz zusammengefasst an, weshalb die Komponenten gemeinsam von dem Ereignis betroffen waren.

Tab. 5.4 Übersicht über die gefundenen komponentengruppenübergreifenden GVA

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
AAK1	Motorbetätigte Armaturen, Absperrklappen	nicht für quantitative Bewertung verwendet	BE-Beckenkühlsystem	1	Verdrahtungsfehler: Wegend- statt Drehmoabschaltung	Nein, aber Dichtheitsanforderung nicht erfüllt	Schließt nicht	Gleiche Prozeduren (Montage)
AAS1	Motorbetätigte Armaturen, Absperrschieber	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Beckenreinigungssystem	1	Abrieb an Spindelmuttern durch zu hohen Drehmomentauftrag per Hand	Ja, in allen betroffenen Komponentengruppen	Öffnet nicht/schließt nicht	Gleiche Prozedur (Freischaltung)
AAS2	Motorbetätigte Armaturen, Absperrschieber	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Speisewassersystem	1	Ungünstig positionierte Schmiernippel verhindern ausreichende Schmierung des Getriebes	Ja, an einer Komponente	Öffnet nicht/schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Getriebe)
AAS4	Motorbetätigte Armaturen, Absperrschieber	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Not- und Nachkühlsystem	1	Durchlegierte Transistoren wegen eingekoppelter Hochspannungsimpulse	Ja, in beiden Komponentengruppen	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Zeitglied), gleiche Spannungsversorgung
AAV1	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Not- und Nachkühlsystem	1	Wiederauflaufen durch Tellerfedern auf Grund von Reibwertunterschreitungen nach häufigem Verfahren	Ja, in allen Komponentengruppen	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
AAV2	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	DE-Abschlammssystem	1	Verformte Spindel auf Grund von Temperaturexpansion bei ungeeignetem Halterungskonzept	Ja, an einer Komponente	Öffnet nicht/schließt nicht	Auslegungsfehler
AAV3	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	nicht für quantitative Bewertung verwendet	DE-Probenentnahmesystem	1	Stopfbuchsmaterial extrudiert in Armatur und blockiert Spindel	Ja, an einer Komponente	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
AAV5	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	Absperrventile (motorbetätigt), Dampf führende Systeme	Frischdampfsystem betriebliche Systeme	mehrere	Ungünstig positionierte Schmiernippel verhindern ausreichende Lagerschmierung	Ja, in einer Komponente	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Lager)

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
AAV6	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser/Gas führende Systeme	Gasversorgungssystem Probenentnahmesystem	2	Drehmoauslösung kommt vor Losbrechmoment der Armaturen	Ja, in allen Komponentengruppen und Systemen	Schließt nicht	Auslegungsfehler: Absteuerung
AAV7	Motorbetätigte Armaturen, Absperrventile	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Not- und Nachkühlsystem	1	Drehmoauslösung kommt vor Losbrechmoment der Armaturen wegen zu hohem Abschaldrehmoment	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Öffnet nicht	Auslegungsfehler: Absteuerung
AGL1	GBA-Armatur Lüftung	Schnellschlussventile (Lüftung)	Lüftungssystem Reaktorgebäude	1	Verdrehte Dichtringe wegen Schmierfettmangel	Nein	Schließt nicht	Gleiche Prozedur (Instandhaltung)
AGL2	GBA-Armatur Lüftung	Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)	Lüftungssystem Reaktorgebäude	1	Nichtschaltende VSV auf Grund von hohem Anpressdruck und seltener Betätigung bei hoher Temperatur	Ja, an einer Komponente	Öffnet nicht (VSV), Schließt nicht (GBA-Armatur)	Gleicher Komponententyp (VSV)
AGL3	GBA-Armatur Lüftung	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Lüftungssystem Ringraum	1	Defekte Dichtschläuche weil nicht regelmäßig getauscht	Ja, in allen Komponentengruppen	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
AGL4	GBA-Armatur Lüftung	Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)	Lüftungssystem Ringraum Lüftungssystem Hilfsanlagengebäude	2	Verzögertes Schalten auf Grund von Schmiermittelalterung nach Feuchtigkeitseintrag	Nein, aber Laufzeitverlängerungen	Öffnet nicht (VSV), schließt nicht (GBA-Armatur)	Gleicher Komponententyp (VSV) Gleiches Hilfsmittel
AGL5	GBA-Armatur Lüftung	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Lüftungssystem Notspeisegebäude	1	Zu große Varianz im Auslösezeitpunkt Wegendschalter	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Schließt nicht	Auslegungsfehler: Absteuerung
ARV1	Regelventile	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notspeisesystem	1	Spannungsrissskorrosion an Verdrehsicherung von Deckeln	Nein	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
ARV2	Regelventile	Regelventile	Speisewassersystem Notspeisewassersystem (Anlage mit Notstandssystem)	2	Hersteller änderte Leistungsbereich der Schütze ohne Kennzeichnung	Ja, in allen Komponentengruppen	Regelt nicht/ Öffnet nicht/ Schließt nicht	Gleicher Herstellungsprozess

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
RSK1	Rückschlagklappen	Rückschlagklappen	Speisewassersystem	1	Lösen des Klappendeckels wegen ungeeigneter Sicherungsmethode von Gewindestiften	Ja, an einer Komponente	Schließt nicht	Gleiche Montageprozeduren Auslegungsfehler
RSK2	Rückschlagklappen	Rückschlagklappen	Nukleares Nebenkühlwassersystem Notnebenkühlwassersystem	2	Knappes Toleranzen und Schmutzablagerungen im Lagerbereich	Ja, an einer Komponente	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
RSK3	Rückschlagklappen	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Sicherheitseinspeisesystem Zusätzliches Sicherheitseinspeisesystem Nachkühlsystem	3	Bruch von Sicherungsstiften auf Grund dynamischer Belastungen führt zur Blockade	Ja, in mehreren Komponentengruppen und 2 der 3 Systeme	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
RSV1	Rückschlagventile	Rückschlagventile	Not- und Nachkühlsystem	1	Schleichleckagen auf Grund zu geringer Druckdifferenzen	Ja, in allen Komponentengruppen	Schließt nicht	Serieller Einbau
RSV2	Rückschlagventile	Rückschlagventile (absperrbar)	Not- und Nachkühlsystem	1	Stauchung des Ventilkegels auf Grund von Reibwertunterschreitungen	Ja, in jeweils einer Komponente, aber in verschiedenen Anlagen	Öffnet nicht/Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
RSV3	Rückschlagventile	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Volumenregelsystem	1	Fremdkörpereintrag	Ja, in allen Komponentengruppen	Leckage innen/Schließt nicht	Unklar, da Ursache unklar
RSV4	Rückschlagventile	Rückschlagventile	Zusatzboriersystem Volumenregelsystem	2	Kavitation mit Materialabtrag auf Grund von Undichtigkeiten	Nein	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
RSV5	Rückschlagventile	Rückschlagventile (absperrbar)	Not- und Nachkühlsystem 'betriebliche Systeme'	mehrere	Fehlende Stromversorgung, Kontakte der Leistungsstecker verbogen	Ja, in mehreren Komponentengruppen und Systemen	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Schaltanlage)
AAÜ2	Armaturenarübergreifend (Absperrschieber + Regelventile)	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	DE-Abschlammensystem	1	Schmierfettverkokung durch Temperatureinwirkung nach geänderter Isolierung	Ja, an einer Komponente	Schließt nicht	Gleiche Prozedur (Instandhaltung) Auslegungsfehler Gleiches Hilfsmittel

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
AAÜ3	Armaturenarübergreifend (Regelventile + Absperrschieber)	Regelventile	Speisewassersystem	1	Kondensationsschläge auf Grund undichter Armatur und ungeeigneter Anfahrprozedur beschädigen Motoren/Armaturen	Ja, in allen Komponentengruppen	Regelt nicht/Öffnet nicht/ Schließt nicht	Ungeeignete Prozedur Serieller Einbau
AAÜ4	Armaturenarübergreifend (Absperrventile + Regelventile)	Absperrventile (motorbetätigt), Gas führende Systeme + nicht für quantitative Bewertung verwendet	Wasserstoff-Überwachungssystem Wasserstoff-Abbausystem Probenentnahmesystem	3	Verstopfung nach Eintrag von Formierpapier während Wartung	Ja in allen Komponentengruppen und Systemen	Verstopfung/Öffnet nicht	Gleiche Prozedur (Instandhaltung)
AAÜ5	Armaturenarübergreifend (aufziehbare Rückschlagventile und Absperrventile)	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Not- und Nachkühlsystem	1	Vorrangbaugruppen 'defekt'	Ja, in beiden Komponentengruppen	Schaltet nicht	Gleicher Komponententyp (Vorrangbaugruppe)
AAÜ6	Armaturenarübergreifend (aufziehbare Rückschlagventile und Regelventile)	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Not- und Nachkühlsystem Notspeisesystem	2	Verdrahtungsfehler: Vorrangbaugruppe gibt Drehmoabschaltung Vorrang vor Reaktorschutz	Ja, in einer Komponente	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Vorrangbaugruppe) Gleicher Prozess (Montage)
AAÜ7	Armaturenarübergreifend (motorbetätigte Armaturen)	nicht für quantitative Bewertung verwendet	diverse Sicherheitssysteme	mehrere	Hysterese zwischen Ansprech- und Rückstellwert Drehmoabschaltung	Nein	Öffnet nicht/Schließt nicht	Auslegungsfehler: Absteuerung
AAÜ8	Armaturenarübergreifend (motorbetätigte Armaturen)	nicht für quantitative Bewertung verwendet	diverse Sicherheitssysteme	mehrere	Klebstoffverbindung Mitnehmerplättchen Wegendechalter gelöst	Ja, in einer Komponente	Öffnet nicht/Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Stellantrieb)
BAT1	Batterien	Batterien	Notstromanlagen	1	Chloridbasierte Plattenkorrosion	Ja, in allen Komponentengruppen	Spannungszusammenbruch	Gleicher Komponententyp (Batteriezellen), Herstellungsfehler

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
BAT2	Batterien	Noch nicht bewertet	Notstromanlagen	1	Kurzschluss durch eingetropftes Lötblei / unbekannt	Ja, in allen Komponentengruppen	Spannungszusammenbruch	Unklar, da Ursache nicht geklärt
BAT3	Batterien	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen	1	Risse in Zellenwänden wegen zu starker Einspannung	Nein	Spannungszusammenbruch	Gleicher Komponententyp (Batteriezellen)
BAT6	Batterien	Batterien Gleichrichter	Notstromanlagen	1	Freischaltung aller Batterie- und Gleichrichtereinspeisungen auf Grund von Personalfehlern	Ja, in je einer Komponentengruppe pro Komponententyp	Spannungszusammenbruch (Batterie), Ausfall mit Ausgangsspannung Null (Gleichrichter)	Gemeinsam genutzte (Teil-)Komponente (Einspeiseschalter)
ASL1	Absperrschieber Löschwassersystem	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Löschwassersystem	1	Abschaltdrehmoment zu niedrig für öffnen bei Differenzdruck	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Armatur)
DHS1	Druckabsicherung Primärkreis	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Druckabsicherung Primärkreis	1	Thermisch induzierte Verwerfungen an den VSV, in Folge korrosiver Angriff an Hauptarmatur	Ja, in allen Komponentengruppen	Öffnet nicht/Leckage innen	Gleicher Komponententyp (Vorsteuerventil)
DHS2	Druckabsicherung Primärkreis	Vorsteuerventile (federbelastet)	Druckabsicherung Primärkreis	1	Druckschläge in Steuerleitungen der VSV wegen funktionsloser Entwässerung	Nein	Öffnet nicht/Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Vorsteuerventil)
DHS3	Druckabsicherung Primärkreis	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)	Druckabsicherung Primärkreis	1	Ungünstige Materialkombination in Bezug auf Thermische Dehnung	Ja, aber nur in einer Komponentengruppe	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Hauptventile)
DHS5	Druckabsicherung Primärkreis	Handabsperrentile (Dampf)	Druckabsicherung Primärkreis	1	Temperaturbedingte Schmiermittelalterung, Schwergängigkeit Handabsperrrmaturen der VSV	Ja, aber nicht in allen Komponentengruppen	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Absperrentile vor VSV)
DHS6	Druckabsicherung Primärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Druckabsicherung Primärkreis Steuerstabsystem (Regelung) Notstromanlagen	3	Verharzung von Schmiermitteln an Leistungsschützen der mag. VSV	Ja, aber nur in einer Komponentengruppe	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (Leistungsschutz)

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
FSA1	Druckabsicherung Sekundärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Frischdampfsystem	1	Verschmutzung mag. VSV	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (VSV), gleiche Prozeduren (Instandhaltung)
FSA2	Druckabsicherung Sekundärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Frischdampfsystem	1	Korrosion von Kolbenringen der VSV	Ja, in einer Komponentengruppe	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (VSV), gleiche Prozeduren (Instandhaltung)
FSA4	Druckabsicherung Sekundärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt) + nicht für quantitative Bewertung verwendet	Frischdampfsystem	1	Schrumpfen des Spulenkörpers bei mag. VSV im Ruhestromprinzip	Ja, in einer Komponente	Öffnet nicht	Gleiche Komponententyp (VSV)
FSA7	Druckabsicherung Sekundärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Frischdampfsystem	1	Handabsperrentile der VSV nach Revision nicht geöffnet	Ja, in allen Komponentengruppen	Öffnet nicht	Gleiche Prozeduren (Instandhaltung)
FSA8	Druckabsicherung Sekundärkreis	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Frischdampfsystem	1	Relaxationsvorgänge an Lagern der mag. VSV, Verklemmen	Ja, in einer Komponente	Öffnet nicht	Gleicher Komponententyp (VSV)
KPA6	Kreiselpumpen	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen, Notspeisewasser	1	Fehlerhafte Unterspannungsauslösung, Defekter Kondensator in Verzögerungsgerät	Ja, in einer Komponente	Schaltet ohne Anforderung (für Schalter), startet nicht (für Pumpe)	Gleicher Komponententyp (Verzögerungsgerät/Kondensator)
KPA7	Kreiselpumpen	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen, Nebenkühlwasser	1	Fehlauslösung Überstromrelais, Nullpunkt verstellt	Ja, in einer Komponente	Schaltet ohne Anforderung, fördert nicht (für Pumpe)	Gleicher Komponententyp (Überstromrelais)
KON1	Leittechnik, Kondensatoren	Baugruppen	Leittechnik	1	Verunreinigungen im Dielektrikum	Ja, in einer Komponente	Ausgangssignal beliebig	Gleicher Herstellungsprozess
KON2	Leittechnik, Kondensatoren	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	Auskristallisieren des Elektrolyts	Ja, in mehreren Komponenten	Ausgangssignal beliebig	Gleicher Herstellungsprozess

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
LSK1	Leittechnik, Leisten/Stecker	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	Verbogene Kontaktfedern in Leisten	Nein	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Herstellungsprozess
LSK2	Leittechnik, Leisten/Stecker	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	Ungeeignete Werkzeugwahl / falscher Kabeldurchmesser beim Verpressen der Aderendhülsen	Nein	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Herstellungsprozess
LSK3	Leittechnik, Leisten/Stecker	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	Beschichtung von Drahtwickelpfosten löst sich nach Reinigung mit Hochdruckreiniger	Nein	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Prozess (Instandhaltung)
LSK4	Leittechnik, Leisten/Stecker	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	Belag auf Kontakten von Entkopplungsbaugruppen wegen verunreinigtem Reinigungsbad	Ja, in mehreren Komponenten	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Herstellungsprozess
ANT1	Leittechnik, Montage/HF	Baugruppen	Leittechnik	1	Falscher nicht EVA-sicherer Typ von Analogtrennwandler verbaut	Nein	Ausgangssignal beliebig	Gleiche Prozedur (Montage)
REL1	Leittechnik, Relais	Relais, offene Systeme (Kammrelais)	Leittechnik	1	Übergangswiderstände auf Relaisbaugruppe und Zeitgliedern, Verdampfter Klebstoff bewirkt Beläge	Ja, in mehreren Komponenten	Schaltet ohne Anforderung	Gleicher Komponententyp (Relais)
REL2	Leittechnik, Relais	Relais, Zeitrelais	Leittechnik	1	Zeitglieder 'defekt'	Ja, in mehreren Komponenten	Schaltet nicht	Gleicher Komponententyp (Relais)
REL3	Leittechnik, Relais	Relais, Zeitrelais	Leittechnik	1	Leiterbahnfolie auf Relaissockel von Zeitgliedern temperaturbedingt gealtert	Ja, in mehreren Komponenten	Schaltet nicht	Gleicher Komponententyp (Relais)
SPA2	Leittechnik, Energieversorgung	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Leittechnik	1	IC auf Spannungsversorgungsbaugruppe verträgt Eingangsspannungen nicht	Ja, in einer Komponente	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Komponententyp (IC)
MEP1	Messeinrichtung, Druck, Durchfluss, Füllstand	Druckmessung: Messumformer	Primärkreis Frischdampfsystem	2	Überdruckscheiben in Druckmessumformern nicht maßhaltig	Ja, in allen Komponentengruppen und Systemen	Schaltet nicht	Gleicher Komponententyp (Umformer)

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
MEP3	Messeinrichtung, Druck, Durchfluss, Füllstand	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen betriebliche Systeme	mehrere	Risse in Isolierung kapazitiver Füllstandsmeßsonden wegen Materialfehler	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Ausfall nach oben	Gleicher Komponententyp (Umformer)
MEX2	Messeinrichtung, Aktivität und Neutronenfluss	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Primärkreis	1	Vertauschung der Gliederzüge Übergangs und Leistungsbereich der Neutronenflussmessung	Nein	Ausgangssignal beliebig	Auslegungsfehler
MEV1	Messeinrichtungen, verschiedene Messungen	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Kühlmittellagerung	1	Messkabel bei Stemmarbeiten für Durchbrüche beschädigt	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Räumliche Nähe
MEV2	Messeinrichtungen, verschiedene Messungen	nicht für quantitative Bewertung verwendet P	Primärkreis Speisewassersystem Druckluftversorgung Lüftung Reaktorgebäude	3	Unzureichende Qualitätssicherung bei Kabelverlegarbeiten, mehrere Kabel bei Verbau beschädigt	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Räumliche Nähe
NSD1	Notstromdiesel	Notstromdiesel	Notstromanlagen	1	Kupplungen zwischen Diesel und Generator unterdimensioniert, schnelle Alterung	Ja, mehrere Komponenten in einer Komponentengruppe	Betriebsversagen	Gleicher Komponententyp (Kupplung)
NSD3	Notstromdiesel	Notstromdiesel	Notstromanlagen	1	Fremdkörpereintrag in Turbolader, ungesicherte Stützringe in Kompensatoren	Ja, in einer Komponente	Betriebsversagen	Gleicher Komponententyp (Kompensator)
NSD4	Notstromdiesel	Notstromdiesel	Notstromanlagen	1	Irrtümliche Freischaltung der automatischen Dieselanregung während Revision	Ja, in allen Komponentengruppen	Startet nicht	Gleiche Prozedur (Freischaltverfahren)
NSD5	Notstromdiesel	Notstromdiesel	Notstromanlagen verschiedene Systeme	mehrere	Konstruktionsmängel und Verschmutzung von Manometer-Prüfventilen verzögert Schmieröldruckmessung	Nein	Startet nicht	Gleicher Komponententyp (Manometer-Prüfventil)
NSD6	Notstromdiesel	Notstromdiesel	Notstromanlagen	1	Ungünstige Kühlwasserchemie, Lochkorrosion in Kühlwassersystem	Ja, in einer Komponente	Betriebsversagen	Auslegungsfehler

Kürzel	Diskussion in Anhang B	Bewertete Komponententypart	Betroffene Systeme	Anzahl der betroffenen Systeme	Ursache	Vorhandensein von Ausfällen	Ausfallart	Übergreifender Aspekt
SCH1	Schalter	Leistungsschalter, Leistungsschütze (zwischen Unterverteilungen)	Notstromanlagen	1	Bei Spannungstransiente ziehen Schütze nicht voll an, Zerstörung durch Zwischenposition	Ja, in allen Komponentengruppen	Schließt nicht	Gleicher Komponententyp (Leistungsschutz)
SCH3	Schalter	Leistungsschalter, mit Federantrieb (zwischen Unterverteilungen)	Notstromanlagen	1	Verdrahtungsfehler: Wiederzuschalten nach Spannungswiederkehr unscharf, stattdessen Schalterfall	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Schließt nicht nach Öffnen	Gleiche Prozedur (Instandhaltung)
SCH4	Schalter	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen	1	Hilfsschütze in Schaltern haben zu lange Schaltzeit	Ja, Rückmeldung der Auslösung betroffen	Schaltet nicht (in anderer Anlage bzw. startet nicht, da Komponente Pumpe)	Gleicher Komponententyp (Schalter/Hilfsschütz)
SCH5	Schalter	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen	1	Wasserstoffinduzierte Rissbildung an Federn	Unklar, vermutlich in mehreren Komponentengruppen	Unklar	Gleicher Herstellungsprozess
SCH6	Schalter	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen	1	Auslösestromstärke verstellt, Pneumatische Membranen irrtümlich geschmiert	Ja, in einer Komponente	Schaltet ohne Anforderung	Gleiche Prozedur (Wartung)
GLR1	Stromrichter	Gleichrichter	Notstromanlagen	1	Gleichrichter bleiben nach Transiente aus, Abstand Rückschaltwert Abschaltwert zu groß	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleiche Prozedur (Wartung)
GLR2	Stromrichter	nicht für quantitative Bewertung verwendet	Notstromanlagen	1	Spannungsspitzen während Gewitter lösen Gleichspannungsüberwachung aus	Ja, in mehreren Komponentengruppen	Ausfall mit Ausgangsspannung Null	Gleicher Komponententyp (Überwachungsbaugruppe)
VEN1	Ventilatoren	Ventilatoren	Lüftungssystem Reaktorgebäude	1	Falscher Lagertyp verbaut	Ja, in einer Komponente	Fördert nicht	Gleiche Prozedur (Montage)
VEN2	Ventilatoren	Ventilatoren	Lüftungssystem Ringraum Lüftungssystem Hilfsanlagengebäude	2	Betätigungsbaugruppe 'defekt'	Ja, in allen Komponentengruppen und Systemen	Startet nicht	Gleicher Komponententyp (Betätigungsbaugruppe)

5.2.1 Betrachtung der betroffenen Systeme

Sortiert man die 79 letztendlich gefundenen Ereignisse aus Tab. 5.4 nach den betroffenen Systemen, ergibt sich die in Tab. 5.5 beschriebene Aufteilung. Bei den Ereignissen, die unter 'sonstige Systeme' aufgeführt sind, waren aus der vorliegenden Ereignisdokumentation nicht alle betroffenen Systeme abzuleiten. Dabei kann nicht davon ausgegangen werden, dass die nicht genauer bekannten betroffenen Systeme ausschließlich betriebliche Systeme ohne sicherheitstechnisch relevante Aufgaben sind.

Tab. 5.5 Zuordnung der identifizierten komponentengruppenübergreifenden GVA nach Systemen

System	Zugehörige Ereignisse	Anzahl der zum System gehörigen Ereignisse
Verfahrenstechnische Systeme:		
BE-Beckenkühlsystem	AAK1	1
BE-Beckenreinigungssystem	AAS1	1
DE-Abschlämmsystem	AAV2, AAÜ2	2
DE-Probenentnahmesystem	AAV3	2
Druckluftvers. Lüftung RG	MEV2	1
Druckabsicherung Primärkreis	DHS1, DHS2, DHS3, DHS5, DHS6	5
Frischdampfsystem	AAV5, FSA1, FSA2, FSA4, FSA7, FSA8, MEP1	7
Gasversorgungssystem	AAV6	1
H2-Abbausystem	AAÜ4	1
H2-Überwachungssystem	AAÜ4	1
Kühlmittellagerungssystem	MEV1	1

System	Zugehörige Ereignisse	Anzahl der zum System gehörigen Ereignisse
Löschwassersystem	ASL1	1
Lüftungssystem Hilfsanl.geb.	AGL4, VEN2	2
Lüftungssystem Notspeisegeb.	AGL5	1
Lüftungssystem Reaktorgeb.	AGL1, AGL2, VEN1	3
Lüftungssystem Ringraum	AGL3, AGL4, VEN2	3
Nebenkühlwassersystem	RSK2, KPA7	2
Notnebenkühlwassersystem	RSK2	1
Notspeisewassersystem	ARV1, ARV2*, AAÜ6, KPA6	4
Not- und Nachkühlsystem	AAS4, AAV1, AAV7, RSK3*, RSV1, RSV2, RSV5, AAÜ5, AAÜ6	9
Primärkreis	MEP1, MEX2, MEV2	3
Probenentnahmesystem	AAV6, AAÜ4	2
Speisewassersystem	AAS2, ARV2*, AAÜ3, RSK1, MEV2	5
Steuerstabsystem	DHS6	1
Volumenregelsystem	RSV3, RSV4	2
Zusatzboriersystem	RSV4	1
Sonstige Systeme	RSV5, AAV5, AAÜ7, AAÜ8, KPA6, KPA7, MAP3, NSD5	8
Elektrotechnische Systeme:		
Batterieanlage	BAT1, BAT2, BAT3, BAT6	4
Notstromdieselanlage	MEP3, NSD1, NSD3, NSD4, NSD5, NSD6	6
Schalter	SCH1, SCH3, SCH4, SCH5, SCH6	5

System	Zugehörige Ereignisse	Anzahl der zum System gehörigen Ereignisse
Gleichrichter	GLR1, GLR2, BAT6	3
Leittechnische Systeme:	KON1, KON2, LSK1, LSK2, LSK3, LSK4, ANT1, REL1, REL2, REL3, SPA2	11

Bei Ereignissen aus alten Anlagen, bei denen auch der grundsätzliche Aufbau der Sicherheitssysteme nicht ganz dem Aufbau in neuen Anlagen entspricht (siehe Abschnitt 2.2) wurden für diese Auswertung die Ereignisse den Systemen zugerechnet, die in einer Vor-Konvoi- oder Konvoi-Anlage den alten Sicherheitssystemen am ehesten entsprechen. Sicherheitseinspeise- und Nachkühlsystem wurde ebenso wie das zusätzliche Sicherheitseinspeisesystem dem Not- und Nachkühlsystem zugerechnet. Das Notstandsnebenkühlsystem wurde mit dem Notnebenkühlwassersystem, das Notstandszwischenkühlsystem mit dem nuklearen Zwischenkühlkreis und das Notspeisewassersystem trotz des nicht ganz gleichen Aufbaus mit dem gleichnamigen System aus den neueren DWR-Baureihen zusammengelegt. Die entsprechenden Ereignisse sind in der obigen Tab. 5.5 mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

Die verfahrenstechnischen Systeme mit den meisten komponentengruppenübergreifenden Ereignissen sind das Not- und Nachkühlsystem (10 Ereignisse), das Frischdampfsystem (bzw. die Druckabsicherung des Sekundärkreises) (7 Ereignisse), die Druckabsicherung des Primärkreises (5 Ereignisse) und das Speisewassersystem (5 Ereignisse). Würde man die Lüftungssysteme zu einem System zusammenfassen, wäre dieses mit acht Ereignissen ebenfalls zu nennen.

Aufsummiert ergeben sich aus den in Tab. 5.5 aufgeführten Ereignisanzahlen mehr als die oben genannten 81 Ereignisse, da einige Ereignisse mehrere Systeme gleichzeitig betrafen. In Tab. 5.6 sind nochmals explizit die Ereignisse aufgeführt, die mehr als ein System betrafen. Dabei ist zu beachten, dass das Ereignis RSK3 zwar drei Systeme, nämlich Sicherheitseinspeisesystem, zusätzliches Sicherheitseinspeisesystem und Nachkühlsystem betraf, diese Systeme in neueren DWR-Anlagen aber alle Teil des Not- und Nachkühlsystems sind und das Ereignis daher in Tab. 5.5 nur einmal auftaucht.

Tab. 5.6 Liste der systemübergreifenden GVA

Anzahl der betroffenen Systeme	Ereignisse	Anzahl der Ereignisse
2	AAV6, AGL4, ARV2, RSK2, RSV4, AAÜ6, BAT6, MEP1, VEN2	9
3	RSK3, AAÜ4, DHS6, MEV2	4
mehrere	AAV5, RSV5, AAÜ7, AAÜ8, MEP3, NSD5	6

Es ist zu beachten, dass die Schalterereignisse SCH3 und SCH6 ebenfalls systemübergreifend wären, würde man, wie in bisherigen PSA der GRS, die Leistungsschalter einer Komponente als zur Komponente gehörig betrachten. Für die Ereignisse KPA6, KPA7 und SCH4 liegen keine genauen Angaben zu der Einbauposition der betroffenen Schalter vor, allein die Anzahl der betroffenen Komponenten lässt aber auch hier die Annahme eines systemübergreifenden Ereignisses zu. Ändert man die Kategorisierung insoweit, als dass auch Leistungsschalter von Komponenten als Komponentengruppen im Notstromsystem betrachtet werden, sind alle Schalterereignisse diesem System zuzuordnen.

5.2.2 Auswertung nach Komponentenart für komponentengruppenübergreifende Ereignisse

Grundsätzlich sind bei der Betrachtung eines komponentengruppenübergreifenden Phänomens drei Fragen zu betrachten:

- Welche Ursache hatte das Phänomen (z. B. Montagefehler, Auslegungsfehler, Ungeeignete Wartungsprozedur, Alterungseffekt, ungeeignete Betriebsweise, Herstellungsfehler)?
- Wieso wirkte sich die Ursache auf mehrere Komponentengruppen gleichzeitig aus (Gleicher Komponententyp, gleiche Hilfsmittel, Anwendung gleicher Prozeduren)?
- Können daraus unmittelbare Lehren für die Bildung von Komponentengruppen in der PSA abgeleitet werden?

Diese Fragen sollen im folgenden Abschnitt für alle Komponentenarten der in Tab. 5.4 gelisteten Ereignisse soweit möglich beantwortet werden. Bei einigen Ereignissen wird in diesem Kapitel die Zuordnung zur Komponentenart im Vergleich zu der Darstellung in Anhang B geändert. Dies geschieht bei Ereignissen, wo eine Änderung der Komponentenart zur Ableitung von Ansätzen zur Komponentengruppenbildung sinnvoll ist. Beispielsweise sind bei allen verbleibenden Ereignissen an Kreiselpumpen Schädigungen im Zusammenhang mit dem Leistungsschalter der Pumpe beobachtet worden. Die Kreiselpumpen-Ereignisse werden deshalb im Rahmen der Komponentenart Schalter ausgewertet.

5.2.2.1 Motorbetätigte Armaturen

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an motorbetätigten Armaturen: 17

AAK1, AAS1, AAS2, AAV1, AAV2, AAV3, AAV5, AAV6, AAV7, ARV1, ARV2, AAÜ2, AAÜ3, AAÜ4, AAÜ7, AAÜ8, ASL1

Ursachen:

- Ausfallart 'öffnet nicht und/oder schließt nicht':
 - AAK1: Verdrahtungsfehler: Wegend- statt Drehmoabschaltung
 - AAS1: Abrieb an Spindelmuttern durch zu hohen Auftrag von Drehmoment per Hand
 - AAS2: Ungünstig positionierte Schmiernippel verhindern ausreichende Schmierung des Getriebes
 - AAV1: Wiederauflaufen der Armatur durch Tellerfedern auf Grund von Reibwertunterschreitungen nach häufigem Verfahren
 - AAV2: Verformte Spindel auf Grund von Temperaturexpansion bei ungeeignetem Halterungskonzept
 - AAV3: Stopfbuchsmaterial extrudiert in Armatur und blockiert Spindel
 - AAV5: Ungünstig positionierte Schmiernippel verhindern ausreichende Lagerschmierung
 - AAV6: Drehmoauslösung kommt vor Losbrechmoment der Armaturen

- AAV7: Drehmoauslösung kommt vor Losbrechmoment der Armaturen wegen zu hohem Abschalt Drehmoment
- ARV1: Spannungsrisskorrosion an Verdrehsicherung von Deckeln
- ARV2: Hersteller änderte Leistungsbereich der Schaltschütze ohne Kennzeichnung (auch Ausfallart 'regelt nicht')
- ASL1: Abschalt Drehmoment zu niedrig für Öffnen bei Differenzdruck
- AAÜ2: Schmierfettverkokung durch Temperatureinwirkung nach geänderter Isolierung
- AAÜ3: Kondensationsschläge auf Grund undichter Armatur und ungeeigneter Anfahrprozedur beschädigen Motoren/Armaturen (auch Ausfallart 'regelt nicht')
- AAÜ4: Verstopfung nach Eintrag von Formierpapier während Wartung (Ausfallart: 'Verstopfung')
- AAÜ7: Hysterese zwischen Ansprech- und Rückstellwert Drehmoabschaltung
- AAÜ8: Klebstoffverbindung Mitnehmerplättchen Wegendschalter gelöst

Auslegungsfehler spielen in mehr als der Hälfte (9 von 17) der Fälle eine Rolle. Hierbei ist zwischen Auslegungsfehlern zu unterscheiden, bei denen die gesamte Armatur oder Teile der Komponente unter Betriebsbedingungen ein bei der Auslegung nicht oder nicht ausreichend berücksichtigtes Verhalten an den Tag legten (AAS2, AAV2, AAV3, AAV5, AAV6, AAV7, AAÜ7, AAÜ8) und Fällen, bei denen die der Auslegung zu Grunde gelegten Betriebsbedingungen und Anforderungen gegenüber den tatsächlichen Betriebsbedingungen und Anforderungen nicht abdeckend waren (ASL1).

Eine weitere häufige (3 von 17) Ursache sind nicht rechtzeitig erkannte Alterungsphänomene (AAV1, ARV1, AAÜ2).

Ungeeignete Wartungs- und Instandhaltungsprozeduren führten in 2 von 18 Fällen zu Ausfällen. Allen Fällen ist gemein, dass eine fehlerhafte Ausführung der Instandhaltung den Defekt unmittelbar mitverursachte (AAS1, AAÜ4). Auch das Ereignis AAÜ3 ereignete sich nach einem Stillstand, hier waren allerdings Fehler bei der Systeminbetriebnahme ursächlich für den Schaden. In einem Fall waren Fehler während des Herstel-

lungsprozesses eines Betriebsmittels für den Ausfall verantwortlich (ARV2). Bei dem Ereignis AAK1 wurde der Defekt (Fehlverdrahtungen) während der Montage der Armaturen in die Anlage eingetragen.

Übergreifender Charakter:

Eine Ursache für komponentengruppenübergreifende gemeinsame Ausfälle ist die Verwendung gleicher Armaturentypen an verfahrenstechnisch unterschiedlicher Stelle. Eventuelle Auslegungsfehler wirken so auf Armaturen in verschiedenen Systemen gleichzeitig (ASL1). Ebenso werden bei identischen Armaturen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit vergleichbare Montage- (AAK1) und Wartungsprozeduren (AAS1) oder identisches Personal verwendet, so dass hierbei auftretende Fehler ebenfalls komponentengruppenübergreifend werden.

Häufiger sind allerdings Fälle, in denen lediglich Teile der Komponente (dabei kann es sich um mehrere Betriebsmittel handeln) an verschiedenen Armaturen vergleichbar sind, so dass nur Fehler, die diese Teile betreffen, übergreifend werden. Entsprechende Ereignisse wurden für folgende Teile oder Betriebsmittel gefunden:

- Stellantriebe (AAS2, AAV1, AAV5, AAV6, AAV7, AAÜ2, AAÜ7, AAÜ8): Hierbei zeigten sich vor allem Probleme mit Aufbau und Einstellung der Drehmomentabschaltung (AAV6, AAV7, AAÜ7)), sowie den Getrieben, die die Kraftübertragung auf die Spindel besorgen (AAS2, AAV1, AAV5). Jeweils in einem Fall lag die Ähnlichkeit an dem verwendeten Schmiermittel selbst (AAÜ2) und an dem Aufbau der Wegendabschaltung (AAÜ8). Es ist zu bemerken, dass erstens die Hälfte dieser Ereignisse auch komponentenartübergreifend ist (AAV5, AAÜ2, AAÜ7, AAÜ8, wobei bei AAV5 lediglich betriebliche Komponenten einer anderen Komponentenart betroffen waren) und zweitens es sich auch bei den Ereignissen ASL1 und AAK1 um Ereignisse an Stellantrieben handelt, auch wenn dort nur ein Komponententyp betroffen war.
- Gehäuseteile (ARV1) und Halterungen (AAV2)
- Schaltschütze (ARV2)
- Stopfbuchsmaterialien (AAV3)

Bei dem Ereignis AAÜ3 handelt es sich um ein Ereignis, dessen übergreifender Charakter durch die verfahrenstechnische und räumliche Nachbarschaft der betroffenen

Armaturen begründet ist. Die Anforderungen hinsichtlich Dichtheit, Öffnen bei Differenzdruck, Störfallfestigkeit, mechanischen Belastungen etc. sind bei benachbarten Armaturen ähnlich. Werden diese durch einen Auslegungsfehler falsch eingeschätzt oder kommt es durch Fehler in betrieblichen Verfahrensabläufen zu Überbelastungen (AAÜ3), dann sind phänomenbedingt alle Armaturen eines Stranges oder zumindest alle Armaturen, deren Auslegungsgrenzen übertroffen wurden, betroffen.

Einen Sonderfall stellt das Ereignis AAÜ4 dar. Hierbei wurden bei gleichzeitigen unsachgemäßen Wartungen während einer Revision in mehrere Systeme Formierpapier eingetragen, was zum Ausfall verschiedenster Armaturen führte. Der Aspekt, der hier zum Übergreifen führte, waren lediglich die gleichzeitigen Arbeiten im System während einer Revision (mit ungeeigneten Prozeduren).

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Komponenten eines Armaturentyps
Für Armaturen gleichen Modells können gemeinsame Ausfälle angenommen werden. Da im Rahmen der Ermittlung der Zuverlässigkeitsdaten für Einzelfehler bereits ermittelt wird, welcher Armaturentyp wo verbaut ist, wäre die Identifizierung der Gruppen in sicherheitstechnisch relevanten Systemen mit vertretbarem Aufwand möglich. Sind Teile der Komponenten identisch, muss abgewogen werden, ob der zusätzliche mathematische Aufwand durch die qualitative Verbesserung der Ergebnisse gerechtfertigt ist. Bei auffälligen Häufungen an bestimmten Betriebsmitteln oder Teilen der Komponente, wie z. B. hier Stellantrieben, wäre alternativ auch eine Betrachtung der Betriebsmittel bzw. der Teile der Komponente als eigenständige Komponentenart mit GVA im Rahmen der PSA denkbar.
- Betrachtung der Stellantriebe als eigenständige in der PSA modellierte Einheit
Es wurde eine auffällige Häufung an komponentengruppenübergreifenden Ausfällen an den Stellantrieben, die sich zu einem großen Anteil auch nicht eindeutig einer Komponentenart zuordnen lassen, beobachtet. Ein naheliegender Ansatz wäre daher, die Stellantriebe als eigene Betrachtungseinheit in der PSA zu modellieren, deren Ausfall ebenfalls komponententypweise modelliert wird. Alternativ können zumindest gemeinsame Ausfälle für Armaturen angenommen werden, die gleiche oder gleichartige Stellantriebe besitzen,

Ausfälle von in Reihe liegenden Armaturen (AAÜ3) müssen bei der Betrachtung eines einspeisenden Stranges nicht gesondert modelliert oder als spezieller GVA mit ande-

ren Komponentengruppen betrachtet werden, wenn davon auszugehen ist, dass ein Defekt einer Armatur den gesamten verfahrenstechnischen Strang ausfallen lässt. Wenn dann gleichzeitig serielle Armaturen mit in Störung gehen, erhöht sich die Häufigkeit der Unverfügbarkeit des Gesamtsystems nicht. Im Gegenteil würde eine Betrachtung als mehrere Einzelfehler die Ausfallwahrscheinlichkeit des Systemstrangs sogar überschätzen. Anders sieht es bei seriellen Ausfällen an Armaturen, die zur Absperrung eingesetzt werden. Die betroffenen Armaturen hatten allerdings keine derartige Funktion. Interessant ist bei diesem Fall vor allem die Ursache, nämlich mechanische Einwirkungen (hier induziert durch Kondensationsschläge). Diese können auf alle Komponenten innerhalb eines bestimmten örtlichen Bereichs der Anlage gleichzeitig einwirken. Dies ist vor allem bei nicht räumlich getrennten Systemen ein Mechanismus für komponentengruppen- und redundanzübergreifende Ausfälle. Dieser kann dann auch komponentenartübergreifend sein.

Ausfälle, die ihren übergreifenden Charakter aus einer gemeinsamen Wartung/Instandhaltung erhalten, sind schwierig im Rahmen einer PSA zu modellieren, da sich die betroffenen Komponentengruppen von Revision zu Revision ändern und prinzipiell hier auch häufig verschiedene Komponentenarten gleichzeitig nach zumindest teilweise gleichen Wartungs-/Instandhaltungsvorschriften behandelt werden, so dass hier auch ein Potential für eine komponentenartübergreifende Entstehung von Ausfällen (wie im Falle AAÜ4 geschehen) besteht.

5.2.2.2 Lüftungsarmaturen

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an motorbetätigten Armaturen: 5

AGL1, AGL2, AGL3, AGL4, AGL5

Ursachen:

- Ausfallart 'öffnet nicht' für Vorsteuerventil, in Konsequenz Ausfall 'schließt nicht' der Hauptarmatur:
 - AGL2: Nichtschaltende VSV auf Grund von zu hohem Anpressdruck und seltener Betätigung bei hoher Temperatur
 - AGL4: Verzögertes Schalten der VSV auf Grund von Schmiermittelalterung nach Feuchtigkeitseintrag

- Ausfallart 'schließt nicht':
 - AGL1: Verdrehte Dichtringe wegen Schmierfettmangel
 - AGL3: Defekte Dichtschläuche weil nicht regelmäßig getauscht
 - AGL5: Zu große Varianz im Auslösezeitpunkt Wegendschalter

Es ist zu beachten, dass sich die Ausfallart 'öffnet nicht' jeweils auf das Vorsteuerventil der Lüftungsarmatur bezieht. Es gibt keine sicherheitstechnisch relevante Anforderung an Lüftungsarmaturen sich zu öffnen. Ausfälle der Hauptarmaturen sind daher immer zwingend 'schließt nicht'. Hier waren drei (AGL1, AGL3, AGL4) der Ausfälle auf nicht oder nicht rechtzeitig erkannte Alterungsphänomene zurückzuführen, wohingegen in zwei Fällen (AGL2, AGL5) Auslegungsfehler, bei denen sich die Komponente als nicht für die Betriebsbedingungen geeignet erwies, vorlagen.

Übergreifender Charakter:

In drei Fällen (AGL1, AGL3, AGL5) war der gleiche Armaturentyp im Einsatz, so dass Mängel an den Dichtungen (AGL1, AGL3) bzw. an der Wegendabschaltung des Motorantriebs (AGL5) komponentengruppenübergreifende Auswirkungen entwickeln konnten. Bei den beiden anderen Fällen (AGL2, AGL4) waren zumindest jeweils dieselben Typen magnet-betätigter Vorsteuerventile, die letztendlich die Ausfälle verursachten, verbaut. Bei beiden Ereignissen waren die betroffenen Hauptarmaturen in Rohrleitungen unterschiedlicher Nennweite verbaut, allerdings waren die sonstigen Betriebsbedingungen (Medium, Druckverhältnis etc.) und beim Ereignis AGL2 gemäß den Meldeunterlagen auch der Armaturenhersteller identisch.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Komponenten eines Armaturentyps
- Betrachtung der Stellantriebe als eigenständige Komponente
Diese beiden Ansätze aus Abschnitt 5.2.2.1 werden auch durch Ereignisse an Lüftungsarmaturen untermauert.
- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für magnetbetätigte Vorsteuerventile von Lüftungsarmaturen
Es ist insbesondere zu bemerken, dass zumindest der Fall AGL4 auch unab-

hängig von dem Betrieb im Ruhe- oder Arbeitsstromprinzip stattfinden kann. Dies ist also als diversitäres Teilmerkmal nicht in allen Fällen ausreichend.

5.2.2.3 Rückschlagarmaturen

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Rückschlagarmaturen: 8

RSK1, RSK2, RSK3, RSV1, RSV2, RSV3, RSV4, RSV5

Ursachen:

- Ausfallart 'öffnet nicht/schließt nicht':
 - RSV2: Stauchung des Ventilkegels auf Grund von Reibwertunterschreitungen
- Ausfallart 'öffnet nicht':
 - RSK2: Knappe Toleranzen und Schmutzablagerungen im Lagerbereich
- Ausfallart 'schließt nicht':
 - RSK1: Lösen des Klappendeckels wegen ungeeigneter Sicherungsmethode von Gewindestiften
 - RSK3: Bruch von Sicherungsstiften auf Grund dynamischer Belastungen führt zur Blockade
 - RSV1: Schleichleckagen auf Grund zu geringer Druckdifferenzen
 - RSV3: Fremdkörpereintrag
 - RSV4: Kavitation mit Materialabtrag auf Grund von Undichtigkeiten
 - RSV5: Fehlende Stromversorgung, Kontakte der Leistungsstecker verbogen

Fünf der acht Ereignisse (RSK1, RSK2, RSK3, RSV1, RSV5) sind auf Auslegungsfehler zurückzuführen, bei denen die Komponente unter Betriebsbedingungen unerwartetes Verhalten entwickelte. Bei dem Ereignis RSK1 lagen gleichzeitig auch teilweise Montagefehler vor. In zwei Fällen (RSV2, RSV4) blieben Alterungsphänomene vor Ausfall unentdeckt. Im Falle des Ereignisses RSV3 ist eine Einstufung unmöglich, da die Herkunft der Fremdkörper, die zur Blockierung der Rückschlagventile führten, nicht geklärt werden konnte.

Übergreifender Charakter:

Bei vier der acht Ereignisse (RSK2, RSK3, RSV2, RSV4) waren Rückschlagarmaturen eines identischen Armaturentyps betroffen. Im Falle von RSK1 konnte aus der vorliegenden Dokumentation lediglich geschlossen werden, dass der Hersteller der betroffenen Rückschlagklappen identisch ist. Auf Grund des verfahrenstechnisch benachbarten Einbauorts der betroffenen Armaturen erscheint es allerdings wahrscheinlich, dass auch hier typgleiche Armaturen zum Einsatz kamen.

Von den Ereignissen RSV1 und RSV3 sind wiederum serielle hintereinander liegende Armaturen betroffen, die nicht typgleich sind, aber vom selben Hersteller stammen. RSV1 betrifft einen Strang des Nachkühlsystems. Da hier die Auslegungsdaten der Armaturen je weiter man Richtung Flutbehälter geht sich den Umgebungsbedingungen nähern, war das Versagen der einen Armaturengruppe nach den Undichtigkeiten der anderen Armaturen vorhersehbar. Die eigentlich betroffenen, dem Primärkreis näheren Armaturen sind alle vom selben Armaturentyp. Da es sich hier um Rückschlagventile in einem Nachkühlstrang handelt, haben diese sicherheitstechnisch relevante Absperrfunktionen ebenso zu erfüllen wie ein sicherheitstechnisch relevantes Öffnen im Falle einer Einspeisung. Je nach Anforderung wäre eine strangweise oder strangübergreifende Wahl der Komponentengruppe angemessen. Der GVA wäre allerdings nur im ersteren Fall systemfunktionsgefährdend und nur im letzteren komponentengruppenübergreifend. Das Ereignis wird deshalb hier nicht weiter diskutiert. Eine Diskussion des Ereignisses RSV3 kann auf Grund der unklaren Ereignisursache nicht sinnvoll erfolgen.

Bei Ereignis RSV5 besteht die Gleichartigkeit der betroffenen Komponenten darin, dass Teile der Komponente identisch waren. Alle Armaturen wurden über eine Schaltanlage des gleichen Typs versorgt. Diese Schaltanlage enthielt überall gleich ausgeführte Stecker in der Ansteuerung. Derartige gleichartige Kleinstteile in der Stromversorgung in die PSA einzubringen ist mathematisch sehr aufwendig, da sie in großem Umfang bei den verschiedensten Komponenten zum Einsatz kommen können. Konsequenterweise war das Ereignis RSV5 auch komponentenartübergreifend, allerdings waren die übrigen betroffenen Armaturen nicht sicherheitsrelevant. Es wird an dieser Stelle auch auf Grund der beschränkten Auswirkungen des Ereignisses im Sicherheitssystem darauf verzichtet, spezifische Forderungen abzuleiten. Trotzdem sollte bei Überlegungen zur Modellierung zukünftig bedacht werden, dass im Bereich der Ener-

gieversorgung in der Leittechnik verschiedene verfahrenstechnische Komponenten gleichartige Betriebsmittel verwenden.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Komponenten eines Armaturentyps
Dieser Ansatz aus Abschnitt 5.2.2.1 wird auch durch Ereignisse an Rückschlagarmaturen untermauert.

5.2.2.4 Batterien

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Batterien: 4

BAT1, BAT2, BAT3, BAT6

Ursachen:

- BAT1: Chloridbasierte Plattenkorrosion
- BAT2: Kurzschluss durch eingetropftes Lötblei / unbekannt
- BAT3: Risse in Zellwänden wegen zu starker Einspannungen
- BAT6: Freischaltung aller Batterien und Gleichrichter einer Schiene auf Grund von Personalfehlern während Revisionsarbeiten

Bei den beobachteten Ursachen von übergreifenden Ausfällen handelte es sich um Herstellungsfehler (BAT2), Auslegungsfehler (BAT1) und Fehlhandlungen während der Montage (BAT3) beziehungsweise während des Betriebs (BAT6). Es ist zu beachten, dass die Ereignisse BAT4 und BAT5, die in Abschnitt 5.1.2 auf Grund nicht vorhandener Funktionsgefährdung ausgeschlossen wurden, symptomatisch BAT1 sehr ähneln, da es auch dort durch chloridhaltige Verunreinigungen zu Ausfällen kam, die Chlorquelle unterschiedlich war. Chloreinträge können grundsätzlich auch durch Herstellungsfehler zustande kommen. Die Entdeckung der Schädigungsmechanismen bei den Ereignissen BAT4 und BAT5 bevor es zu Ausfällen kam, ist unter anderem in Sonderprüfungen nach dem Ereignis BAT1 begründet. BAT1 steht hier daher stellvertretend für Ausfälle auf Grund von chloridhaltigen Verunreinigungen, unabhängig von der Herkunft des Chlors.

Übergreifender Charakter:

Die meisten übergreifenden Ausfälle von Batterien entstanden auf Grund des grundsätzlich immer ähnlichen, wenn nicht sogar gleichen Aufbaus der einzelnen Batteriezellen. Das Kathoden- und Anodenmaterial ist durch das gewünschte chemische Verhalten determiniert. Die Gefäße werden üblicherweise ebenfalls unabhängig vom Hersteller stets aus demselben Material hergestellt /SER 92/. Die Herstellung der einzelnen Komponententeile (Anode, Kathode, Separatoren, Elektrolyt, Gehäuse, Brücken) und die Endmontage werden jeweils in einer Fabrik durchgeführt, so dass Auslegungs- und Herstellungsfehler automatisch alle dortig produzierten Komponententeile betreffen, auch wenn die vom Hersteller in unterschiedlichen Akkumodellen verbaut werden, da sich diese letztendlich nur in der Anzahl der Einzelzellen unterscheiden (BAT1, BAT2).

Bereits bei den Armaturen wurde erwähnt, dass Montage- und Instandhaltungsfehler komponentengruppenübergreifend werden können, wenn die entsprechenden Prozeduren für verschiedene Komponentengruppen zumindest teilweise gleichermaßen verwendet werden und/oder das zuständige Personal identisch ist. Die Batterieanlagen sind unabhängig von Spannungsebene und Netzzugehörigkeit gleich aufgebaut, so dass dies auch auf sie zutrifft (BAT3, BAT6).

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Batterien

Die Anzahl der Komponentengruppen der Komponentenart Batterie im Kraftwerk ist verglichen beispielsweise mit Absperrarmaturen sehr gering. Die im Vergleich dazu große Anzahl an innerhalb dieser Komponentengruppen übergreifenden Ausfällen zeigt, dass es sinnvoll ist gemeinsame Ausfälle aller Batterien anzunehmen. In einigen Untersuchungen der GRS wurden derartige Ausfälle auch bereits unterstellt (z. B. /FRE 95/).

5.2.2.5 Druckhalter-Armaturenstation

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an der Druckhalter-Armaturenstation: 5

DHS1, DHS2, DHS3 DHS5, DHS6

Ursachen:

- Ausfallart 'öffnet nicht / Kenndatendrift':
 - DHS1: Thermisch induzierte Verwerfungen an den VSV, in Folge dessen korrosiver Angriff an Hauptarmatur
- Ausfallart 'öffnet nicht/schließt nicht':
 - DHS2: Druckschläge in Steuerleitungen der VSV wegen unwirksamer Entwässerung
- Ausfallart 'öffnet nicht':
 - DHS3: Ungünstige Materialkombination in Bezug auf thermische Dehnung führt zu Klemmen
 - DHS5: Temperaturbedingte Schmiermittelalterung, Schwergängigkeit der Handabsperrearmaturen der VSV
 - DHS6: Verharzung von Schmiermitteln an Leistungsschützen der magnetischen VSV

Es ist zu beachten, dass sich die Ausfallarten auf die jeweilig ausgefallenen Vorsteuer-ventile beziehen. Eine Ausnahme ist dabei DHS3, hier waren direkt die Hauptventile betroffen, die Ausfallart 'öffnet nicht' bezieht sich auf ein direktes Verklemmen der Hauptventile. Bei der Hälfte der Phänomene handelt es sich um Auslegungsfehler, wobei hier überwiegend Fälle auftraten, in denen sich Komponenten unter Betriebsbedingungen nicht wie in der Auslegung geplant verhielten (DHS1, DHS2, DHS6), Lediglich in einem Fall wichen die Betriebsbedingungen von den während der Auslegung angenommenen ab (DHS1 im Hinblick auf die Hauptarmaturen). Einmal waren ungeeignete Wartungsprozeduren (DHS5) ursächlich.

Übergreifender Charakter:

In Tab. 5.7 ist aufgetragen auf welche Komponenten sich die übergreifenden Phänomene jeweils auswirkten:

Tab. 5.7 Komponentengruppenübergreifende GVA an der Druckhalter-Armaturenstation

Betroffene Armaturen	Phänomene	Anzahl
DH-SiV und DH-AVs	DHS3	1
VSV der DH-SiV und VSV der DH-AV	DHS2, DHS5	2
VSV der DH-AV und sonstige Armaturen	DHS6	1
DH-SiV und VSV der DH-SiV	DHS1	1

An der Druckhalter-Armaturenstation kommen normalerweise typgleiche eigenmediumbetätigte Ventile als DH-Sicherheits- und DH-Abblaseventile zum Einsatz. Auch die entsprechenden zugehörigen magnetbetätigten Vorsteuerventile sind des gleichen Typs. Man würde daher komponentengruppenübergreifende Ausfälle in diesen Komponentengruppen vermuten. Erwartungsgemäß sind 60 % der Ausfälle aus diesen Gruppen (DHS2, DHS3, DHS5). Bei dem Ereignis DHS6 kam es zu einer anderen Kombination von übergreifend betroffenen Komponentengruppen, da hier die Ursache des übergreifenden Charakters wieder in einem gleichartigen Betriebsmittel der Energieversorgung zu finden war.

Bei dem Fall DHS3 lag ein Auslegungsfehler (ungünstige Materialkombination) gleichzeitig an den Sicherheitsventilen und den Abblaseventilen vor, da dort trotz unterschiedlicher Ansteuerung gleichartige Armaturen verwendet wurden. Der Auslegungsfehler DHS2 betraf hingegen alle Vorsteuerventile, die ebenfalls zumindest im Hinblick auf die betroffene Teilkomponente (Entwässerung) gleich aufgebaut waren. Bei DHS5 war der übergreifende Aspekt die Verwendung des gleichen Schmierfetts für die Handabsperreamaturen der VSV. Fehlfunktionen an diesen werden in der PSA als Fehlfunktion des VSV selbst modelliert, daher betraf auch dieses Ereignis alle VSV. Besonders hervorzuheben ist, dass auch die motorbetätigten Armaturen des DH-Abblaseventils betroffen waren, da auch diese mit dem Fett behandelt wurden. Der Ausfall betraf also sowohl motor- als auch magnetbetätigte VSV und ist daher komponentenartübergreifend. Bei DHS1 traten zusammen mit einem GVA an den Vorsteuerventilen auch Schäden an den DH-SiV auf. Allerdings ist der Ausfall der SiV eher als Folgeausfall der Schäden an den VSV zu bewerten, da er durch die Leckagemengen der VSV maßgeblich mitverursacht wurde. Daher müssen auf Grund dieses Ereignisses keine gemeinsamen Ausfälle zwischen Hauptarmatur und VSV unterstellt werden.

DHS6 stellt wie bereits ARV2 einen Ausfall auf Grund eines identischen Betriebsmittels, den Leistungsschützen, dar. Dies kann verschiedenste motorbetätigte Ventile gleichzeitig betreffen, in diesem Falle auch die der DH-Abblaseventile.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle der DH-VSV, sowie der DH-Hauptarmaturen. Trotz der kleinen Anzahl an Komponentengruppen wurde eine größere Anzahl an komponentengruppenübergreifenden Ausfällen beobachtet. Konsequenterweise sollten daher für die Vorsteuerventile und Hauptarmaturen untereinander übergreifende Ausfälle angesetzt werden, sofern sie in der jeweiligen PSA als eigenständige Komponenten modelliert werden.

Die Problematik Fehler des Anlagenpersonals im Rahmen der Wartung/Instandhaltung oder Montage statistisch mit den passenden Komponentengruppen zu erfassen, wurde bereits in Abschnitt 5.2.2.1 erwähnt.

5.2.2.6 Frischdampf-Armaturenstation

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an der Frischdampf-Armaturenstation: 5

FSA1, FSA2, FSA4, FSA7, FSA8

Ursachen:

- Ausfallart 'öffnet nicht':
 - FSA1: Verschmutzung der magnetischen VSV
 - FSA2: Korrosion von Kolbenringen an den VSV
 - FSA4: Schrumpfen des Spulenkörpers bei magnetischen VSV im Ruhestromprinzip
 - FSA7: Handabsperrentile der VSV nach Revision (Kurzstillstand) nicht geöffnet
 - FSA8: Relaxationsvorgänge und Verklemmen an Lagern der magnetischen VSV

Die Ausfallart bezieht sich jeweils auf das Vorsteuerventil. Bei den gefundenen komponentengruppenübergreifenden Ausfällen handelt es sich überwiegend um Auslegungsfehler (3 von 5 Fällen). In drei Fällen war die konstruktive Ausführung für die Betriebsbedingungen nicht temperatur- (FSA4, FSA8) oder korrosionsbeständig (FSA2) genug. In drei Fällen waren fehlerhafte oder unvollständige Wartungs- und Instandhaltungsprozeduren ursächlich für den Ausfall, wobei zweimal Verschmutzungen nicht verhindert wurden (FSA1, FSA2), während es einmal durch die nicht sachgerechte Ausführung der Freischaltmaßnahme überhaupt erst zum Ausfall kam (FSA7).

Übergreifender Charakter:

In Tab. 5.8 ist aufgetragen auf welche Komponenten sich die übergreifenden Phänomene jeweils auswirkten:

Tab. 5.8 Komponentengruppenübergreifende GVA an den Frischdampfsicherheitsarmaturen

Betroffene Armaturen	Phänomene	Anzahl
Magnetbetätigte VSV (nur Ruhestromprinzip)	FSA4, FSA8	2
Alle VSV	FSA7	1
Magnetbetätigte VSV (außer kleines SIV) und Stützdampfventil	FSA1, FSA2	2

Alle übergreifenden Phänomene betrafen die Vorsteuerventile. Dies ist zunächst nicht verwunderlich, da es sich bei den Hauptarmaturen der FSA-Station zwar um ähnliche, aber nicht identische Armaturentypen handelt, so dass Auslegungs- und Herstellungsfehler nicht automatisch übertragbar sind. Gemeinsame Phänomene auf Grund gleicher Betriebsbedingungen wären ebenso wie Ausfälle durch Montage, Wartung- und Instandhaltungsfehler prinzipiell denkbar, wurden aber trotzdem nicht beobachtet.

Bezüglich der Vorsteuerventile ist festzustellen, dass die Ereignisse FSA1 und FSA2 an einer älteren Anlage beobachtet wurden, die, zumindest zum Zeitpunkt des Ereigniseintritts, nicht mit der typischen Siemens FSA-Station der heute noch in Betrieb befindlichen Kraftwerke ausgerüstet war. Betrachtet man zunächst lediglich die Ausfälle an normalen FSA-Stationen, so sind drei unterschiedliche Arten von Vorsteuerventilen zu unterscheiden: motorbetätigte, magnetbetätigte mit Arbeitsstromprinzip und mag-

netbetätigte mit Ruhestromprinzip. Die VSV sind trotz der unterschiedlichen Antriebe nicht vollständig diversitär. Freischaltprozeduren betreffen jeweils strangweise den gesamten Armaturenblock der Vorsteuerventile, so dass grundsätzlich ein Potential für gemeinsame Ausfälle besteht (FSA7). Die Teilmenge der magnetbetätigten Ventile unterscheidet sich im grundsätzlichen Ventilaufbau (gleicher Ventiltyp, ggf. etwas andere Federkräfte) nicht voneinander, weswegen zusätzlich auch gleichzeitige Auslegungsfehler unterstellt werden können. Der diversitäre Teilfaktor des unterschiedlichen Betriebsprinzips sorgt für eine unterschiedliche Betriebstemperatur (und leicht abweichende Stellkräfte), so dass einige Phänomene auf Grund ihrer Temperaturabhängigkeit in ihrer Übertragbarkeit auf Ventile mit Arbeitsstromprinzip eingeschränkt werden müssen (FSA4, FSA8). Als diversitärer Teilfaktor wären hieraus 'unterschiedliche Betriebsbedingungen' zu verallgemeinern.

Bei den Vorkommnissen in Anlagen ohne typische FSA-Stationen gilt es lediglich eine Anlage zu betrachten in der beide Ereignisse FSA1 und FSA2 auftraten. Hier besteht die Gruppe der Frischdampfarmaturen aus einem FD-Schnellschlussschieber, der in seiner verfahrenstechnischen Aufgabe der FD-Absperrarmatur entspricht. Er wird von magnetbetätigten Vorsteuerventilen betätigt und von einer Anwärmleitung umgangen, in der zwei motorbetätigte Anwärmarmaturen sitzen. Vor dem FD-Schnellschlussschieber befinden sich Abzweigungen mit dem großen FD-SiV, dem FD-ARV und dem kleinen FD-SiV. Vor den ersteren beiden sitzen jeweils motorbetätigte Absperrarmaturen. Die Sicherheitsventile sind ebenfalls mit magnetbetätigten Vorsteuerventilen ausgerüstet, wobei die kleinen FD-SiV mit Magnetventilen eines anderen Herstellers ausgerüstet sind. Die großen FD-SiV und der FD-Schieber haben trotz unterschiedlicher Nennweiten weitgehend identische Vorsteuerarmaturen, weshalb gemeinsame Auslegungsfehler beobachtet werden konnten und Schwächen in der Instandhaltung sich auf beide gleichartig auswirken (FSA1, FSA2). Derselbe Vorsteuerventiltyp findet außerdem auch in betrieblichen Systemen Anwendung (FSA2).

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle der VSV der FSA-Station, ggf. mit Einschränkungen je nach Ansteuerungsprinzip
Trotz der kleinen Anzahl an Komponentengruppen wurde eine größere Anzahl an komponentengruppenübergreifenden Ausfällen beobachtet. Konsequenterweise sollten daher für die Vorsteuerventile untereinander übergreifende Ausfälle angesetzt werden, sofern sie in der jeweiligen PSA als eigenständige Komponenten

modelliert werden. Dabei kann ein unterschiedliches Ansteuerprinzip nicht alleinig als Begründung für eine vollständige Diversität herangezogen werden.

Auf Grund der umfangreichen Betriebserfahrung wurden hier auch in bisherigen PSA (siehe Kapitel 4) entsprechende übergreifende Ausfälle modelliert, wobei teilweise vereinfachend auch lediglich übergreifende Ausfälle der Hauptventile angenommen wurden, die so bisher noch nicht beobachtet wurden.

5.2.2.7 Leittechnik

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen in der Leittechnik: 15

AAS4, AAÜ5, AAÜ6, KON1, KON2, LSK1, LSK2, LSK3, LSK4, ANT1, REL1, REL2, REL3, SPA2, VEN2

Ursachen:

- AAS4: Durchlegierte Transistoren wegen eingekoppelter Hochspannungsimpulse
- AAÜ5: Vorrangbaugruppe 'defekt'
- AAÜ6: Verdrahtungsfehler: Vorrangbaugruppe gibt Drehmoabschaltung Vorrang vor Reaktorschutz
- KON1: Verunreinigungen im Dielektrikum von Kondensatoren
- KON2: Auskristallisieren des Elektrolyts von Kondensatoren
- LSK1: Verbogene Kontaktfedern in Leisten
- LSK2: Ungeeignete Werkzeugwahl / falscher Kabeldurchmesser beim Verpressen der Aderendhülsen
- LSK3: Beschichtung von Drahtwickelpfosten löst sich nach Reinigung mit Hochdruckreiniger
- LSK4: Belag auf Kontakten von Entkopplungsbaugruppe wegen verunreinigtem Reinigungsbad
- ANT1: Falscher, nicht EVA-sicherer Typ von Analogtrennwandler verbaut

- REL1: Übergangswiderstände auf Relaisbaugruppe und Zeitgliedern, Verdampfter Klebstoff bewirkt Beläge
- REL2: Zeitglieder 'defekt'
- REL3: Leiterbahnfolie auf Relaissockel von Zeitgliedern temperaturbedingt gealtert
- SPA2: IC auf Spannungsversorgungsbaugruppe verträgt Eingangsspannungen nicht
- VEN2: Betätigungsbaugruppe 'defekt'

Eine eindeutige Zuordnung einer Ursache ist nicht in allen Fällen möglich. In drei Fällen ist auf Basis der vorliegenden Dokumente überhaupt keine genauere Ursachenbestimmung möglich (AAÜ5, REL2, VEN2). Eine häufige Ursache sind Auslegungsfehler (LSK1, REL1, SPA2), wobei auch hier die Zuordnung nicht eindeutig sind: LSK1 könnte auch als Fehler in der Herstellung interpretiert werden. Diesem Ursachentyp sind außerdem drei weitere Ereignisse zuzuordnen (KON1, LSK2, LSK4). In je zwei Fällen lagen Alterungsphänomene (KON2, REL3) und Montagefehler (AAÜ6, ANT1) vor. LSK3 wurde durch ein ungeeignetes Instandhaltungsverfahren verursacht. AAS4 könnte auch als Prüf- und Instandhaltungsproblem interpretiert werden, da die Armaturenunverfügbarkeit nach der elektrischen Transiente nicht entdeckt worden war und außerdem die elektrische Transiente ebenfalls durch ein ungeeignetes Prüfverfahren zustande kam.

Übergreifender Charakter:

Grundsätzlich sind bei den Leittechnikereignissen zwei unterschiedliche Arten von übergreifendem Charakter zu beobachten:

Ein Aspekt ist die Verwendung von gleichen elektronischen oder mikroelektronischen Bauteilen (Ereignisse wurden für Kondensatoren, Relais, Transistoren und ICs beobachtet) auf nicht zueinander redundanten Baugruppen. Diesem übergreifenden Charakter liegt zu Grunde, dass für vergleichbare Aufgaben in unterschiedlichen leittechnischen Funktionen gleiche Baugruppen verwendet werden können (z. B. für die Zeitverzögerung einer Auslösung unabhängig davon welches Signal genau ausgelöst wird). Bei einem intuitiven Ansatz analog zu verfahrenstechnischen Komponenten (redundante Komponenten in eine Komponentengruppe) sind die entsprechenden Ausfälle dann

komponentengruppenübergreifend. Verfolgt man stattdessen den Ansatz, alle Baugruppen eines Typs in einer Komponentengruppe zu betrachten, wie dies bei der Bewertung der GVA-Ereignisse gehandhabt wurde, sind viele der gelisteten Ereignisse nicht mehr komponentengruppenübergreifend. Ausnahmen sind hier die Ereignisse KON2, REL1 und SPA2 bei denen nicht typgleiche Baugruppen von den jeweiligen Ausfällen betroffen waren. Relaisbaugruppen sind in PSA allerdings (wenn überhaupt) nicht in einer Gruppe modelliert, sondern funktionsbezogen, hier könnte man übergreifende Ausfälle ansetzen:

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle von Relaisbaugruppen entsprechend der in der Ereignisbewertung bereits verwendeten Methode zur Gruppierung von Relais
Für die übrigen Bauteile lässt sich aus der Betriebserfahrung noch kein direkt anwendbarer Ansatz ableiten, dennoch sollte auch diese Quelle systematischer Ausfälle weiter beobachtet werden.

Der andere Typ von übergreifendem Ausfall sind Kontaktprobleme (LSK1-4). Industriell wird nur eine begrenzte Anzahl an Kontaktierungsverfahren verwendet, so dass große Ähnlichkeiten hinsichtlich verwendeter Materialien und Aufbau über weite Teile der Anlage herrschen. Daraus ergibt sich ein Potential an übergreifenden Fehlern, die je nach Modellierung auch komponentenartübergreifend sein kann (siehe auch Ereignis RSV5). Andererseits handelt es sich bei den Kontakten im Prinzip um passive elektrische Einrichtungen, deren Ausfall bisher wegen geringer Ergebnisrelevanz überhaupt nicht modelliert wird. Außerdem wurden mit der Ausnahme des Ereignisses LSK4 (und RSV5) auch alle Ereignisse vor der IBS der jeweiligen Schränke bemerkt. Maßnahmen für die Modellierung in der PSA werden daher nicht abgeleitet.

5.2.2.8 Messumformer

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Messumformern: 4

MEP1, MEP3, MEX2, NSD5

Ursachen:

- MEP1: Überdruckscheiben in Druckmessumformern nicht maßhaltig (Ausfallart 'schaltet nicht')

- MEP3: Risse in Isolierung kapazitiver Füllstandsmeßsonden wegen Materialfehler (Ausfallart 'Ausfall nach oben')
- MEX2: Vertauschung der Gliederzüge Übergangs- und Leistungsbereich der Neutronenflussmessung (Ausfallart 'beliebiges Ausgangssignal')
- NSD5: Konstruktionsmängel und Verschmutzung von Manometer-Prüfventilen verzögert Schmieröldruckmessung (Ausfallart 'startet nicht' für den zugehörigen NSD)

Bei den Ereignissen an Füllstands- und Druckmessumformern handelt es sich um Herstellungsfehler. Bei dem Ereignis an der Neutronenflussmessung hingegen um einen Montagefehler. Bei dem Ereignis NSD5 spielte neben dem Herstellungsfehler (Aspekt der mangelnden Maßhaltigkeit der Ventilbohrungen) auch unzureichende Instandhaltung (Verschmutzungsaspekt) eine Rolle.

Übergreifender Charakter:

Bei den Ereignissen MEP1 und MEP3 kamen Messumformer des gleichen Typs mit einem Herstellungsfehler in unterschiedlichen Systemen zum Einsatz. Analog zu den Beobachtungen bei Armaturen können auch bei Messumformern in diesem Fall Herstellungs-, Instandhaltungs- und Montagefehler und mit gewissen Abstrichen, soweit sich die Betriebsbedingungen gleichen, Auslegungsfehler übertragen werden.

Das Ereignis NSD5 stellt ein übergreifendes Ereignis für Druckmessungen dar, die auf einem gemeinsamen Komponententeil basieren. In diesem Fall führten Konstruktions- und Instandhaltungsprobleme an den Prüfventilen zu verzögerter Signalerfassung. Auch gleichartige Prüfeinrichtungen können die Funktionsfähigkeit einer Komponente beeinflussen. Bei diesem Ereignis handelt es sich allerdings um eines der Ereignisse, die vor Entstehen eines Ausfalls bemerkt wurden.

Das Ereignis MEX2 konnte übergreifend werden, da die Neutronenflussmesszüge prinzipiell eine gewisse Ähnlichkeit miteinander haben. Die Konsequenz wäre eine Verfälschung azimuthaler Neutronenfluss-Messsignale. Da bisher allerdings keine GVA an der Neutronenflussmessung unterstellt werden und dieses Ereignis in seinem Zustandekommen 'Verwechslung beim Einbau' eigentlich ausschließlich vor der IBS stattfinden kann, wird darauf verzichtet, hieraus grundlegende zusätzliche Anforderungen an die GVA-Modellierung abzuleiten.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Messumformer des gleichen Typs
Als Maßnahme analog zu der entsprechenden Maßnahme bei den Armaturen zu sehen.

5.2.2.9 Notstromdiesel

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Notstromdieseln: 4

NSD1, NSD3, NSD4, NSD6

Ursachen:

- Ausfallart 'startet nicht':
 - NSD4: Irrtümliche Freischaltung der automatischen Dieselanregung während Revision
- Ausfallart 'Betriebsversagen':
 - NSD1: Kupplungen zwischen Diesel und Generator unterdimensioniert, schnelle Alterung
 - NSD3: Fremdkörpereintrag in Turbolader, ungesicherte Stützringe in Kompensatoren
 - NSD6: Lochkorrosion im Kühlwassersystem, ungünstige Kühlwasserchemie

Bei drei der vier Fälle handelt es sich um Auslegungsfehler (NSD1, NSD3, NSD6). Auf mangelhafte Prüf- und Instandhaltungsprozeduren ist das Ereignis NSD4 zurückzuführen.

Übergreifender Charakter:

Generell gibt es in deutschen Druckwasserreaktoren nur maximal zwei Komponentengruppen an Notstromdieseln: Die eigentlichen Notstrom- oder D1-Diesel und die Notspeise-Notstrom- oder D2-Diesel. Alle übergreifenden Ausfälle finden daher zwischen diesen beiden Komponentengruppen statt. Die Diesel wurden bisher als diversitär zueinander betrachtet, weil sich in allen Kraftwerken die als D1- und D2-Diesel im Einsatz befindlichen Motorentypen unterscheiden. Der Hersteller der Motoren ist allerdings in

allen in Betrieb befindlichen DWR-Anlagen identisch, so dass sich viele technische Details trotz der formal unterschiedlichen Typen gleichen.

Dies zeigen z. B. die Ereignisse NSD1 und NSD3, die beide übergreifend sind, weil die Betriebsmittel die Schädigung verursachten, die in beiden Typen zu Einsatz kamen. Es handelt sich in einem Fall um die Kupplungen zwischen Diesel und Generator (NSD1) und im anderen Fall um die Kompensatoren der Ladeluftansaugung bzw. deren Stützringe (NSD3).

Die Ereignisse NSD4 und NSD6 sind letztendlich in gleicher Betriebspraxis begründet. Freischaltungen stellen an D1- und D2-Dieseln sehr ähnliche Handlungen dar, die im Falle des Ereignisses von dem gleichen Personal ausgeführt wurden. Auch die Wasserchemie wird in allen auf der Anlage befindlichen Dieseln gleichartig gehandhabt. Sind die Wärmetauscher wie im Falle NSD6 aus demselben Material kann es dann bei ungünstigen Kombinationen zu komponentengruppenübergreifenden Korrosionsangriffen kommen.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für D1- und D2-Diesel
Die im Verhältnis zu der geringen Anzahl an Komponenten große Anzahl an übergreifenden Ausfällen und der auf Grund der geringen Anzahl an Komponentengruppen geringe mathematische Aufwand der Umsetzung sind starke Hinweise darauf, dass ein Ansatz übergreifender GVA sinnvoll ist.

5.2.2.10 Schalter

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Schaltern: 7

KPA6, KPA7, SCH1, SCH3, SCH4, SCH5, SCH6

Ursachen:

- Ausfallart 'schaltet nicht':
 - KPA6: Fehlerhafte Unterspannungsauslösung, Defekte Kondensatoren in Verzögerungsgeräten
 - KPA7: Fehlauslösung Überstromrelais, Nullpunkt verstellt

- SCH1: Zerstörung durch Zwischenposition, Unvollständiges Anziehen nach Spannungstransiente
- SCH3: Verdrahtungsfehler; Wiederzuschalten nach Spannungswiederkehr un-
scharf, stattdessen Schalterfall
- SCH4: Hilfsschütze in Schaltern haben zu lange Schaltzeit (Ausfallart bezieht
sich auf Ausfall in anderer Anlage, da hier nicht funktionsrelevant)
- SCH5: Wasserstoffinduzierte Rissbildung in Federn
- SCH6: Auslösestromstärke verstellt, pneumatische Membranen irrtümlich ge-
schmiert

Bei den Ereignissen an Kreiselpumpen handelt es sich um Schädigungsmechanismen im Zusammenhang mit dem Leistungsschalter der Pumpe. Die Kreiselpumpen-Ereignisse werden deshalb hier im Rahmen der Komponentenart Schalter ausgewertet.

Bei SCH1 handelt es sich um einen Auslegungsfehler, da beim Schaltkonzept ein unvollständiges Anziehen nach einer Spannungstransiente nicht berücksichtigt worden war, so dass die Schaltschütze (hier zwischen den Verteilungen im Einsatz) nicht darauf ausgelegt waren. Die Probleme am Verzögerungsgerät bei dem Ereignis KPA6 sind ein Alterungseffekt und damit ein Problem der Instandhaltung. Bei KPA7 ist unklar, wie die Fehleinstellung zustande kam, daher kann nicht entschieden werden, ob es sich um einen Fehler während der Instandhaltung, Prüfung oder Montage handelt. Anders bei SCH3 und SCH6, wo die Fehlhandlungen eindeutig im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten geschahen. Der Einbau eines formal korrekt funktionierenden, aber nicht ganz den Anforderungen entsprechenden Bauteils wie in SCH4, entspricht am ehesten einem Auslegungsfehler. SCH5 stellt einen Herstellungsfehler dar.

Übergreifender Charakter:

In Tab. 5.9 ist zu allen Schalterereignissen der Teil der Komponente eingetragen, den den übergreifenden Charakter verursachte und in welchem Umfang Schalter betroffen waren.

Tab. 5.9 Komponentengruppenübergreifende GVA an Schaltern

Ereignis	Betroffener Teil des Schalters/ betroffenes Betriebsmittel	Betroffene Schalter
KPA6	Verzögerungsgerät	unklar
KPA7	Überstromrelais	Schalter (10 kV)
SCH1	Schütz selbst	Schütztyp (380 V)
SCH3	'Freischaltung'	alle in dieser Revision gewarteten Schalter
SCH4	Hilfsschütz (Schaltzeit)	Schalterttyp (380 V)
SCH5	Feder	Schalterttyp (380 V)
SCH6	Überstromrelais	Alle Schalter dieses Herstellers (alle Spannungsebenen betroffen)

In drei Fällen (SCH1, SCH4, SCH5) waren jeweils alle Schalter (bzw. Schütze) eines bestimmten Typs betroffen, die im Falle von SCH4 alle ein ungeeignetes Hilfsschütz und bei SCH5 alle aus der Herstellung vorgeschädigte Federn verbaut hatten. SCH1 ist ein Sonderfall, da hier Schaltschütze zwischen den Verbindungen verbaut waren, die alle die Anforderungen aus der Auslegung nicht vollständig erfüllen konnten. Die jeweiligen Schaltgeräte waren dabei in allen Fällen lediglich auf einer Spannungsebene eingesetzt.

Im Gegensatz dazu waren bei dem Ereignis SCH6 alle Schalter eines Herstellers auf allen Spannungsebenen betroffen. Diese hatten alle ein gleichartig aufgebautes Überstromrelais. Im Rahmen der Wartung wurde Membranen in diesen Überstromrelais alle den gleichen, ungeeigneten Instandhaltungsprozeduren unterworfen, so dass an allen Schaltern abweichende, zu niedrige Auslösestromstärken vorlagen. Auch beim Ereignis KPA7 war die Verwendung typgleicher Überstromrelais ursächlich für den übergreifenden Charakter, diese waren falsch eingestellt worden. Aus den vorliegenden Informationen lässt sich zwar ableiten, dass nur Schalter einer Spannungsebene betroffen waren, nicht aber ob diese alle vom selben Schalterttyp waren.

Beim Ereignis KPA6 war das Verzögerungsgerät der Teil der Komponente, der bei allen betroffenen Schaltern identisch war. Bezüglich der betroffenen Schalterttypen und Spannungsebenen liegen keine Informationen vor.

Die Fehlhandlungen bei der Freischaltung aus Ereignis SCH3 waren bei allen Schaltern vorgenommen worden, die in dieser Revision von dem Personal, nach den entsprechenden Prozeduren, gewartet wurden.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für die Schalter einer Spannungsebene

Die größere Anzahl an übergreifenden Ereignissen zeigt, dass die bisherige Modellierung von Leistungsschaltern ausschließlich als Teil der zu schaltenden Komponente nicht empfehlenswert ist, denn in diesem Falle wären die obigen Ereignisse mit Ausnahme von SCH1 alle komponentenartübergreifend. Da allerdings außer SCH12 und möglicherweise SCH3 (unvollständige Daten, genaue Position der betroffenen Schalter unbekannt) keines der Ereignisse Schalter verschiedener Spannungsebenen betrafen, könnte die Komponentengruppenbildung auf die Schalter einer Spannungsebene beschränkt werden. Außerdem sollte zwischen Schützen und Schaltern unterschieden werden.

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für die Schalter von Komponenten mit erhöhten Einschaltströmen

Das Ereignis SCH4 bietet einen weiteren Ansatz zur zusätzlichen Differenzierung: Zu Überstromauslösungen kommt es üblicherweise nur bei Komponenten mit hohen Einschaltströmen (Einschaltrush), also z. B. Pumpen, Ventilatoren oder Transformatoren über die untergeordnete Schienen versorgt werden. Die Leistungsschalter dieser Komponenten können ebenfalls als eigene Komponententypen betrachtet werden. Zusätzliche Recherchen in der GVA-Datenbank der GRS zeigten, dass zwei weitere komponentengruppenübergreifende GVA-Ereignisse in Anlagen mit Siedewasserreaktoren beobachtet wurden, bei denen ebenfalls speziell der Einschalttrush eine Auslösung der Überstromüberwachung verursacht. Dies zeigt, dass es sich bei dem Ereignis SCH4 nicht um ein isoliertes Einzelereignis handelt.

Die Problematik, Fehler des Anlagenpersonals im Rahmen der Wartung/Instandhaltung oder Montage statistisch mit den passenden Komponentengruppen zu erfassen, wurde bereits in Abschnitt 5.2.2.1 erwähnt.

5.2.2.11 Gleichrichter

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Gleichrichtern: 2

GLR1, GLR2

Ursachen:

- GLR1: Gleichrichter bleiben nach Transiente abgeschaltet, Abstand Rückschaltwert zu Abschaltwert zu groß
- GLR2: Spannungsspitzen während Gewitter lösen Gleichspannungsüberwachung aus

In beiden Fällen handelt es sich um Auslegungsfehler.

Übergreifender Charakter:

Beide Fälle haben mit den Schutzeinrichtungen der Gleichrichter zu tun, die in beiden Fällen nicht auslegungsgemäß auf Spannungsschwankungen reagierten. Diese Schutzeinrichtungen sind bei den Gleichrichtern, auch wenn sie unterschiedliche Gleichspannungsversorgungen versorgen, gleich oder zumindest gleichartig und somit potentiell gleich falsch eingestellt (GLR1) und bestehen zumindest bei Gleichrichtern derselben Spannungsebene auch aus vergleichbaren Baugruppen (GLR2), die daher ein Potential für gemeinsame Fehler aufweisen.

Ansätze für die Komponentengruppenbildung

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Gleichrichter des D1- und D2-Netzes oder zumindest innerhalb einer Spannungsebene.

5.2.2.12 Ventilatoren

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Ventilatoren: 1

VEN1

Ursachen:

- VEN1: Falscher Lagertyp verbaut

Es handelte sich um einen Instandhaltungsfehler.

Übergreifender Charakter:

Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Ventilatoren des gleichen Typs. Die betroffenen Komponenten waren alle in der vorherigen Revision gewartet worden, wobei nicht ausreichende QS-Maßnahmen zum Einsatz kamen und hatten alle ähnliche, aber nicht identische Lager. Der übergreifende Charakter besteht also aus einer gemeinsamen Revision, sofern in sicherheitsrelevanten Systemen nur in einer Redundanz gleichzeitig gearbeitet werden darf, ist ein derartig übergreifendes Ereignis in verschiedenen Redundanzen weniger wahrscheinlich, kann allerdings nicht vollständig ausgeschlossen werden.

5.2.2.13 Kabel

Ereignisse mit übergreifenden Ausfällen an Kabeln: 2

MEV1, MEV2

Ursachen:

- MEV1: Messkabel bei Stemmarbeiten für Durchbrüche beschädigt
- MEV2: Unzureichende Qualitätssicherung bei Kabelverlegearbeiten, mehrere Kabel bei Verbau beschädigt

Bei beiden Ereignissen handelt es sich um Montagefehler.

Übergreifender Charakter:

Bei diesen beiden Fällen sind jeweils Kabel betroffen, die an einer Stelle in der Anlage nahe nebeneinander verlaufen, so dass sie bei unsachgemäß ausgeführten Montagearbeiten gemeinsam beschädigt werden konnten. Kabel werden bisher nicht separat modelliert. Die versorgten Komponenten sind in einem Fall teilweise modelliert (MEV2), im anderen Fall handelt es sich um rein betriebliche Komponenten (MEV1). Die Ausfälle wären jeweils komponentenartübergreifend, wurden aber auch bei der IBS entdeckt. Als übergreifender Charakter ist der teilweise örtlich gemeinsame Kabelverlauf zu benennen. Sofern die Kabelverlegung redundanzgetrennt erfolgt, können bei Montage-

fehlern nur Komponenten einer Redundanz beschädigt werden. Daher werden keine weiteren Maßnahmen für die PSA-Modellierung aus diesen Fällen abgeleitet.

6 Auswertung der GVA-Datenbank im Hinblick auf Teildiversität innerhalb der betroffenen Komponentengruppe

Im Rahmen der Auswertung aus Kapitel 5 wurden gleichzeitig auch die GVA-Beschreibungen auf teildiversitäre Merkmale untersucht. Es stellte sich heraus, dass die Anzahl der GVA-Ereignisse mit teildiversitären Merkmalen deutlich kleiner ist als die der GVA mit komponentenübergreifenden Aspekten. Lediglich 16 Ereignisse wiesen teildiversitäre Aspekte auf, wovon 9 auch gleichzeitig komponentengruppenübergreifende Aspekte hatten. Eine Auflistung der Ereignisse mit teildiversitären Aspekten erfolgt in Anhang C. Die Nomenklatur entspricht hinsichtlich der verwendeten Kürzeln in Anhang B und Kapitel 5 verwendeten Abkürzungen für die verschiedenen Komponentenarten. Mit einem vorangestellten 'DIV' werden Ereignisse gekennzeichnet, die ausschließlich teildiversitäre, nicht aber komponentengruppenübergreifende Aspekte aufweisen und daher in Anhang B nicht vorgestellt werden.

6.1 Zusammenfassung gefundener diversitärer Aspekte

Bei den in Anhang C aufgeführten Ereignissen sind unterschiedliche Ursachen für das Vorliegen einer Teildiversität festzustellen. Es werden keine direkten Maßnahmen für die Modellierung in der PSA aus diesen Ursachen abgeleitet, allerdings können diese teildiversitären GVA-Ereignisse als empirische Belege für die Wirksamkeit der entsprechenden Maßnahmen (mit Ausnahme der Teildiversität durch unterschiedliche Umgebungsbedingungen, da diese nur sehr eingeschränkt als gezielte Maßnahme eingerichtet werden kann) zur Verhütung von GVA angesehen werden.

Teildiversität durch Verwendung einer nicht typgleichen Komponente

Herstellungsfehler können durch die Verwendung anderer Fabrikate zuverlässig ausgeschlossen werden (vgl. LSK1, MEP1). Auch die Instandhaltungsprozeduren können auf Grund des unterschiedlichen Aufbaus voneinander abweichen, so dass je nach verwendetem Typ nicht alle Instandhaltungsfehler vollständig übertragbar sind (vgl. DIV-DHS11, DIV-MEP4). Im Falle von DIV-DHS11 ist allerdings unklar, inwieweit es sich bei dieser Diversität um eine geplante Maßnahme handelte.

Teildiversität durch redundanzweise Einführung neuer Komponenten

Es ist zu beachten, dass ein neuer Komponententyp nicht zwingend eine Verbesserung darstellt. Durch die gängige Praxis nicht alle Komponenten auf einmal vollständig auszutauschen, können komponentengruppenübergreifende Ausfälle verhindert werden. Insbesondere für die Komponentenart der Notstromdiesel gibt es zahlreiche Beispiele, bei denen eine Änderung in Aufbau oder Instandhaltung einer Teilkomponente sich im Nachhinein als nicht geeignet erwies, es aber auf Grund einer redundanzweise zyklischen Einführung nicht zu gemeinsamen Ausfällen kam. Diese Ereignisse sind allerdings, da jeweils nur eine Komponente betroffen war und der Fehler auch nicht latent an den anderen Komponenten der Komponentengruppe vorlag, nur Einzelfehler und daher nicht in diesem Bericht aufgeführt. Ein ähnliches Ereignis ist DIV-BAT7. Hier waren ausschließlich relativ neue Komponenten (Batteriekästen) betroffen, da sich manche Materialeigenschaften im Laufe des Alterungsprozesses verbessern (hier: Zähigkeit) und die älteren, noch nicht getauschten Komponenten einer außerplanmäßigen Belastung daher besser standhielten als neue.

Teildiversität durch nicht gleichzeitig durchgeführte Wartungsarbeiten

Systematische Fehler in der Instandhaltung können zumindest teilweise vermieden werden, indem, sofern möglich, nicht alle Komponenten im gleichen Zeitraum gewartet werden (vgl. AAÜ4, SCH7).

Teildiversität durch unterschiedliches Alter der verwendeten Komponenten

Einige Herstellungsfehler betreffen nur Komponenten die während eines bestimmten kurzen Zeitraums hergestellt wurden. Sei dies beispielsweise weil ein fehlerverursachender Teilschritt im Herstellungsprozess entdeckt und/oder geändert wird, oder weil die betroffene Teilkomponente durch konstruktive Optimiermaßnahmen während des normalen Produktlebenszyklus geändert wird. Durch Verwendung unterschiedlicher Chargen kann diese Problematik umgangen werden (vgl. DIV-DHS12, LSK4, NSD7).

Teildiversität durch unterschiedliche Umgebungsbedingungen

Temperatur

Bei der Bildung von Komponentengruppen gemäß /HOL 01/ sind 'gleiche Betriebsbedingungen' vorauszusetzen. In der praktischen Umsetzung kann diese Voraussetzung nicht in beliebigem Detaillierungsgrad umgesetzt werden. Beispielsweise wird die Temperatur eines magnetbetätigten Vorsteuerventils maßgeblich dadurch bestimmt, ob es im Ruhe- oder Arbeitsstromprinzip betrieben wird. Dies wurde bei der Bildung von Komponentengruppen berücksichtigt. Allerdings bewirkt die Wärmeabstrahlung in der Nähe befindlicher Großkomponenten und damit letztendlich beispielsweise die Positionierung innerhalb der Frischdampfarmaturenkammer einen zusätzlichen Beitrag zur Betriebstemperatur. Dieser wurde nicht berücksichtigt, obwohl die dadurch verursachte höhere Temperatur bewirkt, dass temperaturbedingte Alterungsvorgänge potentiell schneller ablaufen und im Falle FSA4 den Unterscheid zwischen Ausfall und lediglich vorhandener Schädigung ausmachen.

Thermohydraulisches Verhalten des Betriebsmediums

Bei den Ereignissen RSK1 und DIV-VEN3 zeigte sich eine Abhängigkeit der aktiven Komponente von der räumlichen Anordnung verfahrenstechnisch benachbarter passiver Komponenten. Die Rohrleitungen, die zu den jeweils betroffenen Armaturen bzw. Ventilatoren liefen, hatten geometrisch eine voneinander abweichende Leitungsführung. Dadurch unterschieden sich die Strömungsverhältnisse innerhalb der ansonsten zueinander redundanten Komponenten und damit auch die mechanischen Belastungen und in Folge dessen die Leistungsaufnahme der Aggregate. Auch bei dem Ereignis DIV-MEP5 war die geometrische Leitungsführung von Belang, die in diesem Fall verhinderte, dass sich in allen Messleitungen Siedebedingungen einstellen konnten.

Eigenschwingungs- und Resonanzverhalten

Bei dem Ereignis DIV-FSA9 unterschied sich das Schwingverhalten der Armaturen bedingt durch die unterschiedlichen Einbauorte, so dass es nur bei einer Armatur zum selbsttätigen Lösen der Drosseln und damit zur Blockade des Ventils kam. Auch bei dem Schwingungsverhalten ist die Positionierung der Komponente innerhalb der Anlage im Vergleich zu ihren Redundanten entscheidend.

7 Untersuchung der Ergebnisrelevanz komponenten- gruppenübergreifender GVA

Um zu überprüfen, ob die Annahme von komponentengruppenübergreifenden GVA einen tatsächlich messbaren Einfluss auf das Ergebnis einer PSA der Stufe 1 haben, sollen die Ergebnisse einer PSA eines Druckwasserreaktors unter der Annahme komponentengruppenübergreifender GVA nachgerechnet werden.

7.1 Auswahl der komponentenübergreifenden Gruppen

Da im Fehlerbaum bei der Berechnung der Komponentennichtverfügbarkeit alle Ausfallkombination durch GVA, bei der es zum Ausfall der Komponente kommt, als einzelne Basisereignisse dargestellt werden, steigt die Anzahl der Basisereignisse bei Annahme von größeren Komponentengruppen sehr stark. Die Anzahl der Basisereignisse $\#BE$ für einen Ausfall durch GVA beträgt unter der Annahme, dass GVA in einer Komponentengruppe der Größe n unterstellt und explizit modelliert werden:

$$\#BE = \sum_{i=2}^n \binom{n}{i}, \quad (7.1)$$

da für jede Möglichkeit, zwei oder mehr Komponenten aus den n Komponenten der Komponentengruppe auszuwählen, ein eigenes Basisereignis erstellt werden muss, welches den gemeinsam verursachten Ausfall der entsprechenden Komponenten darstellt.

Um die Anzahl der Basisereignisse $\#BE$ zu berechnen, wird die Summe zunächst um Terme für $i = 0$ und $i = 1$ erweitert:

$$\#BE = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} - \binom{n}{1} - \binom{n}{0} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} - n - 1 \quad (7.2)$$

Per Induktion soll nun gezeigt werden, dass gilt:

$$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} = 2^n \quad (7.3)$$

Für $n = 1$ ist Gleichung 7.3 offensichtlich erfüllt:

$$\sum_{i=0}^1 \binom{1}{i} = \binom{1}{1} + \binom{1}{0} = 1 + 1 = 2 = 2^1 \quad (7.4)$$

Nun muss noch gezeigt werden, dass wenn Gleichung 7.3 für n erfüllt ist, sie auch für $n + 1$ erfüllt ist. Es ist zu zeigen, dass gilt:

$$\sum_{i=0}^{n+1} \binom{n+1}{i} = 2^{n+1} \quad (7.5)$$

Dazu werden zunächst die Terme für $i = 0$ und $i = n + 1$ aus der Summe gelöst und berechnet:

$$1 + \sum_{i=1}^n \binom{n+1}{i} + 1 = 2^{n+1} \quad (7.6)$$

Unter Verwendung der Identität $\binom{m+1}{k} = \binom{m}{k} + \binom{m}{k-1}$, die für $1 \leq k \leq m$ gültig ist, erhält man:

$$1 + \sum_{i=1}^n \binom{n}{i} + \sum_{i=1}^n \binom{n}{i-1} + 1 = 2^{n+1} \quad (7.7)$$

Setzt man nun $\binom{n}{n} = \binom{n}{0} = 1$ ein und verschiebt den Startwert der Laufvariable in der zweiten Summe, so gilt:

$$\binom{n}{0} + \sum_{i=1}^n \binom{n}{i} + \sum_{i=0}^{n-1} \binom{n}{i} + \binom{n}{n} = 2^{n+1} \quad (7.8)$$

Die ersten und letzten beiden Terme der linken Seite von Gleichung 7.8 können dann zusammengefasst werden. Anschließend kann Gleichung 7.3 eingesetzt werden:

$$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} + \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} = 2 \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} = 2 \times 2^n = 2^{n+1} \quad (7.9)$$

Damit ist Gleichung (7.3) durch Induktion bewiesen. Man setzt Gleichung 7.3 nun in Gleichung 7.2 ein und erhält für die Anzahl der Basisereignisse $\#BE$ für einen Ausfall durch GVA mit einer beliebigen Ausfallart in einer Komponentengruppe der Größe n :

$$\#BE = 2^n - n - 1 \quad (7.10)$$

Bei Komponentengruppen der Größe $n = 16$ entstehen so bereits 65519 Basisereignisse. Dies ist deutlich mehr als praktisch handhabbar.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens RS1198 sollen nachträglich keine umfangreicheren Änderungen mehr an der Modellierung der PSA vorgenommen werden. Folglich werden nur solche Komponenten für komponentengruppenübergreifende GVA in Betracht gezogen, für die bereits damals zumindest „normale“ GVA angenommen wurden. Die Komponentengruppen, für die GVA unterstellt wurden, sind in Abschnitt 4.2 aufgelistet. Als Beispiel wurde die PSA der jüngeren Referenzanlage ausgewählt.

In Tab. 7.1 sind alle Komponentenarten, für die bei der Auswertung der GVA-Datenbank prinzipiell übergreifende Ausfälle gefunden wurden, aufgeführt und ausgeführt, ob sie sich für eine exemplarische Betrachtung komponentengruppenübergreifender Ausfälle eignen.

Tab. 7.1 Eignung verschiedener Komponentenarten als Beispiel für komponenten-gruppenübergreifende Ausfälle

Komponentenart	Eignung
Motorbetätigte Absperrarmaturen	Große Anzahl an Komponenten, Komponentengruppe müsste bei Verwendung als Beispiel sinnvoll eingeschränkt werden
Rückschlagarmaturen	Große Anzahl an Komponenten, Komponentengruppe müsste bei Verwendung als Beispiel sinnvoll eingeschränkt werden
Batterien	GVA von D2-Batterien führt alleinig schon zu Gefährdungszustand (siehe Abschnitt 5.1.5), daher keine großen Risikoänderungen durch zusätzliche übergreifende Ausfälle zu erwarten
Brandschutzeinrichtungen	Keine probabilistische Modellierung in ausgewählter PSA
Druckabsicherung Druckhalter	Nur eine GVA-Komponentengruppe in ausgewählter PSA modelliert (nur die DH-SiV (Hauptarmaturen))
Druckabsicherung Dampferzeuger	Teilweise bereits übergreifende Ausfälle der Vorsteuerventile bei der Durchführung der originalen PSA unterstellt
Kreiselpumpen	Bisher keine übergreifenden Ereignisse an Pumpen selbst beobachtet, die entsprechenden übergreifenden Ereignisse betreffen zumeist die Teilkomponente Schalter
Leittechnikkomponenten	Keine probabilistische Modellierung von GVA in ausgewählter PSA
Messeinrichtungen	Nur für wenige ausgewählte Druck- und Füllstandsmessungen GVA unterstellt, diese eignen sich nicht zum Ansatz übergreifender GVA, da sehr unterschiedliche Einsatzbereiche
Notstromdiesel	Prinzipiell geeignet
Rohrleitungs-Sicherheitsventile	Keine probabilistische Modellierung in ausgewählter PSA
Schalter	Ohne Unterscheidung der Spannungsebenen zu große Anzahl an Komponenten; Mittelspannungsschalter alleine liefern keinen Beitrag, weil D2-Netz dann nicht tangiert; Niederspannungsschalter alleine zu zahlreich
Gleichrichter	Keine probabilistische Modellierung von GVA in ausgewählter PSA
Ventilatoren	Prinzipiell geeignet

Anhand der Tabelle zeigt sich, dass sich lediglich die Notstromdiesel und die Ventilatoren unmittelbar als Komponentenart anbieten, um beispielhaft komponentengruppenübergreifende GVA in einer PSA zu betrachten. Da für Notstromdiesel umfangreichere

Betriebserfahrung existiert, wurden die D1- und D2-Notstromdiesel als die Komponentengruppen ausgewählt, anhand derer komponentengruppenübergreifende Ausfälle beispielhaft untersucht werden.

7.2 Beispielhafte Betrachtung der quantitativen Auswirkungen übergreifender GVA

In diesem Abschnitt werden einfache allgemeine Beispiele untersucht, die die quantitativen Auswirkungen der Modellierung übergreifender GVA illustrieren sollen. Hierzu werden zwei verschiedene Szenarien übergreifender GVA betrachtet. Es werden hier nur diejenigen Komponenten berücksichtigt, für die ein übergreifender GVA betrachtet werden soll. In den beispielhaften Rechnungen wird nur der Einfluss von übergreifenden GVA untersucht. Das mögliche zufällige gleichzeitige Auftreten von GVA und Einzelausfällen wird nicht berücksichtigt.

Beispiel 1:

Die betrachtete Funktion kann von zwei verschiedenen Systemen erbracht werden, die jeweils aus vier redundanten Strängen aufgebaut sind, für deren Verfügbarkeit jeweils eine Komponente verfügbar sein muss. Ein Beispiel ist die Notstrom- bzw. Notstandsnotstromversorgung mit D1- und D2-Notromdieseln.

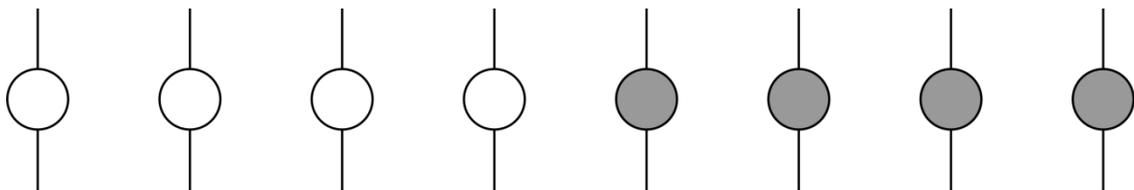


Abb. 7.1 Prinzipielle Systemarchitektur für Beispiel 1

Beispiel 2:

Die betrachtete Funktion wird von vier redundanten Strängen erbracht, für deren Verfügbarkeit jeweils zwei Komponenten (z. B. Rückschlagarmatur und Absperrventil) verfügbar sein müssen. Beispiel:

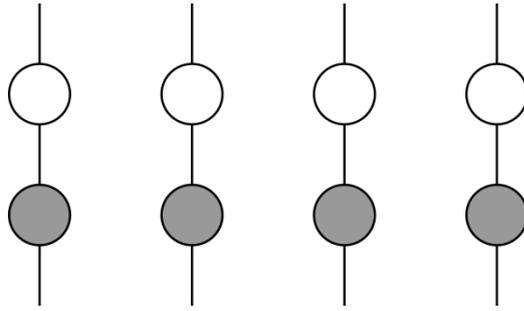


Abb. 7.2 Prinzipielle Systemarchitektur für Beispiel 2

Es wird jeweils davon ausgegangen, dass zur Erfüllung der Funktion mindestens ein Strang erforderlich ist. D. h., wenn alle Stränge unverfügbar werden, tritt das TOP-Ereignis ein.

Um diese Beispiele mathematisch-analytisch betrachten zu können, wird angenommen, dass die einzelnen Komponenten mit einer Wahrscheinlichkeit η (Kopplungsparameter) ausfallen, wenn ein GVA-Phänomen wirksam wird. Die Betrachtungen lassen sich prinzipiell auch auf kompliziertere GVA-Modelle (z. B. das Kopplungsmodell /KRE 01/, /KRE 06/) erweitern. Dann treten allerdings wesentlich kompliziertere mathematische Ausdrücke auf, weswegen diese Modelle in diesem Abschnitt nicht weiter betrachtet werden. Ohne Verwendung von vereinfachenden Modellannahmen lassen sich die Betrachtungen nicht durchführen, da die Wahrscheinlichkeiten verschiedener Ausfallkombinationen in Beziehung gesetzt werden müssen¹.

7.2.1 Beispiel 1

Zunächst wird der Fall betrachtet, dass für die zwei Gruppen kein gemeinsamer Ausfall auftritt bzw. unterstellt wird. Jeweils vier Komponenten sind einer GVA-Komponentengruppe zugeordnet. Dies ist in Abb. 7.3 symbolisch dargestellt.

¹ Auch die Verwendung von Beispielzahlen führt nicht weiter, da die Ergebnisse dann von der spezifischen Betriebserfahrung abhängen.

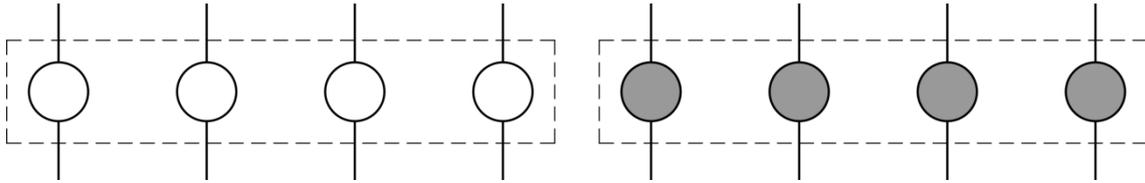


Abb. 7.3 Unterteilung der GVA-Gruppen bei 2 parallelen Gruppen

Die Wahrscheinlichkeit eines GVA mit dem Ausfall von vier Komponenten (und somit von vier Strängen) ist

$$q_{4\setminus 4} = \varphi p(4\setminus 4|\eta) = \varphi \eta^4 \quad (7.11)$$

Hierbei bezeichnet φ die Wahrscheinlichkeit, dass ein GVA in der Komponentengruppe auftritt. Gleichung 7.11 hat die Form eines Produktes der Wahrscheinlichkeit, dass ein GVA in der Zielkomponentengruppe auftritt, mit der bedingten Wahrscheinlichkeit $p(4\setminus 4|\eta)$, dass alle vier Komponenten ausfallen, gegeben dass das GVA-Phänomen aufgetreten ist. Es wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit φ , dass ein GVA in der Komponentengruppe auftritt, sehr klein ist, d. h. dass

$$\varphi \ll 1 \quad (7.12)$$

gilt. Dies ist in praktischen Anwendungen der Fall. Demgegenüber ist η im Allgemeinen nicht klein.

Die Wahrscheinlichkeit, dass das TOP-Ereignis eintritt, d. h. dass beide Systeme ausfallen, ergibt sich als Produkt der Wahrscheinlichkeiten, dass ein einzelnes System ausgefallen ist. Die Wahrscheinlichkeit des TOP-Ereignisses ist also Produkt der Wahrscheinlichkeiten, dass in den Systemen alle vier Komponenten ausfallen. Haben beide Systeme identische Ausfalleigenschaften, ergibt sich:

$$q_{TOP} = (q_{4\setminus 4})^2 = \varphi^2 \eta^8 \quad (7.13)$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist unter den oben getroffenen Annahmen extrem klein, da φ bereits sehr klein ist. q_{TOP} ist quadratisch in φ , da zwei GVA unabhängig voneinander auftreten müssen, damit das TOP-Ereignis eintritt.

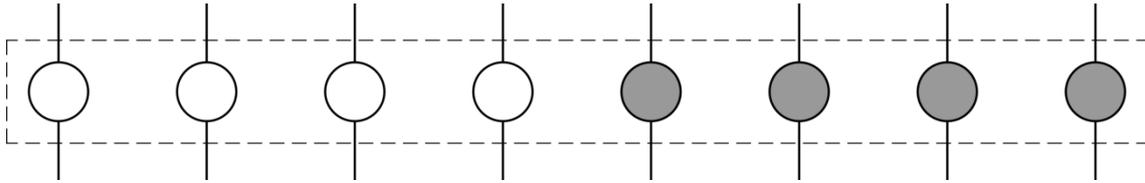


Abb. 7.4 Zusammenfassung der GVA-Gruppen bei zwei parallelen Gruppen

Treten demgegenüber übergreifende GVA auf und alle acht Komponenten gehören zur selben GVA-Komponentengruppe (vgl. Abb. 7.4), so ergibt sich die Wahrscheinlichkeit des TOP als Wahrscheinlichkeit eines 8-von-8-GVA:

$$q_{TOP}^U = q_{8\setminus 8} = \varphi \eta^8 \quad (7.14)$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist signifikant größer, als unter Ausschluss übergreifender GVA:

$$q_{TOP}^U = \frac{1}{\varphi} q_{TOP} \quad (7.15)$$

$1/\varphi$ ist sehr groß, da φ sehr klein ist². Aus der Betriebserfahrung geschätzte Werte für die Wahrscheinlichkeiten φ , dass eine Komponentengruppe von GVA-Ereignissen betroffen wird, liegen typischerweise im Bereich 10^{-2} bis 10^{-5} .

Dies zeigt, dass übergreifende GVA in diesem Szenario im Vergleich mit nicht übergreifenden GVA eine dominante Auswirkung haben. In der Umkehrung bedeutet dies, dass, wenn übergreifende GVA auftreten können, aber nicht in der PSA modelliert werden, eine starke Unterschätzung der Wahrscheinlichkeit des TOP-Ereignisses auftreten kann.

² Grundlage von Gleichung (7.15) ist die Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von GVA sowohl in den einzelnen Gruppen als auch in der übergreifenden Gruppe φ ist. Sind diese Wahrscheinlichkeiten verschieden, aber von derselben Größenordnung, so bleibt das Ergebnis qualitativ dasselbe, da die Wahrscheinlichkeiten, dass das TOP-Ereignis auftritt, in q_{TOP}^U linear, aber in q_{TOP} quadratisch eingehen.

7.2.2 Beispiel 2

Zunächst wird wiederum der Fall betrachtet, dass für die zwei Gruppen kein gemeinsamer Ausfall auftritt bzw. unterstellt wird. Jeweils vier redundante Komponenten sind einer GVA-Komponentengruppe zugeordnet. Dies ist in Abb. 7.5 symbolisch dargestellt.

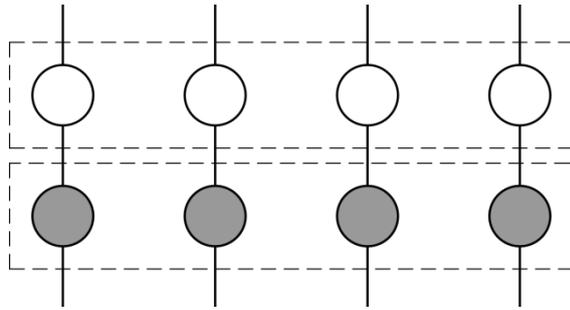


Abb. 7.5 Unterteilung der GVA-Gruppen bei 2 seriellen Gruppen

Das TOP-Ereignis tritt auf, wenn alle vier Stränge un verfügbar sind. Dabei lassen sich folgende zwei Fälle unterscheiden:

- Es tritt ein 4-von-4-GVA bei einer der beiden Komponentengruppen auf.
- Es treten zwei GVA in den beiden Komponentengruppen auf, bei denen solche Komponenten ausfallen, dass alle 4 Stränge un verfügbar werden.

Hierbei ist der erste Fall dominant, da der andere Fall das unabhängige Auftreten mehrerer (unwahrscheinlicher) Ereignisse voraussetzt und somit typischerweise wesentlich unwahrscheinlicher ist³:

$$q_{TOP} = 2 q_{4\setminus 4} + O(\varphi^2) \quad (7.16)$$

Im Folgenden werden deshalb die Terme höherer Ordnung in φ vernachlässigt.

³ Ob dies im Einzelfall zutrifft, hängt von der relativen Wahrscheinlichkeit der verschiedenen GVA-Ausfallkombinationen ab. Bei Schätzung der GVA-Wahrscheinlichkeiten mit dem Kopplungsmodell aus der deutschen Betriebserfahrung ist der erste Fall dominant, da sich die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Ausfallkombinationen im Allgemeinen um maximal ca. eine Zehnerpotenz unterscheidet.

Die Wahrscheinlichkeit eines GVA mit dem Ausfall von vier Komponenten (und somit von vier Strängen) ist wie oben

$$q_{4\setminus 4} = \varphi p(4\setminus 4|\eta) = \varphi \eta^4 \quad (7.17)$$

Somit ist

$$q_{TOP} = \varphi \eta^4 + (1 - \varphi \eta^4) \varphi \eta^4 \approx 2 \varphi \eta^4 \quad (7.18)$$

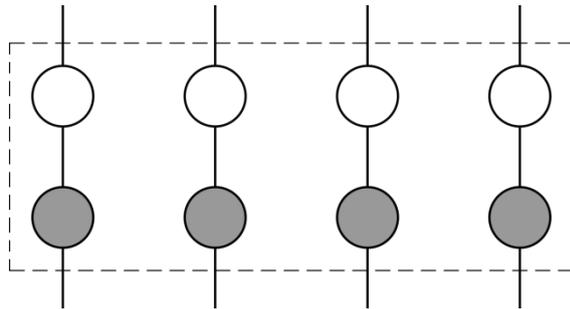


Abb. 7.6 Zusammenfassung der GVA-Gruppen bei 2 seriellen Gruppen

Für den Fall, dass übergreifende GVA auftreten und alle Komponenten einer GVA-Komponentengruppe zugeordnet sind (siehe Abb. 7.6) lässt sich die Wahrscheinlichkeit des TOP unter Verwendung der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeiten η_{Strang} eines Strangs, gegeben dass ein GVA-Phänomen aufgetreten ist, berechnen. Diese Größe ergibt sich, da der Strang ausfällt, wenn mindestens eine Komponente un verfügbar ist und bei Auftreten eines GVA-Phänomens die Komponenten unabhängig voneinander mit Wahrscheinlichkeit η ausfallen, zu:

$$\eta_{Strang} = \eta + (1 - \eta)\eta = 2\eta - \eta^2 \quad (7.19)$$

Dies heißt, in der gewählten Modellierung ist die Gruppe von acht Komponenten einer Anordnung von vier redundanten Komponenten äquivalent, die die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeiten η_{Strang} haben⁴. Daraus folgt:

⁴ Das Ergebnis lässt sich einfach auf den Fall erweitern, dass die beiden Komponentenarten verschiedene bedingte Ausfallwahrscheinlichkeiten haben: $\eta_{Strang} = \eta^{(1)} + (1 - \eta^{(1)})\eta^{(2)}$, wobei $\eta^{(1)}$ und $\eta^{(2)}$ die jeweiligen bedingten Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponentenarten sind.

$$q_{TOP}^U = \varphi (\eta_{Strang})^4 = \varphi \eta^4 (\eta - 2)^4 \quad (7.20)$$

Abhängig von η kann q_{TOP}^U größer oder kleiner als q_{TOP} sein.

Der Quotient q_{TOP}^U/q_{TOP} ist in Abhängigkeit von η in Abb. 7.7 dargestellt.

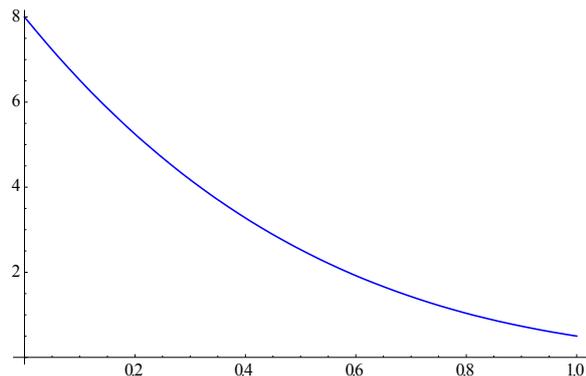


Abb. 7.7 Verhältnis der Ausfallwahrscheinlichkeit für übergreifende GRA-Gruppe und zwei getrennten Gruppen in Abhängigkeit von η

Man erkennt, dass q_{TOP}^U für Werte $\eta > 2 - \sqrt[4]{2} = 0,81$ bis zu zweimal kleiner als q_{TOP} ist. Die Werte für $\eta = 1$ sind einfach zu verstehen: Bei $\eta = 1$ führt das Auftreten eines GVA-Phänomens sicher zum Ausfall aller Komponenten (vollständiger GVA). Wenn zwei GVA-Gruppen vorhanden sind und ein vollständiger GVA jeder dieser Gruppen zum TOP-Ereignis führt, ist die Wahrscheinlichkeit des TOP-Ereignisses doppelt so groß, als wenn nur eine solche GVA-Gruppe vorhanden ist. Voraussetzung ist, dass die Wahrscheinlichkeit φ , dass ein GVA-Phänomen in einer Komponentengruppe auftritt, in beiden Fällen identisch ist. Für kleine Werte η ist q_{TOP}^U bis zu achtmal größer als q_{TOP} . Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass das TOP-Ereignis auftritt, für kleine Werte η klein. In Abb. 7.8 sind beispielhaft q_{TOP}^U und q_{TOP} in Abhängigkeit von η aufgetragen, wobei für die Gruppenwahrscheinlichkeit $\varphi = 10^{-5}$ angenommen wurde. Für $\eta \rightarrow 0$ geht auch $q_{TOP}^U \rightarrow 0$.

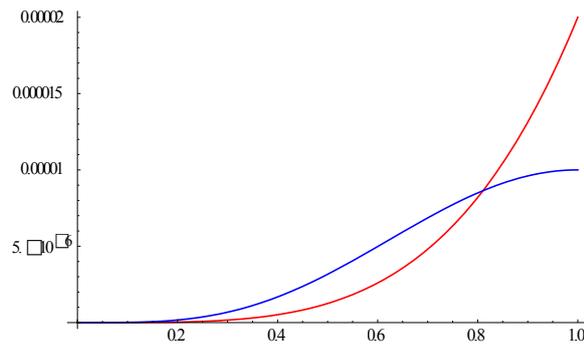


Abb. 7.8 Wahrscheinlichkeiten, dass das TOP-Ereignis auftritt, bei einer GVA-Komponentengruppe (blau) bzw. bei zwei GVA-Komponentengruppen (rot) in Abhängigkeit von η

Die größten absoluten Unterschiede zwischen einer und zwei GVA-Komponentengruppen treten für $\eta \cong 0,61$ und für $\eta = 1$ auf. Bei $\eta \cong 0,61$ ist q_{TOP}^U etwa 1,8 mal größer als q_{TOP} . Bei $\eta = 1$ ist q_{TOP}^U wie oben erwähnt halb so groß wie q_{TOP} .

Die Auswirkungen der Modellierung übergreifender GVA sind hier also komplizierter, da vom Kopplungsparameter η abhängig ist, ob eine Modellierung mit übergreifenden GVA zu einer höheren oder weniger hohen Wahrscheinlichkeit des TOP-Ereignisses führt. Eine unterschiedliche Ordnung in φ ergibt sich nicht.

Ein erheblicher Einfluss der Modellierung von übergreifenden GVA auf das PSA-Ergebnis kann bei diesem Szenario nur entstehen, wenn der Kopplungsparameter hinreichend niedrig ist und gleichzeitig der Beitrag von GVA der betreffenden Komponentengruppe zum PSA-Ergebnis hoch ist.

7.2.3 Fazit

Die Betrachtungen lassen erwarten, dass übergreifende GVA wie in Beispiel 1 einen wesentlichen Einfluss auf PSA-Ergebnisse haben können.

Für übergreifenden GVA wie in Beispiel 2 lässt sich aus den oben dargestellten Untersuchungen entnehmen, dass prinzipiell ein nicht unerheblicher Einfluss gegeben sein kann. Dieser kann aber nur auftreten, wenn GVA-Phänomene von Bedeutung sind, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem Ausfall nur einiger Komponenten führen (kleine Kopplungsparameter im Kopplungsmodell). Sind demgegenüber GVA-Phänomene

dominant, bei denen alle Komponenten mit hoher Wahrscheinlichkeit ausfallen, ist keine wesentliche Abweichung zu erwarten; die Abweichung, die bei Modellierung mit zwei Komponentengruppen auftritt, ist konservativ. Der tatsächliche Einfluss von übergreifenden GVA muss anhand von PSA-Rechnungen näher untersucht werden.

7.3 Beispielhafte Modellierung übergreifender GVA

Als Beispiel für die Auswirkungen der Berücksichtigung eines übergreifenden GVA-Ereignisses in einem PSA-Modell und auch zur Illustration der damit verbundenen praktischen Schwierigkeiten wurden übergreifende GVA der D1-Netz- und D2-Netz-Diesel in einem deutschen Druckwasserreaktor vom Typ Konvoi ausgewählt.

7.3.1 Randbedingungen der Modellierung

Die Referenz-PSA der Stufe 1 ist von der GRS für einen deutschen Druckwasserreaktor vom Typ Konvoi erstellt worden /HOL 01/. Eine umfassende Aktualisierung der PSA ist nicht erfolgt, da im Rahmen dieses Vorhabens lediglich die Effekte eines übergreifenden GVA an einem realistischen Beispiel untersucht werden sollen.

In der Referenz-PSA sind die folgenden Modellierungsannahmen bezüglich der D1- und D2-Diesel getroffen worden:

- In der ursprünglichen PSA ist für die GVA der D1-Diesel und für die GVA der D2-Diesel jeweils eine separate GVA-Gruppe angesetzt worden. Die Zuverlässigkeitskenngrößen beider Gruppen basieren auf den gleichen Daten und sind daher identisch.
- Ein Notstromdiesel des D1-Netzes ist unverfügbar, wenn
 - das Reaktorschutzsignal JR91 ausbleibt,
 - der entsprechende Strang in Wartung ist oder
 - der D1-Diesel durch Startversagen ausfällt (unabhängig oder GVA).
- Ein Notspesiediesel des D2-Netzes ist unverfügbar, wenn
 - das Reaktorschutzsignal JR71 ausfällt,
 - der entsprechende Strang in Wartung ist,

- der D2-Diesel wegen Startversagens ausfällt (unabhängig oder GVA) oder
- der D2-Diesel wegen Betriebsversagens innerhalb 10 h ausfällt (nur unabhängig, keine GVA, da zum damaligen Zeitpunkt bei GVA nicht nach Ausfallarten unterschieden wurde).

Basierend auf der vorgefundenen Modellierung wurde entschieden, als Beispiel nur den übergreifenden GVA in der Ausfallart ‘startet nicht’ zu modellieren.

Die Unverfügbarkeit eines D1-Diesels, z. B. durch GVA (vgl. Abb. 7.9), führt dann im Notstromfall zur Unverfügbarkeit der zugeordneten D1-Schiene (vgl. Abb. 7.12). Die Unverfügbarkeit eines D2-Diesels, z. B. durch GVA (vgl. Abb. 7.10 und Abb. 7.11), führt dann zur Unverfügbarkeit der D2-Schiene, wenn gleichzeitig die Versorgung durch die D1-Schiene unverfügbar ist (vgl. Abb. 7.13).

In den Fehlerbäumen für die Unverfügbarkeit der Diesel ermöglicht der logische Schalter (House Event) GVA-XKA-GETRENNT die Auswahl der Modellierung. Tab. 7.2 gibt einen Überblick über die möglichen Werte dieses House Events und die dann aktive Modellierung.

Tab. 7.2 Auswahl der aktiven GVA-Modellierung

Status von GVA-XKA-GETRENNT	Aktive Modellierung
Normal	Zwei separate GVA-Gruppen
Wahr	Zwei separate GVA-Gruppen
Falsch	Übergreifender GVA

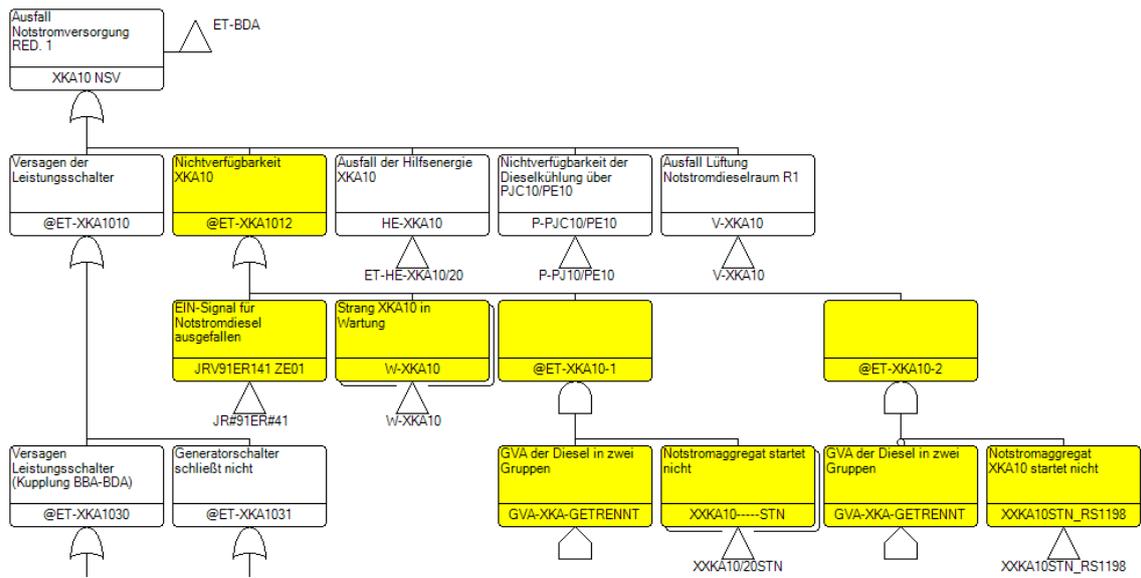


Abb. 7.9 Fehlerbaum für Unverfügbarkeit D1-Diesel XKA10

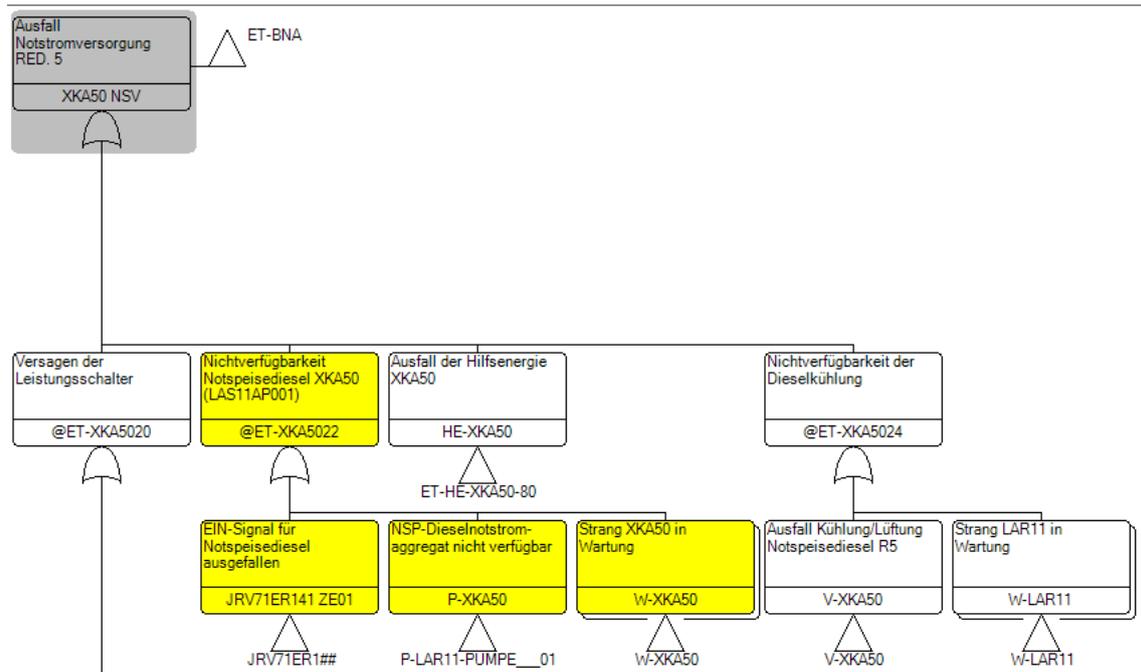


Abb. 7.10 Fehlerbaum für Unverfügbarkeit D2-Diesel XKA50

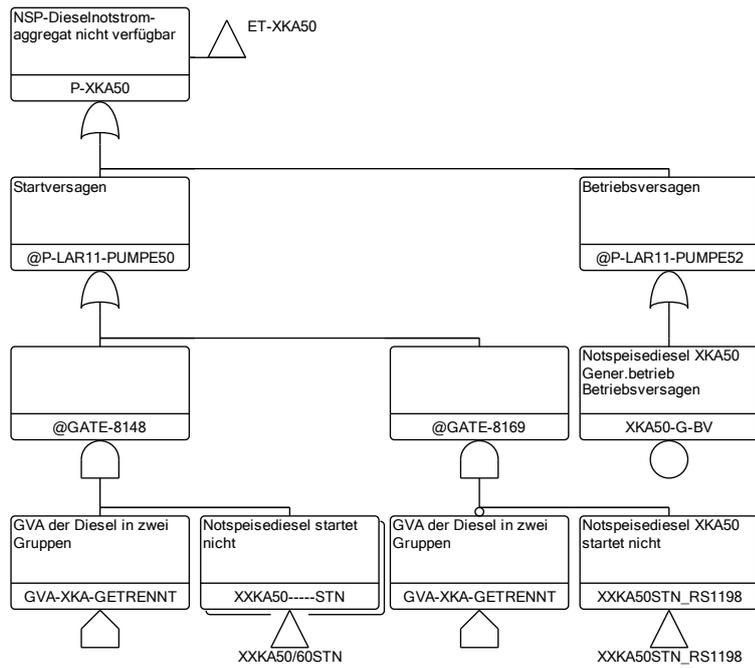


Abb. 7.11 Fehlerbaum für die Unverfügbarkeit des D2-Diesels XKA50 durch Startversagen oder Betriebsversagen

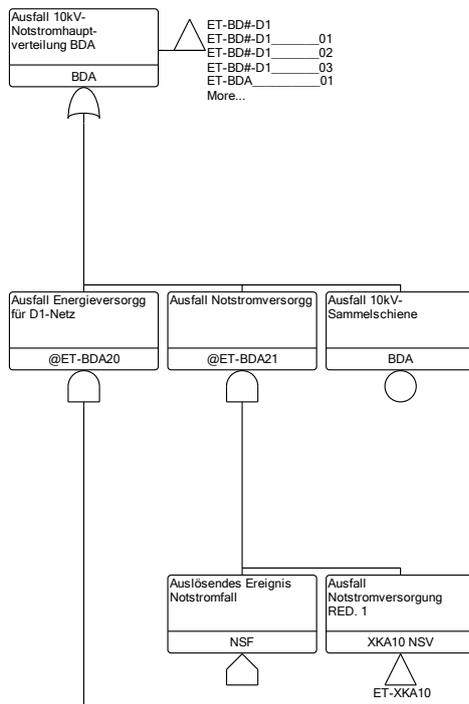


Abb. 7.12 Fehlerbaum für Unverfügbarkeit von D1-Schiene BDA

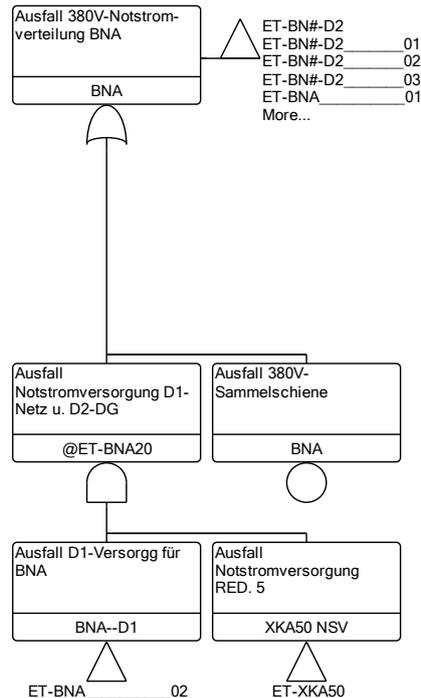


Abb. 7.13 Fehlerbaum für Unverfügbarkeit von D2-Schiene BNA

Durch Ausfälle der Notstromschienen im Notstromfall fallen wiederum die über die Schienen notstromversorgten sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten aus.

Die Verfügbarkeit der Notstromschienen ist entsprechend /FAK 05/ nicht als sogenannte Systemfunktion im Ereignisbaum (vgl. Abb. 7.14) explizit modelliert, da die Notstromversorgung als Hilfssystem eingestuft wird. Stattdessen ist die Verfügbarkeit der Notstromversorgung einzelner Schienen in den Fehlerbäumen berücksichtigt, die Ausfälle von Systemfunktionen modellieren, wie z. B.:

- Y1 'Frischdampfabgabe bei ausgefallener Hauptwärmesenke',
- LA 'Dampferzeugerbespeisung mit LAH oder LAR bei Transienten',
- LA/LB 'Dampferzeuger-zugeordnete Bespeisung und Frischdampfabgabe (1 von 4)',

Mit diesem Ereignisbaum können die Auswirkungen eines übergreifenden GVA sowohl auf die einzelnen Sequenzen als auch für die Konsequenzen GZ (für Gefährdungszustand) überprüft werden.

Auslösendes Ereignis "Notstromfall" H= 2.5E-2/a	Reaktorschnell- abschaltung	FD-Sammler verfügbar bei T1,T3,T4	FD-Abgabe bei ausge- fallener HWS	DE-Bespeisung mit LAH oder LAR bei Transienten	DE-zugeordnete Bespeisung & FD- Abgabe (1v4)	No.	Freq.	Conseq.	Code
T1	RESA	B1	Y1	LA	LA/LB				
						1	2.50E-02	OK	
						2	6.41E-07	GZ	LA
						3	6.75E-08	GZ	Y1
						4	4.13E-03	OK	B1
						5	1.25E-07	GZ	B1-LA/LB
						6	2.50E-10	ATWS	RESA

Abb. 7.14 Ereignisbaum für den Notstromfall bis zum Gefährdungszustand

Weitere wichtige Informationen lassen sich zudem aus dem in Abb. 7.15 dargestellten Fehlerbaum zur Unverfügbarkeit der Notstromhauptverteilungen mit vier von vier Redundanzen der D1-Netz-Hauptverteilungen BD und dem entsprechenden Fehlerbaum für vier von vier Redundanzen der D2-Netz-Hauptverteilungen BN (Abb. 7.16) ableiten. Falls ein Notstromfall vorliegt, kann man damit über den in Abb. 7.17 dargestellten Fehlerbaum die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Station Blackout (Unverfügbarkeit sowohl der D1- als auch der D2- Hauptverteilungen) berechnen.

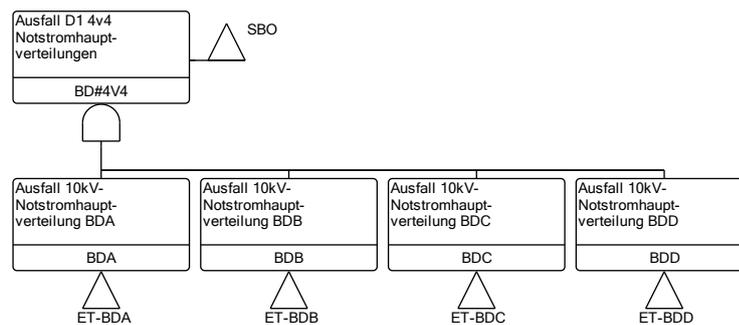


Abb. 7.15 Fehlerbaum Unverfügbarkeit 4 von 4 BD-Schienen (D1-Netz)

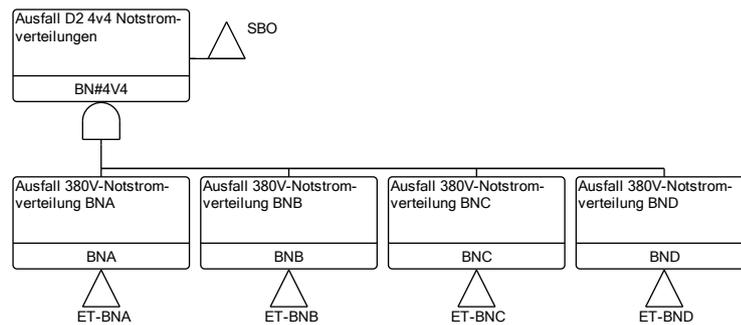


Abb. 7.16 Fehlerbaum Unverfügbarkeit 4 von 4 BN-Schienen (D2-Netz)

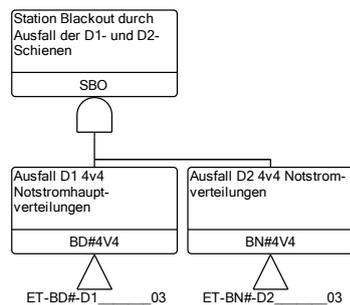


Abb. 7.17 Fehlerbaum für den Ausfall der D1- und D2-Schienen (Station Black-out (SBO) beim Notstromfall)

7.3.2 GVA-Wahrscheinlichkeiten für D1-/D2-Diesel

Für einen tragfähigen Vergleich der beiden Modellierungsansätze ist es erforderlich, dass die GVA-Wahrscheinlichkeiten für die beiden getrennten GVA-Gruppen für D1-Diesel und D2-Diesel sowie für den übergreifenden GVA in beiden Gruppen auf der gleichen Datenbasis beruhen. Aus diesem Grund sind die GVA-Wahrscheinlichkeiten für die D1- und D2-Diesel für den Fall von zwei 4er-GVA-Gruppen (separate GVA-Modellierung) und einer 8er-Gruppen (übergreifender GVA) neu berechnet worden /LEB 12/. In Tab. 7.3 sind die verwendeten GVA-Wahrscheinlichkeiten für die beiden separaten 4er-GVA-Gruppen und für die 8er-GVA-Gruppen bei übergreifendem GVA dokumentiert.

Tab. 7.3 GVA-Wahrscheinlichkeiten für D1/D2-Diesel

GVA in separaten Gruppen D1 bzw. D2				Übergreifender GVA D1/D2			
GVA	Parameter	EW [†]	α [‡]	GVA	Parameter	EW [†]	α [‡]
2v4	KKW_MMD00005K2	1,80E-05	1,33	2v8	KKW_MMD00006K2	2,65E-06	1,39
3v4	KKW_MMD00005K3	1,63E-05	1,66	3v8	KKW_MMD00006K3	1,31E-06	1,34
4v4	KKW_MMD00005K4	2,82E-05	2,82	4v8	KKW_MMD00006K4	7,49E-07	1,51
				5v8	KKW_MMD00006K5	7,91E-07	1,63
				6v8	KKW_MMD00006K6	1,01E-06	2,03
				7v8	KKW_MMD00006K7	2,26E-06	2,74
				8v8	KKW_MMD00006K8	8,41E-06	7,42

[†]: Erwartungswert der GVA-Ausfallwahrscheinlichkeit einer einzelnen Ausfallkombination, also bei der Zeile 2v4 GVA beispielweise der Erwartungswert der Ausfallwahrscheinlichkeit „GVA der Diesel Red. 2 und Red. 4“

[‡]: Verteilungsparameter α der Beta-Verteilung für die GVA-Wahrscheinlichkeit

7.3.3 GVA-Basisereignisse

Für die Modellierung sind die erforderlichen GVA-Basisereignisse für den übergreifenden GVA der D1-/D2-Diesel zusätzlich definiert worden. Dazu sind für dieses Beispiel die in RiskSpectrum[®] vorhandenen Möglichkeiten genutzt worden. Die Definition der insgesamt 247 Basisereignisse der 8er-GVA-Gruppe war mit vertretbarem Aufwand manuell durchführbar.

In Tabelle A-2 im Anhang sind die Basisereignisse für die GVA-Modellierung mit zwei getrennten GVA-Gruppen für die D1- und D2-Diesel aufgelistet. In Tabelle A-3 im Anhang finden sich die entsprechenden Basisereignisse für die GVA-Modellierung mit übergreifendem GVA der D1- und D2-Diesel. Zum Vergleich sind in Tabelle A-1 im Anhang die Basisereignisse für die unabhängigen Ausfälle der D1- und D2-Diesel durch Startversagen angegeben.

7.3.4 Fehlerbaum-Modellierungen

Für die Fehlerbaum-Modellierung des Startversagens der D1- bzw. D2-Diesel bei zwei separaten GVA-Gruppen sind die im Projekt schon vorhandenen Fehlerbäume genutzt

worden. Diese sind in Abb. 7.18 für Strang 10 der D1- Diesel und in Abb. 7.19 für Strang 50 der D2-Diesel dokumentiert. In beiden Fällen wird jeweils neben dem Ausfall durch GVA auch der unabhängige Ausfall berücksichtigt (Basisereignis XKA10-STN bzw. XKA50-STN). Für die jeweils anderen drei redundanten Stränge ergeben sich die entsprechenden Fehlerbäume durch zyklische Vertauschung.

In Abb. 7.19 ist die Modellierung des Ausfalls eines Strangs der D2-Diesel (XKA50) durch Startversagen sowie durch Betriebsversagen dargestellt. Der Fehlerbaum für den Ausfall durch Startversagen mit TOP-Ereignis XXKA50-----STN (vgl. Abb. 7.20) ist als Transferereignis eingebunden.

An Abb. 7.19 lässt sich auch die für diese Untersuchungen gewählte Einbindung des übergreifenden GVA als alternative Modellierung zu zwei getrennten GVA-Gruppen erläutern. Über den logischen Schalter 'GVA-XKA-GETRENNT' kann bei der Durchführung von Minimalschnittanalysen jeweils ausgewählt werden, welche Modellierung genutzt werden soll (vgl. auch Abb. 7.9). Dabei gelten die in Tab. 7.2 dargestellten Regeln. Durch dieses Vorgehen können bei vergleichenden Analysen mit RiskSpectrum® die gleichen Fehlerbäume genutzt werden. Durch das Setzen des logischen Schalters auf den Wert 'wahr' oder 'falsch' können die jeweils gewünschten Modellierungen für die Analysen aktiviert werden.

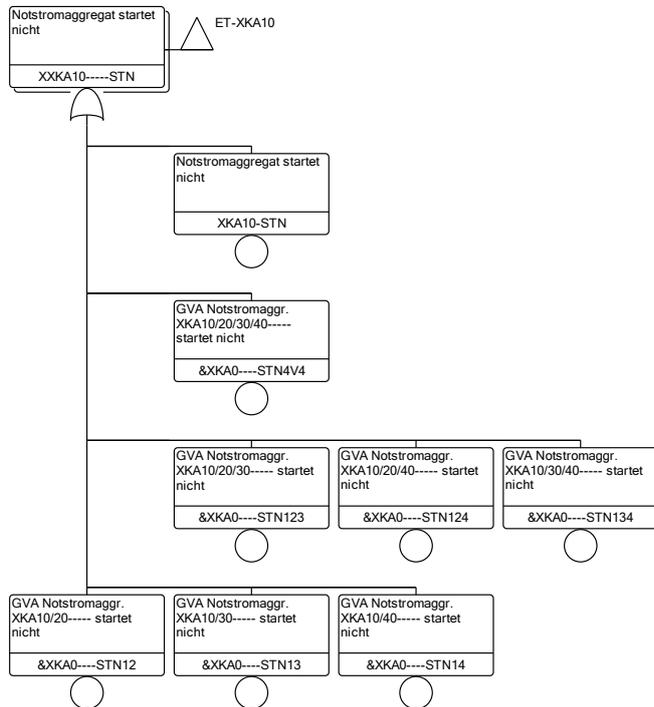


Abb. 7.18 Fehlerbaum für Startversagen des D1-Diesels XKA10 durch GVA und unabhängigen Ausfall für zwei separate GVA-Gruppen

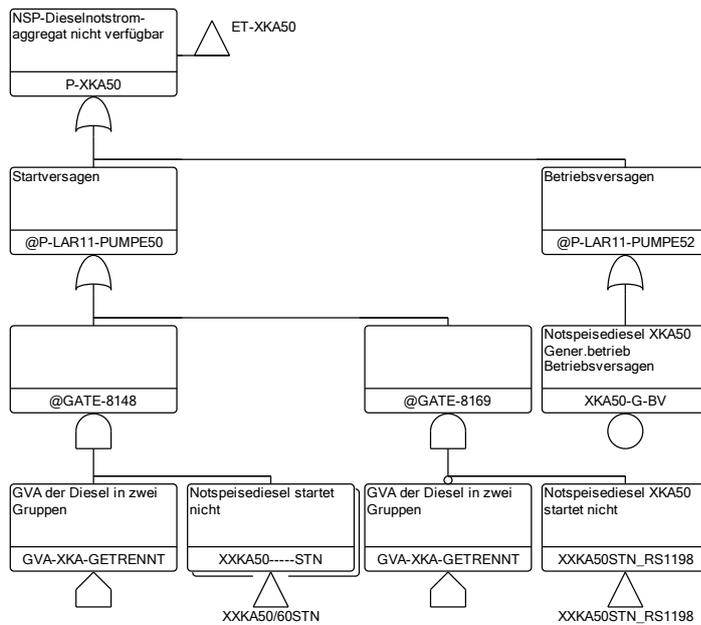


Abb. 7.19 Fehlerbaum für die Unverfügbarkeit des D2-Diesels XKA50 durch Startversagen oder Betriebsversagen

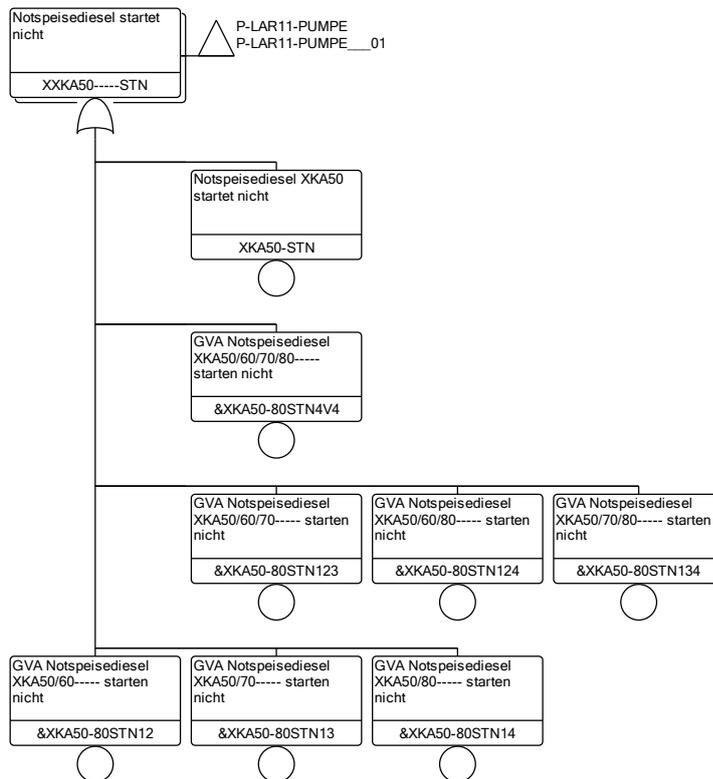


Abb. 7.20 Fehlerbaum für Startversagen des D2-Diesels XKA50 durch GVA und unabhängigen Ausfall für zwei separate GVA-Gruppen

Für die Modellierung des übergreifenden GVA wurde eine explizite Modellierung ohne Definition von GVA-Modulen (vgl. auch /FAK 05/, /WIB 10/ gewählt. Abb. 7.21 zeigt den Ausfall des D1-Diesels XKA10 durch (übergreifenden) GVA oder unabhängigen Ausfall (Ereignis XKA10-STN). Die analoge Modellierung für den D2-Diesel XKA50 findet sich in Abb. 7.22. Die Fehlerbäume für die anderen Stränge ergeben sich durch zyklische Vertauschung. In Abb. Abb. 7.23 bis Abb. 7.26 sind schließlich die detaillierten Modellierungen für das Startversagen von XKA10 durch einen 3-von-8- bis 6-von-8-GVA dokumentiert. Auch hier ergeben sich die entsprechenden Fehlerbäume für die anderen sieben Elemente der GVA-Gruppe durch zyklische Vertauschung.

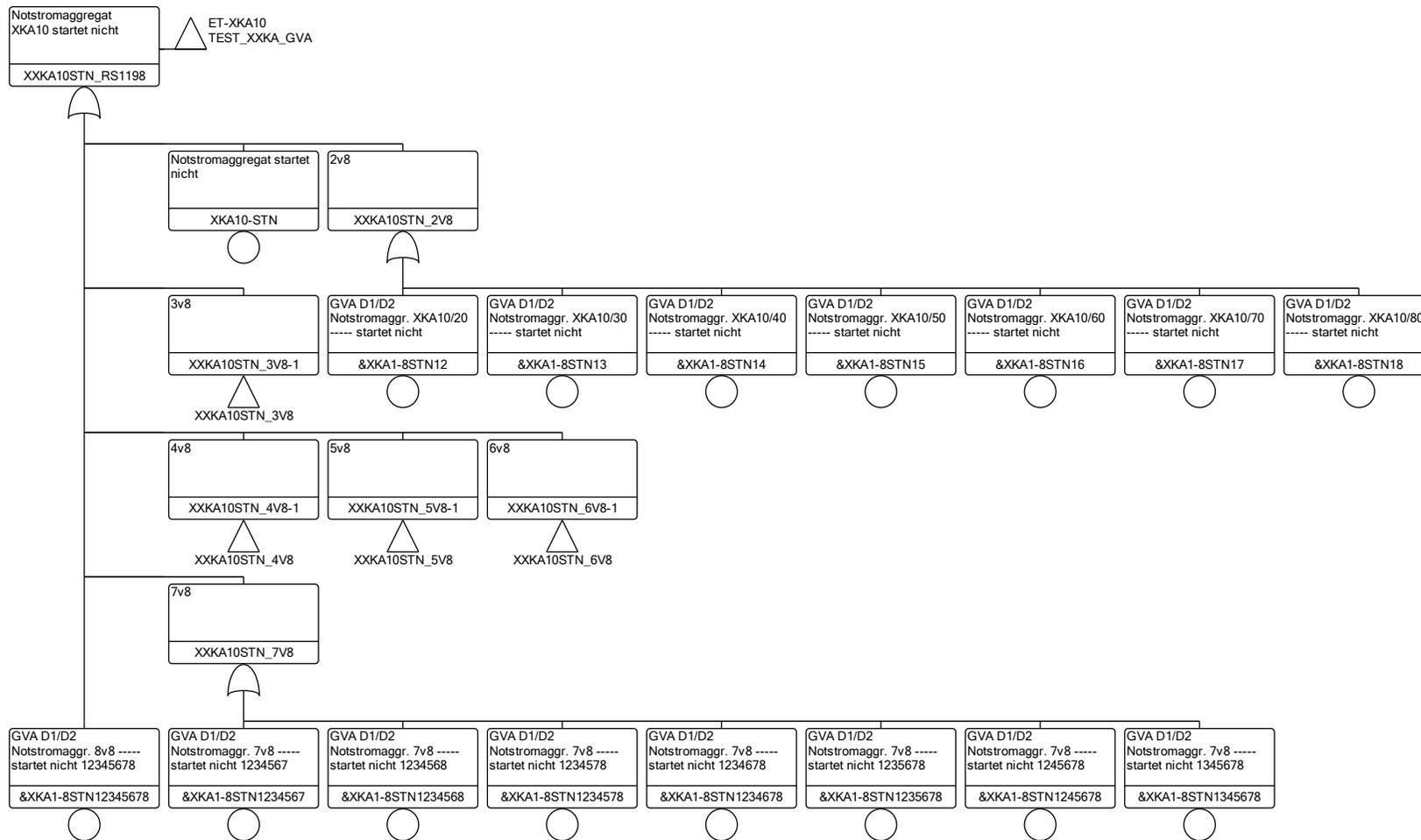


Abb. 7.21 Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel XKA10 durch unabhängigen Ausfall oder GVA bei übergreifendem GVA

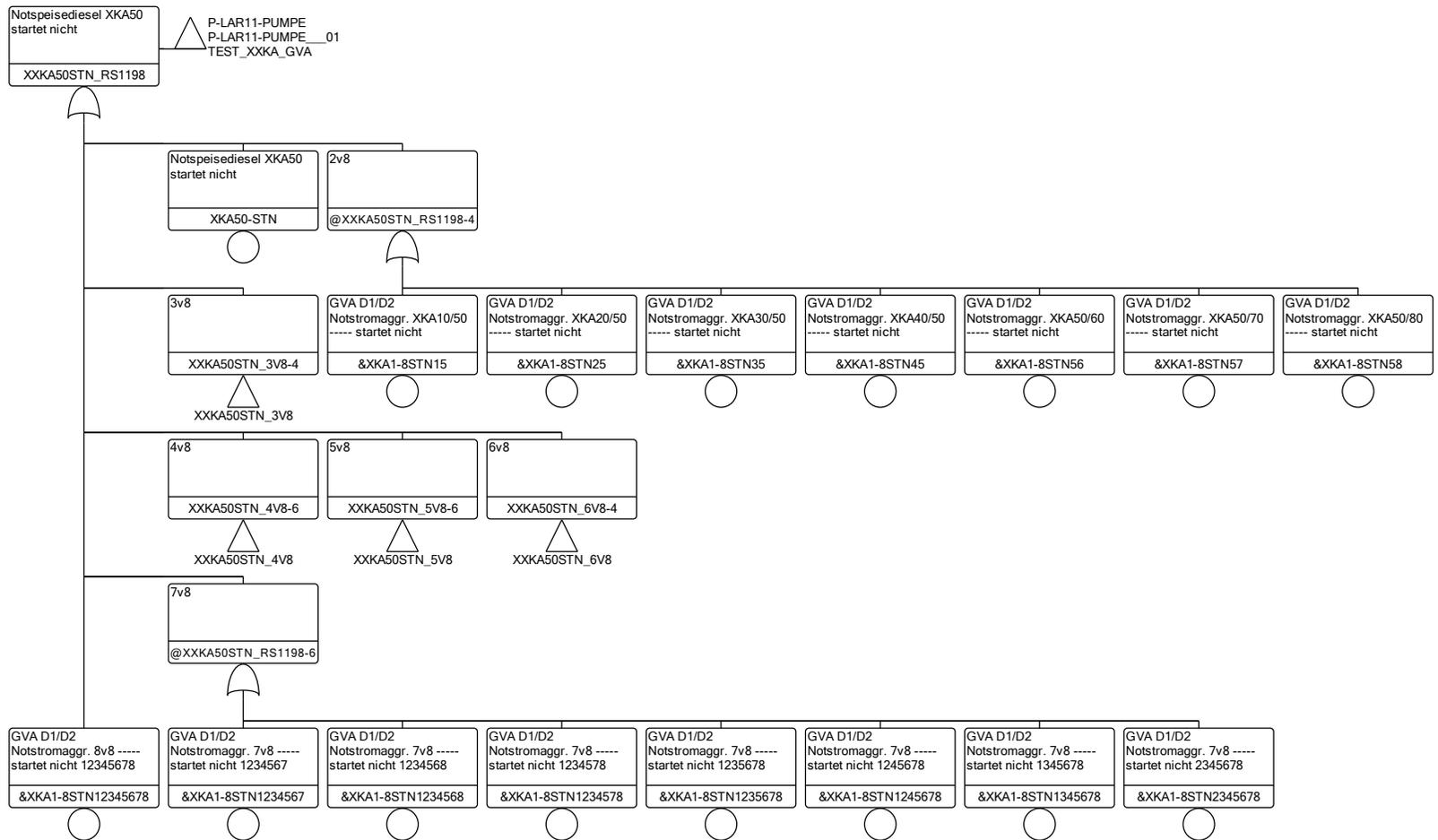


Abb. 7.22 Fehlerbaum Startversagen D2-Diesel XKA50 durch unabhängigen Ausfall oder GVA bei übergreifendem GVA

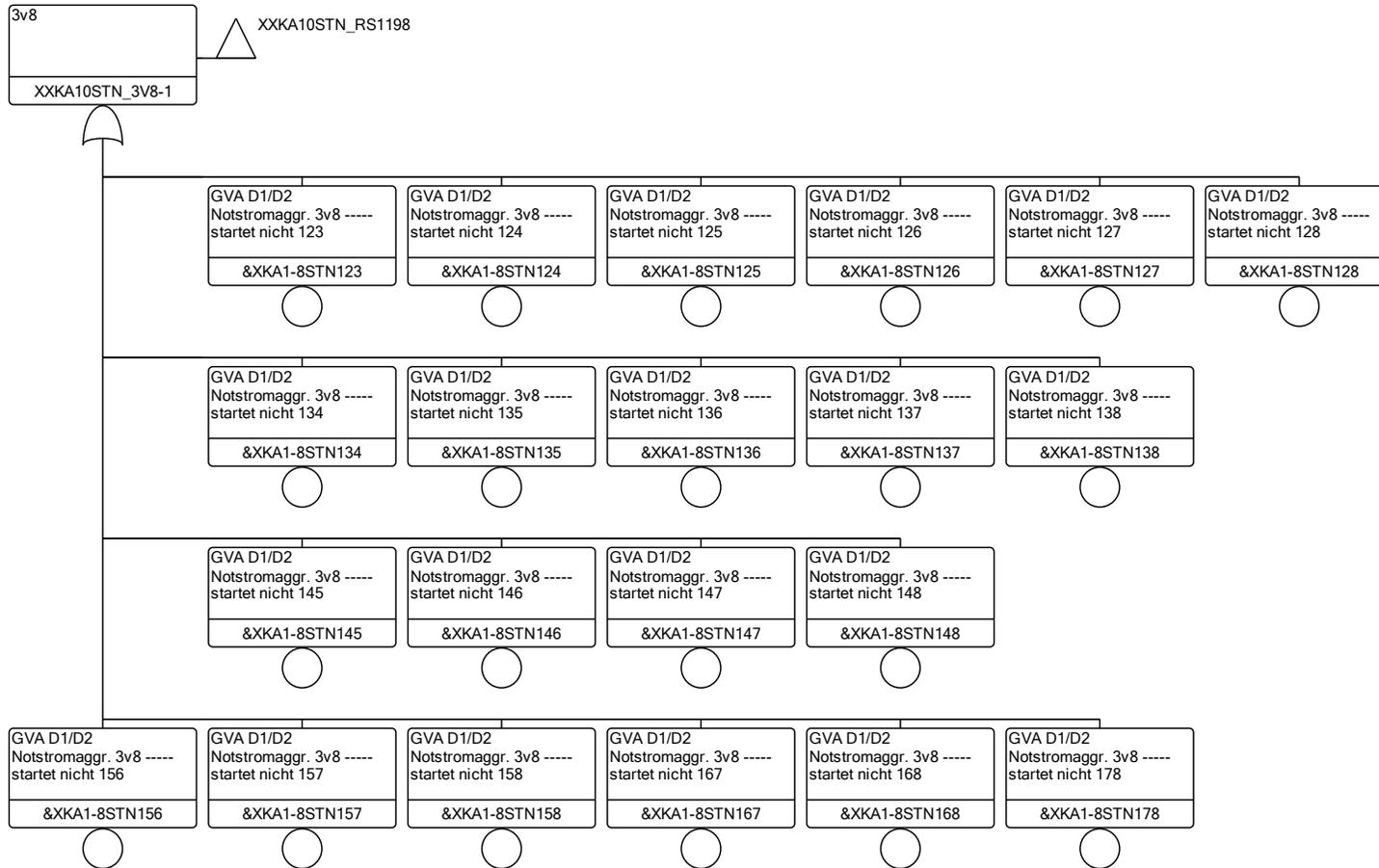


Abb. 7.23 Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 3 von 8 GVA bei übergreifendem GVA

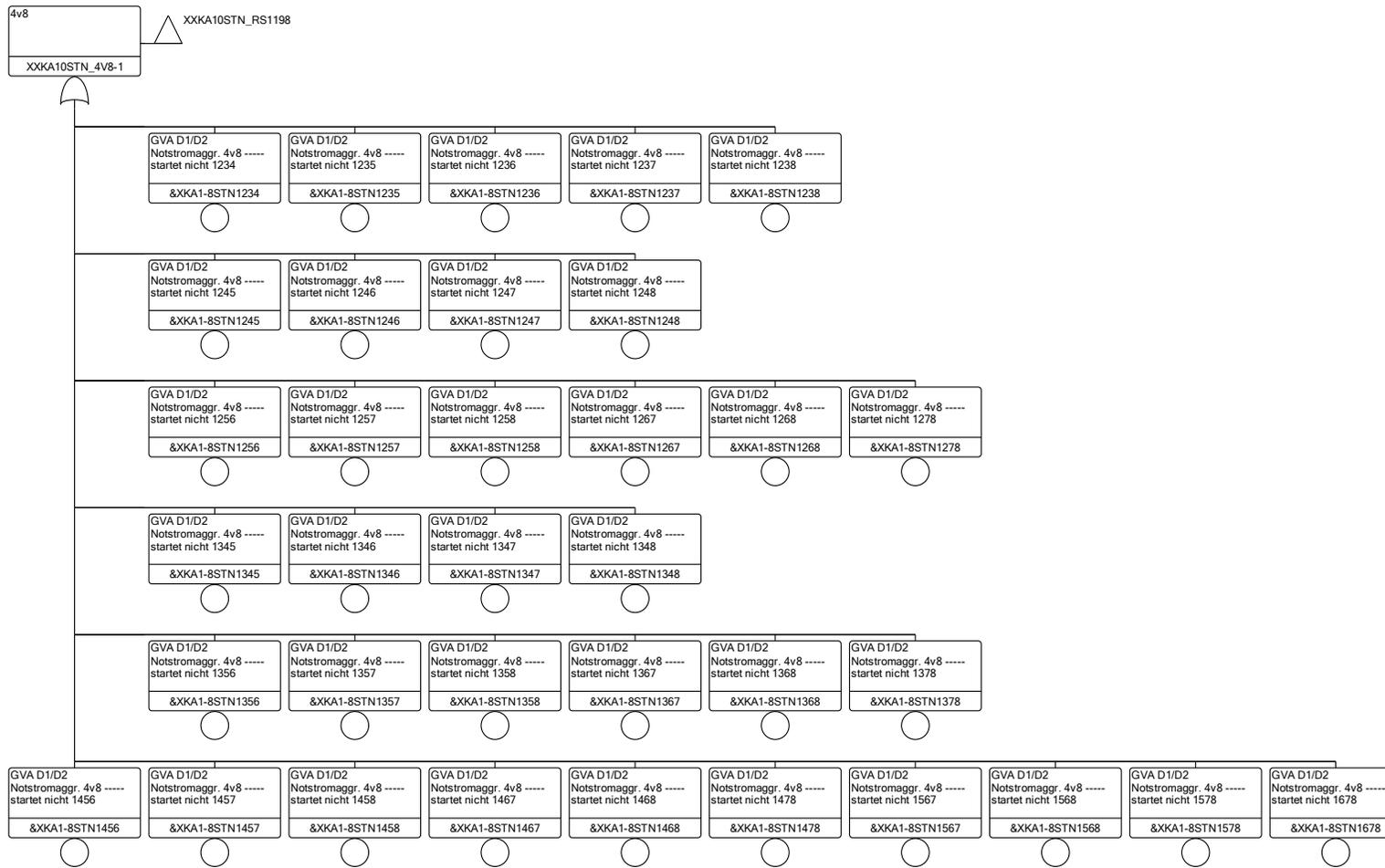


Abb. 7.24 Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 4 von 8 GVA bei übergreifendem GVA

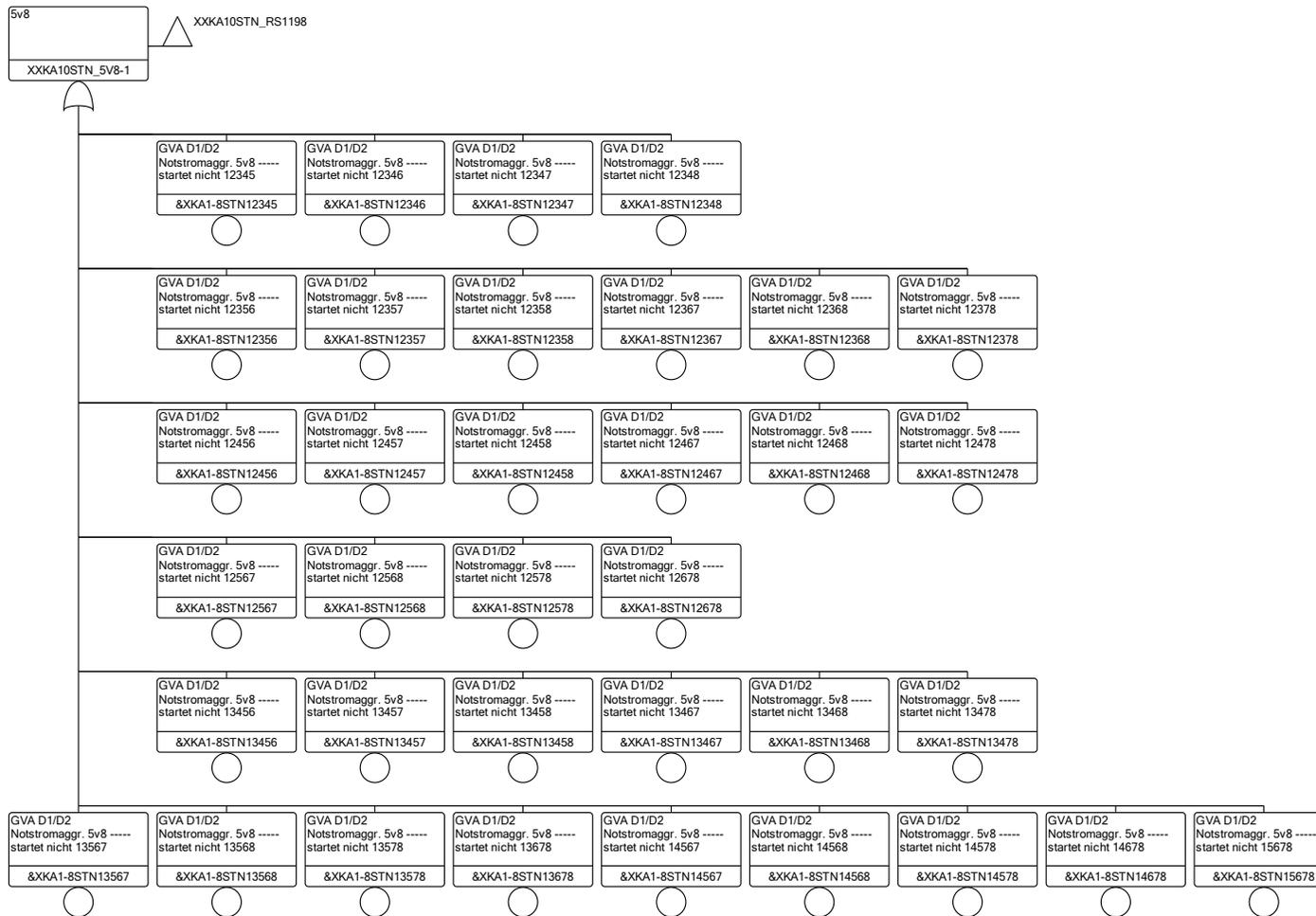


Abb. 7.25 Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 5 von 8 GVA bei übergreifendem GVA

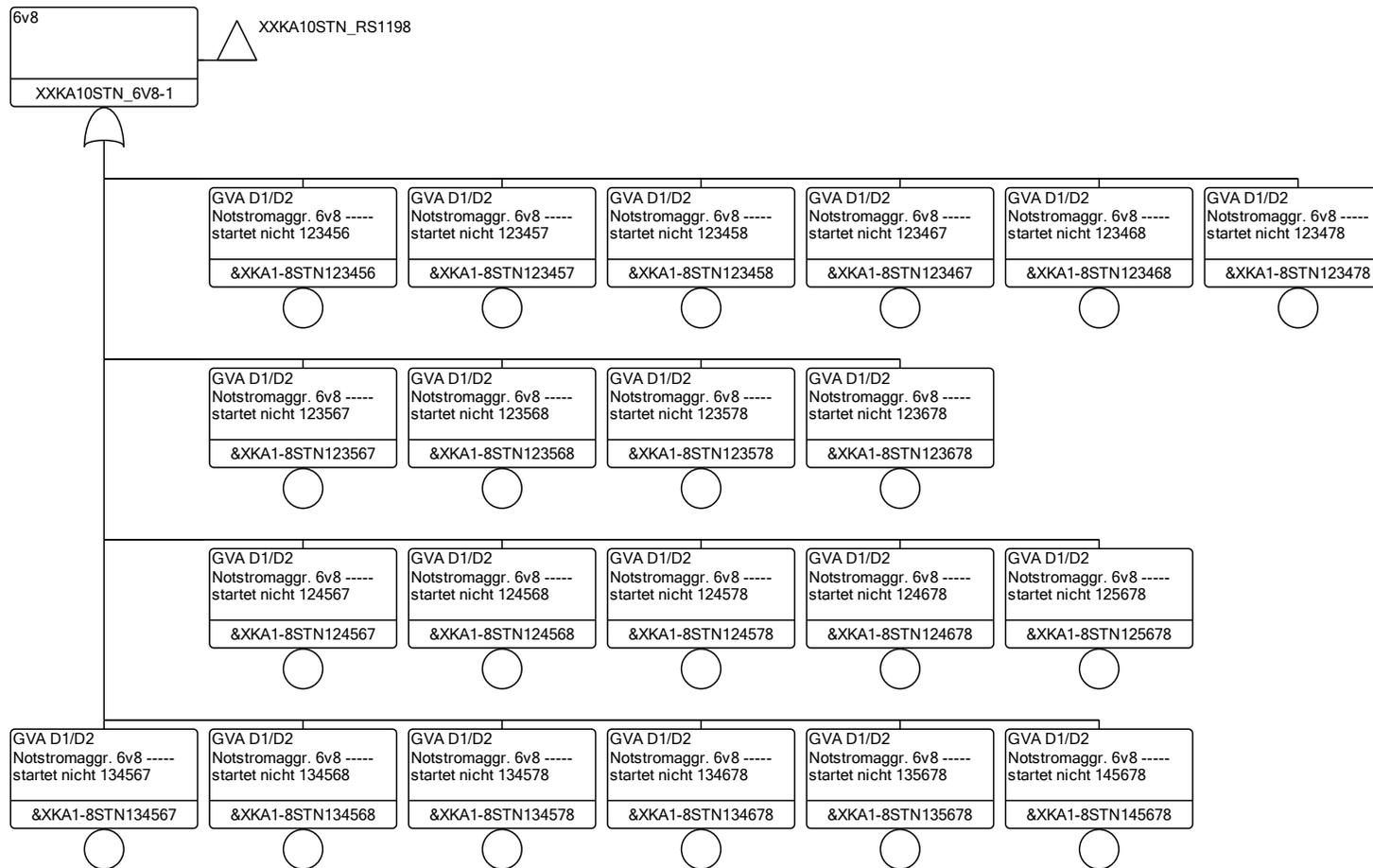


Abb. 7.26 Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 6 von 8 GVA bei übergreifendem GVA

7.3.5 Vergleich der Ergebnisse für separate GVA-Gruppen und übergreifenden GVA

Um die Auswirkungen der Modellierung eines übergreifenden GVA darzustellen, werden zunächst die Ergebnisse für die Unverfügbarkeiten der Notstromverteilungen BD bzw. BN sowie für den gleichzeitigen Ausfall beider Verteilungen ('Station Blackout') ermittelt. Anschließend wird ermittelt, welche Auswirkungen sich aus den Ergebnissen für die Ereignisablaufmodellierung des Notstromfalls ergeben.

Berechnung der Unverfügbarkeit von BD bzw. BN-Schienen

Als erster Fall wird die Unverfügbarkeit der Notstromverteilungen im D1-Netz, d. h. die Schienen BDA – BDD, unter den Randbedingungen eines Notstromfalls ermittelt. Für die Unverfügbarkeit von 4 von 4 D1-Notstromversorgungen wird der Fehlerbaum aus Abb. 7.15 genutzt. Zusätzlich wird auch die Unverfügbarkeit von drei von vier D1-Schienen (vgl. Abb. 7.27) untersucht.

Die in Tab. 7.4 dargestellten Ergebnisse sind mit einer Minimalschnittanalyse in Risk-Spectrum[®] berechnet worden. Dabei wurde einerseits die GVA-Modellierung mit zwei separaten Gruppen genutzt, andererseits die mit übergreifendem GVA für die D1- und D2-Diesel.

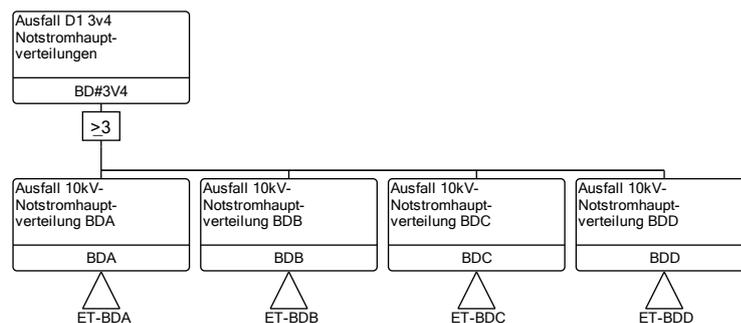


Abb. 7.27 Fehlerbaum Unverfügbarkeit von 3 von 4 BD-Schienen D1-Netz

Tab. 7.4 Unverfügbarkeiten der BD-Schienen

TOP BD	GVA	MCS-Wert⁵	Erwartungswert⁶	5 %-Quantil	Median	95 %-Quantil
3 v 4	separat	2,77E-04	2,99E-04	1,37E-04	2,59E-04	5,54E-04
3 v 4	übergreifend	2,72E-04	2,97E-04	1,48E-04	2,53E-04	5,30E-04
4 v 4	separat	7,62E-05	7,60E-05	2,53E-05	5,95E-05	1,74E-04
4 v 4	übergreifend	7,53E-05	7,61E-05	3,19E-05	5,79E-05	1,70E-04

Aus Tab. 7.4 wird deutlich, dass die Annahme eines übergreifenden GVA statt separater GVA-Gruppen keine numerisch signifikanten Auswirkungen auf die ermittelten Ergebnisse für die Unverfügbarkeiten hat, wobei dies auch für die Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse gilt.

Wichtige Informationen liefern die Importanzen ausgewählter Parameter für die unterschiedlichen Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten der Basisereignisse. Damit wird insbesondere der Beitrag von Basisereignissen erfasst, die zwar unterschiedlichen Redundanzen zugeordnet sind, jedoch durch den gleichen Parameter in ihrer Ausfallwahrscheinlichkeit bestimmt sind, wie dies zum Beispiel bei den GVA-Ereignissen mit einer 3-von-4- oder auch 6-von-8-Ausfallkombination der Fall ist. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tab. 7.5 aufgelistet.

⁵ MCS-Wert ist der von RiskSpectrum® durch Minimalschnittanalyse ermittelte Punktwert für die Minimalschnittliste, der durch Anwendung der Erwartungswerte für alle Zuverlässigkeitskenngrößen und Berechnung nach MCUB-Formel in Näherung erster Ordnung berechnet wird /SCA 12/.

⁶ Erwartungswert aus der Unsicherheitsanalyse durch RiskSpectrum® mit 20000 Spielen /SCA 12/.

Tab. 7.5 Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der BD-Schienen

Parameter	Beschreibung	Ausfall BD 3v4		Ausfall BD 4v4	
		separ. GVA; FC ⁷	übergreif. GVA; FC	separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC
KKW_MMD0005K2	GVA XKA 2v4	2,3 %	-	< 1 %	-
KKW_MMD0005K3	GVA XKA 3v4	23,6 %	-	2,5 %	-
KKW_MMD0005K4	GVA XKA 4v4	10,2 %	-	37 %	-
KKW_MMD0006K3	GVA XKA 3v8	-	2,6 %	-	< 1 %
KKW_MMD0006K4	GVA XKA 4v8	-	5,3 %	-	1,5 %
KKW_MMD0006K5	GVA XKA 5v8	-	8,6 %	-	5,0 %
KKW_MMD0006K6	GVA XKA 6v8	-	8,3 %	-	8,7 %
KKW_MMD0006K7	GVA XKA 7v8	-	6,7 %	-	12,4 %
KKW_MMD0006K8	GVA XKA 8v8	-	3,1 %	-	11,2 %
&PEC0AP01STN-3v3	GVA NKW-Pumpen PEC10/30/40 3v3	19,1 %	19,4 %	1,7 %	1,7 %
&PJCAP01STN-3ER	GVA ZKW-Pumpen PJC10-30 3v3	8,9 %	9,0 %	< 1 %	1 %
&KZ-BAT-4V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 4v4 Red.	8,6 %	8,8 %	31,3 %	31,7 %
L-JR#91/92/93/95	Ausfall JR91-95	7,3 %	7,4 %	< 1 %	< 1 %
PEC.0AP001STN	1 NKW-Pumpe PEC50/80 startet nicht	5,7 %	5,8 %	< 1 %	< 1 %
&PJCAP01STN-4V4	GVA ZKW-Pumpen PJC startet nicht 4v4	5,8 %	5,9 %	20,9 %	21,2 %

⁷ Fractional Contribution (FC) ist die von RiskSpectrum® berechnete Parameterimportanz, die sich aus der Division der Summe der Nichtverfügbarkeiten aller Minimalschnitte, die Basisereignisse enthalten, denen der entsprechende Parameter zugeordnet ist, durch die Summe der Nichtverfügbarkeiten aller Minimalschnitt ergibt /SCA 12/.

Parameter	Beschreibung	Ausfall BD 3v4		Ausfall BD 4v4	
		separ. GVA; FC ⁷	übergreif. GVA; FC	separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC
PJC.0AP001-STN	1 ZKW-Pumpe PJC10-40 startet nicht	4,6 %	4,7 %	< 1 %	< 1 %
XKA.0-STN	1 D1-Diesel XKA10-40 startet nicht	3,7 %	3,8 %	< 1 %	< 1 %
&SADVENT_STN_4V4	GVA Ventilatoren SAD startet nicht 4v4	1 %	1,1 %	3,7 %	3,8 %

Die Importanz-Werte für die GVA-Wahrscheinlichkeiten unterstreichen die Feststellung, dass sich für die vier D1-Schienen BD keine großen Änderungen bezüglich des Beitrags der GVA-Ereignisse ergeben. Bei Modellierung eines übergreifenden GVA verteilen sich lediglich die Beiträge der GVA-Kombinationen aus der 4er-Gruppe auf eine größere Anzahl von Einzelkombinationen. Dies erklärt sich damit, dass bei den D1-Schienen auch für den übergreifenden GVA ausschließlich die Untermenge von GVA-Kombinationen, welche die vier D1-Diesel betreffen, relevant ist. Bei Verwendung des Kopplungsmodells für die GVA-Quantifizierung bleibt diese Eigenschaft erhalten. Minimalschnitte, in denen bei separater Modellierung Basisereignisse aus beiden GVA-Gruppen enthalten sind, treten in diesem Fall nicht auf. Dies lässt sich auch aus dem Fehlerbaum in Abb. 7.9 ableiten.

Als nächster Schritt wird die Unverfügbarkeit der D2-Schienen BN in analoger Weise untersucht. Für die Unverfügbarkeit von vier von vier D2-Notstromversorgungen wird der Fehlerbaum aus Abb. 7.16 genutzt. Zusätzlich wird auch die Unverfügbarkeit von drei von vier D2-Schienen (vgl. Abb. 7.28) untersucht.

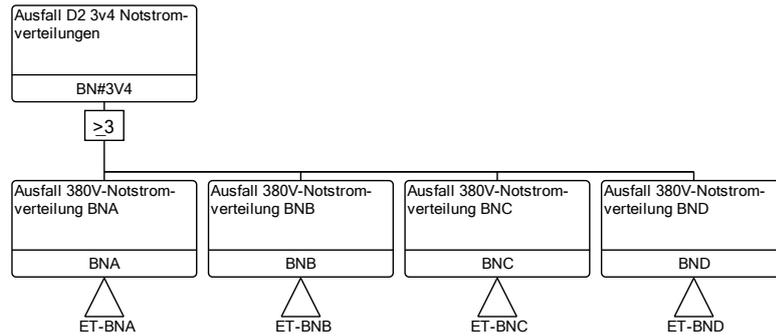


Abb. 7.28 Fehlerbaum Unverfügbarkeit von 3 von 4 BN-Schienen D2-Netz

Tab. 7.6 Unverfügbarkeiten BN-Schienen

TOP BD	GVA	MCS-Wert ⁸	Erwartungswert ⁹	5 %-Quantil	Median	95 %-Quantil
3 v 4	separat	8,18E-06	8,46E-06	3,93E-07	2,84E-06	3,11E-05
3 v 4	übergreifend	4,23E-05	4,27E-05	2,05E-05	3,79E-05	7,52E-05
4 v 4	separat	7,97E-06	8,17E-06	2,25E-07	2,56E-06	3,07E-05
4 v 4	übergreifend	1,73E-05	1,74E-05	6,64E-06	1,28E-05	4,04E-05

Aus Tab. 7.6 wird deutlich, dass die Annahme eines übergreifenden GVA eine deutliche Erhöhung der ermittelten Ergebnisse für die Unverfügbarkeiten gegenüber einer Modellierung mit separaten GVA-Gruppen zur Folge hat. Dabei sind diese Auswirkungen für den Fall '3 von 4 BN' mit einem Faktor von ca. 5,2 (bezogen auf den MCS-Wert) deutlich größer als für den Fall '4 von 4 BN' mit einem Faktor von nur ca. 2,2.

Weitere Einsichten liefern die Importanzen ausgewählter Parameter für die unterschiedlichen Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten der Basisereignisse. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tab. 7.7 aufgelistet.

⁸ MCS-Wert ist der von RiskSpectrum® durch Minimalschnittanalyse ermittelte Punktwert für die Minimalschnittliste, der durch Anwendung der Erwartungswerte für alle Zuverlässigkeitskenngrößen und Berechnung nach MCUB-Formel in Näherung erster Ordnung berechnet wird /SCA 12/.

⁹ Erwartungswert aus der Unsicherheitsanalyse durch RiskSpectrum® mit 20000 Spielen /SCA 12/.

Tab. 7.7 Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der BN-Schienen

Parameter	Beschreibung	Ausfall BN 3v4		Ausfall BN 4v4	
		separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC	separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC
KKW_MMD0005K2	GVA XKA 2v4 (D1 und D2)	< 0,1 %	-	< 0,01 %	-
KKW_MMD0005K3	GVA XKA 3v4 (D1 und D2)	0,4 %	-	0,01 %	-
KKW_MMD0005K4	GVA XKA 4v4 (D1 und D2)	0,6 %	-	0,05 %	-
KKW_MMD0006K4	GVA XKA 4v8	-	0,3 %	-	0,01 %
KKW_MMD0006K5	GVA XKA 5v8	-	2,7 %	-	0,03 %
KKW_MMD0006K6	GVA XKA 6v8	-	15,2 %	-	0,36 %
KKW_MMD0006K7	GVA XKA 7v8	-	42,8 %	-	5,16 %
KKW_MMD0006K8	GVA XKA 8v8	-	19,9 %	-	48,5 %
&KZ-BAT-4V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 4v4 Red.	97,5 %	18,9 %	99,9 %	45,9 %
XKA.5-8-BV	1 D2-Diesel XKA Betriebsversagen	1,9 %	3,6 %	0,02 %	2,10 %
&KZ-BAT-3V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 3v4 Red.	0,6 %	0,1 %	< 0,01 %	< 0,01 %
LAR.4AP001-FN	1 Pumpe LAR14-44 fördert nicht	0,4 %	0,5 %	< 0,01 %	0,31 %
&PJCAP01STN-4V4	GVA ZKW-Pumpe PJC startet nicht, 4v4	0,3 %	< 0,1 %	0,02 %	0,01 %
&LAR0AP01-STN-4V4	GVA Pumpe LAR14-44 startet nicht, 4v4	0,1 %	< 0,1 %	0,01 %	0,01 %
XKA5-8-STN	1 D2-Diesel XKA startet nicht	0,2 %	0,2 %	< 0,01 %	< 0,12 %
XKA.0-STN	1 D1-Diesel XKA10-40 startet nicht	< 0,1 %	0,2 %	< 0,01 %	0,09 %

Mit den Informationen aus Tab. 7.7 lassen sich die Ergebnisse für die Unverfügbarkeiten aus Tab. 7.6 weiter erläutern. Für den Fall von zwei separaten GVA-Gruppen wird das numerische Ergebnis sowohl für den Fall '3 von 4 BN' als auch für den Fall '4 von 4 BN' vom Ausfall aller vier Redundanzen der 48 V-Batterien im D2-Netz durch

GVA in kurzer Zeit dominiert. Die Unverfügbarkeit der D2- bzw. D1-Diesel spielt dagegen eine untergeordnete Rolle. Bei der Modellierung des übergreifenden GVA erhält man dagegen wesentliche Beiträge aus den GVA-Kombinationen der D1- und D2-Diesel, die die beschriebenen Faktoren erklären.

Um den Effekt der Annahme eines komponentengruppenübergreifenden GVA deutlicher zu machen, wird im Folgenden der dominierende Beitrag der Batterien ausgeblendet. Dann kann man mit den vorliegenden Resultaten die jeweiligen Unverfügbarkeiten für den Ausfall der D2-Notstromverteilung bei separater wie bei übergreifender GVA-Modellierung bestimmen. Bildet man dann das Verhältnis der beiden Ergebnisse, findet man, dass die Modellierung eines übergreifenden GVA eine Erhöhung der Unverfügbarkeit mit einem Faktor von ca. 220 (3 v 4 BN) bzw. 1200 (4 v 4 BN) zur Folge hat. Die BN-Schienen können sowohl direkt durch die D2-Diesel als auch über die überlagerte D1-Schiene versorgt werden. Damit eine D2-Schiene durch einen GVA der D1- und D2-Diesel ausfällt, muss strangbezogen sowohl der D1- als auch der D2-Diesel ausfallen (vgl. Abb. 7.29). Daher gibt es bei separater GVA-Modellierung Minimalschnitte, die als Basisereignisse einen GVA der D1-Diesel und einen GVA der D2-Diesel enthalten. Durch die Annahme eines übergreifenden GVA für die Diesel werden diese zu einem Basisereignis mit entsprechenden Ausfallkombinationen zusammengefasst. Wie in einem solchen Fall zu erwarten ist, führt dies zu erheblichen Erhöhungen der Unverfügbarkeiten. Gleichzeitig ist es ein Beispiel für die Auswirkungen, die die Abhängigkeiten zwischen Sicherheitsfunktionen durch übergreifenden GVA haben können.

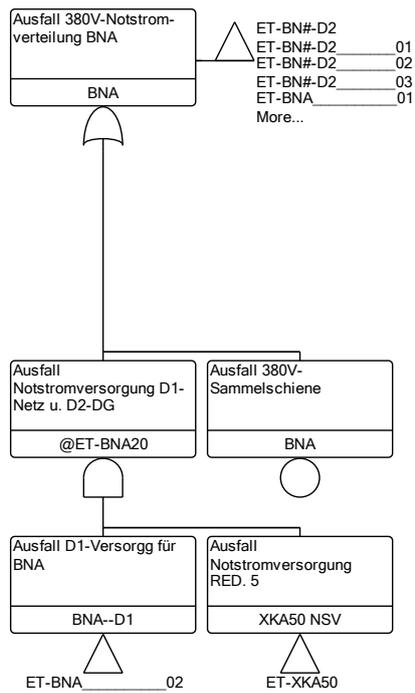


Abb. 7.29 Fehlerbaum Unverfügbarkeit von BNA durch Ausfall Versorgung von D2-Diesel und Einspeisung D1-Netz

Für die Beherrschung von Notstromfällen ist insbesondere die gleichzeitige Unverfügbarkeit von D1- und D2-Netz, d. h. der Schienen BD und BN, von Interesse ('Station Blackout'). Daher sind zusätzlich die Fälle 'Ausfall von fünf von acht BD/BN-Schienen' bis 'Ausfall von 8 von 8 BD/BN-Schienen' untersucht worden. Der Fehlerbaum für den kompletten Ausfall der D1-/D2-Schienen ist in Abb. 7.17 dargestellt, die Fehlerbäume für die anderen TOP-Ereignisse entsprechen dem Fehlerbaum in Abb. 7.30 für den 7-von-8-Ausfall.

Die Ergebnisse für die mit RiskSpectrum[®] ermittelten Unverfügbarkeiten sind in Tab. 7.8 dokumentiert.

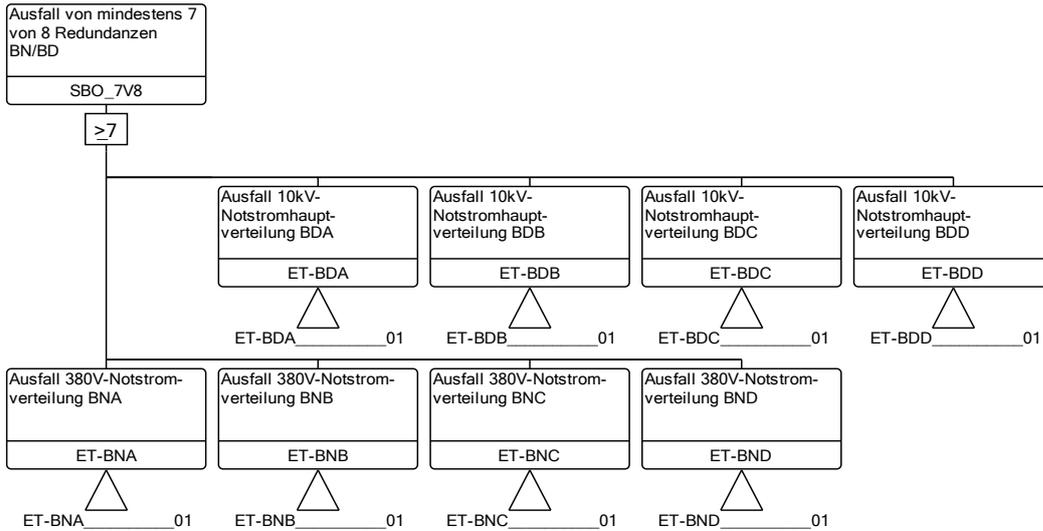


Abb. 7.30 Fehlerbaum Unverfügbarkeit von mindestens 7 von 8 D1-/D2-Schienen BD/BN

Tab. 7.8 Unverfügbarkeit BD/BN

TOP BD	GVA	MCS-Wert ¹⁰	Erwartungswert ¹¹	5 %-Quantil	Median	95 %-Quantil
5 v 8	separat	3,02E-05	3,14E-05	8,09E-06	2,19E-05	7,88E-05
5 v 8	übergreifend	8,85E-05	9,00E-05	4,66E-05	8,17E-05	1,51E-04
6 v 8	separat	9,97E-06	1,04E-05	1,02E-06	4,61E-06	3,49E-05
6 v 8	übergreifend	4,97E-05	5,03E-05	2,49E-05	4,53E-05	8,60E-05
7 v 8	separat	8,06E-06	8,30E-06	2,97E-07	2,67E-06	3,10E-05
7 v 8	übergreifend	2,72E-05	2,73E-05	1,25E-05	2,30E-05	5,26E-05
8 v 8	separat	7,97E-06	8,26E-06	2,21E-07	2,58E-06	3,12E-05
8 v 8	übergreifend	1,73E-05	1,76E-05	6,64E-06	1,28E-05	4,12E-05

¹⁰ MCS-Wert ist der von RiskSpectrum® durch Minimalschnittanalyse ermittelte Punktwert für die Minimalschnittliste, der durch Anwendung der Erwartungswerte für alle Zuverlässigkeitskenngrößen und Berechnung nach MCUB-Formel in Näherung erster Ordnung berechnet wird /SCA 12/.

¹¹ Erwartungswert aus der Unsicherheitsanalyse durch RiskSpectrum® mit 20000 Spielen /SCA 12/.

Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen für die Schienen BN (vgl. Tab. 7.6) fällt auf, dass der Ausfall aller acht Schienen praktisch die gleiche Unverfügbarkeit wie der Ausfall nur der vier BN-Schienen hat. Dies erklärt sich durch die schon erwähnten Abhängigkeiten der BN-Schienen von den BD-Schienen. Auch für diese Analysefälle sind die Importanzen ausgewählter Parameter bestimmt worden. Diese sind in Tab. 7.9 aufgelistet. Die Ergebnisse für die Importanzen bestätigen die Schlüsse aus Tab. 7.8 und ebenso die Schlüsse aus den Importanzen für die Unverfügbarkeiten von BN allein (Tab. 7.7).

Tab. 7.9 Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der Schienen BD/BN

Parameter	Beschreibung	Ausfall BD/BN 5v8		Ausfall BD/BN 6v8		Ausfall BD/BN 7v8		Ausfall BD/BN 8v8	
		separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC						
KKW_MMD0005K2	GVA XKA 2v4 (D1 und D2)	0,4 %	-	0,1 %	-	0,01 %	-	< 0,01 %	-
KKW_MMD0005K3	GVA XKA 3v4 (D1 und D2)	4,6 %	-	0,8 %	-	0,08 %	-	0,01 %	-
KKW_MMD0005K4	GVA XKA 4v4 (D1 und D2)	25,9 %	-	7,9 %	-	0,50 %	-	0,05 %	-
KKW_MMD0006K4	GVA XKA 4v8	-	3,1 %	-	0,4 %	-	0,04 %	-	0,01 %
KKW_MMD0006K5	GVA XKA 5v8	-	17,4 %	-	4,5 %	-	0,47 %	-	0,03 %
KKW_MMD0006K6	GVA XKA 6v8	-	25,5 %	-	23,4 %	-	4,86 %	-	0,36 %
KKW_MMD0006K7	GVA XKA 7v8	-	20,5 %	-	36,4 %	-	34,2 %	-	5,16 %
KKW_MMD0006K8	GVA XKA 8v8	-	9,5 %	-	16,9 %	-	30,9 %	-	48,50 %

Parameter	Beschreibung	Ausfall BD/BN 5v8		Ausfall BD/BN 6v8		Ausfall BD/BN 7v8		Ausfall BD/BN 8v8	
		separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC						
&KZ-BAT-3V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 3v4 Red.	2,8 %	0,9 %	0,6 %	0,1 %	0,02 %	0,01 %	< 0,01 %	< 0,01 %
&KZ-BAT-4V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 4v4 Red.	41,0 %	14,0 %	84,3 %	16,9 %	99,1 %	29,4 %	99,9 %	45,9 %
&PEC0AP1STN-3v3	GVA NKW-Pumpen PEC10/30/40 3v3	3,5 %	1,2 %	0,5 %	0,1 %	0,02 %	0,01 %	< 0,01 %	< 0,01 %
&PJCAP01STN-4V4	GVA ZKW-Pumpen PJC startet nicht, 4v4	14,7 %	5,0 %	4,4 %	0,9 %	0,28 %	0,08 %	0,02 %	0,01 %
LAR.4AP001-FN	1 Pumpe LAR14-44 fördert nicht	5,9 %	1,4 %	2,9 %	0,7 %	0,22 %	0,31 %	0,01 %	0,31 %
L-JR#91/92/93/95	Ausfall JR91-95	1,5 %	0,9 %	0,3	0,4 %	0,01 %	0,34 %	< 0,01 %	0,19 %
XKA.0-STN	1 D1-Diesel XKA10-40 startet nicht	0,8 %	0,41 %	0,15 %	0,21 %	0,01 %	0,16 %	< 0,01 %	0,09 %
XKA.5-8-BV	1 D2-Diesel XKA Betriebsversagen	39,0 %	9,54 %	15,7 %	4,4 %	0,91 %	2,03 %	0,02 %	2,10 %
XKA5-8-STN	1 D2-Diesel XKA startet nicht	2,2 %	0,54 %	1,1 %	0,3 %	0,1 %	0,12 %	< 0,01 %	0,12 %

Als abschließende Betrachtung in den Fehlerbaumanalysen wird eine Fehlerbaumstruktur wie in Beispiel 2 in Abschnitt 7.2.2 untersucht, d. h., die Unverfügbarkeit von mindestens einer Schiene BN/BD pro Redundanz für alle vier Redundanzen. Dazu wurde der in Abb. 7.31 dargestellte Fehlerbaum definiert und jeweils für einen separaten GVA und für einen übergreifenden GVA analysiert. Die Ergebnisse für die Unverfügbarkeiten sind in Tab. 7.10 dokumentiert. Die jeweiligen Importanzen von Parametern finden sich in Tab. 7.11.

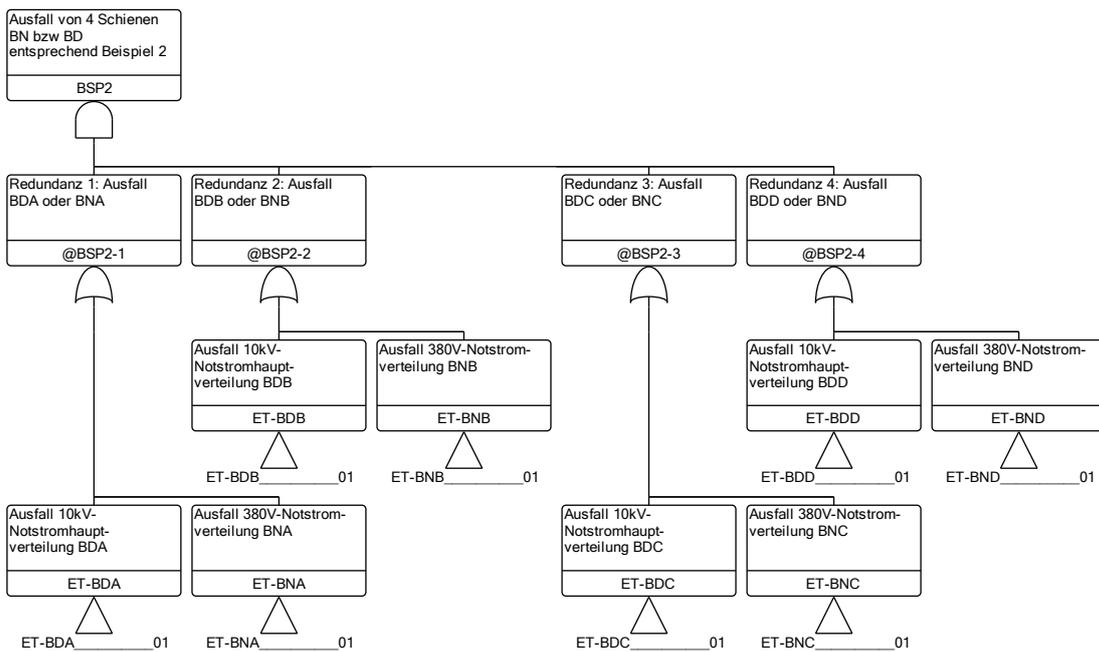


Abb. 7.31 Fehlerbaum für den Ausfall von BD oder BN analog zu Beispiel 2

Es zeigt sich, dass die Annahme eines übergreifenden GVA für die Fehlerbaumstruktur aus Beispiel 2 keine Erhöhung der Unverfügbarkeit (wie in den obigen Beispielen) sondern hier sogar eine geringfügige Verringerung der Unverfügbarkeit zur Folge hat. Dieses Resultat wird durch die Parameterimportanzen bestätigt. Dies illustriert die schon in Abschnitt 7.2.2 diskutierte Möglichkeit, dass sich durch einen übergreifenden GVA (trotz Abhängigkeiten) die Unverfügbarkeiten sogar verringern können.

Tab. 7.10 Ergebnisse für die Unverfügbarkeit des Fehlerbaums für Beispiel 2

TOP	GVA	MCS-Wert	Erwartungswert	5 %-Quantil	Median	95 %-Quantil
BSP2	separat	7,62E-05	7,84E-05	2,55E-05	5,98E-05	1,72E-04
BSP2	übergreifend	7,53E-05	7,66E-05	3,19E-05	5,80E-05	1,69E-04

Tab. 7.11 Ausgewählte Importanzen für die Nichtverfügbarkeit des Fehlerbaums für Beispiel 2

Parameter	Beschreibung	Ausfall Beispiel 2	
		separ. GVA; FC	übergreif. GVA; FC
KKW_MMD0005K2	GVA XKA 2v4 / (D1 und D2)	0,1 %	-
KKW_MMD0005K3	GVA XKA 3v4 / (D1 und D2)	2,5 %	-
KKW_MMD0005K4	GVA XKA 4v4 / (D1 und D2)	37,0 %	-
KKW_MMD0006K4	GVA XKA 4v8	-	1,49 %
KKW_MMD0006K5	GVA XKA 5v8	-	4,95 %
KKW_MMD0006K6	GVA XKA 6v8	-	8,68 %
KKW_MMD0006K7	GVA XKA 7v8	-	12,4 %
KKW_MMD0006K8	GVA XKA 8v8	-	11,2 %
&KZ-BAT-3V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 3v4 Red.	0,04 %	0,04 %
&KZ-BAT-4V4	GVA Batterien D2-Netz Kurzzeit 4v4 Red.	31,3 %	31,7 %
&SADVENT-STN-4V4	GVA der Ventilatoren im NSD-Gebäude startet nicht, 4v4	3,73 %	3,78 %
&PJCAP01STN-4V4	GVA ZKW-Pumpen PJC startet nicht, 4v4	20,9 %	21,2 %
&PEC0AP1STN-3v3	GVA NKW-Pumpen PEC10/30/40 3v3	1,69 %	1,71 %
L-JR#91/92/93/95	Ausfall JR91-95	0,79 %	0,78 %
XKA.0-STN	1 D1-Diesel XKA10-40 startet nicht	0,38 %	0,38 %
XKA.5-8-BV	1 D2-Diesel XKA Betriebsversagen	< 0,01 %	< 0,01 %
XKA5-8-STN	1 D2-Diesel XKA startet nicht	< 0,01 %	< 0,01 %

Ergebnisse für Sequenzen und Konsequenzen für das auslösende Ereignis Notstromfall

In einer PSA der Stufe 1 wird meist eine Kombination von Ereignisbäumen für die Modellierung des Ereignisablaufs bis zum eventuellen Kernschaden und von Fehlerbäumen für die Unverfügbarkeit der Sicherheitsfunktionen genutzt. Die Auswirkungen einer

erweiterten GVA-Modellierung für die D1- und D2-Diesel zeigen sich daher sowohl in den Verzweigungswahrscheinlichkeiten des Ereignisbaums als auch in den Ergebnissen für die Konsequenzen. Im Folgenden werden für das auslösende Ereignis 'Notstromfall' die Ergebnisse für die beiden Varianten der GVA-Modellierung (separat/übergreifend) dargestellt und interpretiert. In Tab. 7.12 sind die Ergebnisse der Minimalschnittanalysen und Unsicherheitsanalysen für die Sequenzen des Ereignisbaums für den Notstromfall T1 bis zum Gefährdungszustand (vgl. Abb. 7.32) für den Fall separater GVA-Gruppen für die D1- und D2-Diesel dokumentiert.

Tab. 7.12 Ergebnisse der Sequenzanalyse für separate GVA-Gruppen D1-/D2-Diesel zum Notstromfall T1

Pfad	Konsequenz	MCS-Wert	EW	5 %-Wert	Median	95 %-Wert
2	GZ	6,38E-07	8,30E-07	1,38E-07	4,81E-07	2,37E-06
3	GZ	6,40E-08	6,83E-08	3,57E-09	2,64E-08	2,44E-07
4	OK	4,33E-03	3,93E-03	1,10E-04	2,49E-03	1,27E-02
5	GZ	1,28E-07	1,62E-07	2,29E-09	5,96E-08	5,81E-07
6	ATWS	2,52E-10	2,48E-10	7,67E-12	8,58E-11	9,33E-10

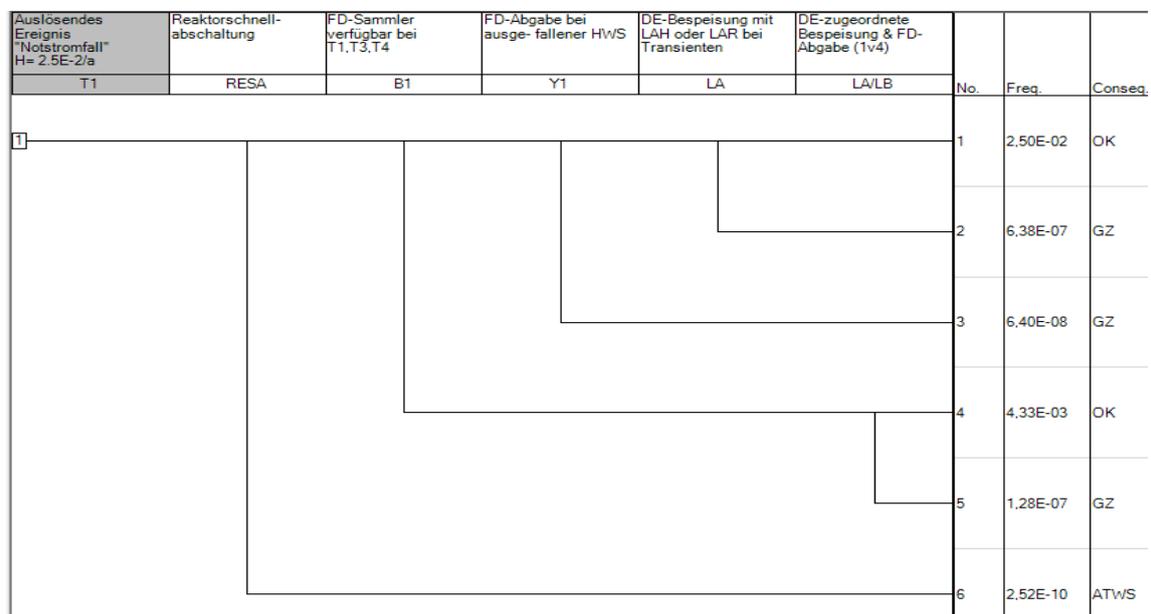


Abb. 7.32 Ereignisbaum 'Notstromfall' für separate GVA-Gruppen D1-/D2-Diesel

Analog sind in Tab. 7.13 die entsprechenden Ergebnisse bis zum Gefährdungszustand (vgl. Abb. 7.33) bei Annahme einer übergreifenden GVA-Gruppe für die D1- und D2-Diesel notiert.

Tab. 7.13 Ergebnisse der Sequenzanalysen für übergreifende GVA-Gruppe D1-/D2-Diesel zum Notstromfall T1

Pfad	Konsequenz	MCS-Wert	EW	5 %-Wert	Median	95 %-Wert
2	GZ	1,10E-06	1,31E-06	3,66E-07	9,34E-07	3,00E-06
3	GZ	6,41E-08	7,18E-08	3,53E-09	2,65E-08	2,34E-07
4	OK	4,33E-03	4,00E-03	1,24E-04	2,51E-03	1,29E-02
5	GZ	2,13E-07	2,46E-07	4,63E-09	1,14E-07	8,24E-07
6	ATWS	2,52E-10	2,54E-10	7,67E-12	8,68E-11	9,51E-10

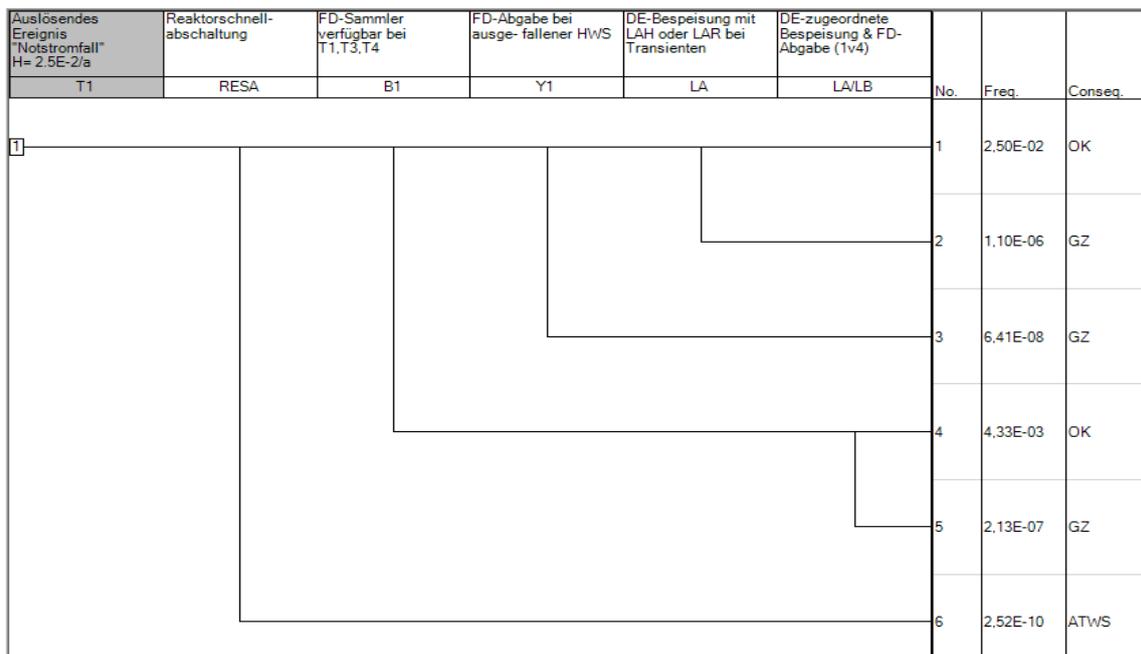


Abb. 7.33 Ereignisbaum 'Notstromfall' für übergreifende GVA-Gruppe D1-/D2-Diesel

Tab. 7.14 Ergebnisse der Konsequenzanalysen für den Gefährdungszustand zum Notstromfall T1 für separate und übergreifende GVA-Modellierung

Konsequenzanalyse	MCS-Wert	EW	5 %-Wert	Median	95 %-Wert
T1, separate GVA	7,02 E-07	8,85 E-07	1,61 E-07	5,32 E-07	2,54 E-06
T1, übergreifende GVA	1,17 E-06	1,34 E-06	3,88 E-07	9,83 E-07	3,05 E-06

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass bei der Modellierung bis zum Gefährdungszustand sich wesentliche Änderungen nur bei den Systemfunktionen LA (Bespeisung der Dampferzeuger) und LA/LB (Dampferzeuger-zugeordnete Bespeisung und Frischdampfabgabe) zeigen. Dies erklärt sich dadurch, dass die Unverfügbarkeit der D1- bzw. D2-Schienen durch GVA der Diesel keine Auswirkungen auf die Systemfunktionen zu RESA und Frischdampfabgabe (B1 und Y1 sowie der Anteil von LA/LB zur Verfügbarkeit der Frischdampfabgabe) hat. Eine genauere Bewertung erlaubt ein Vergleich der beiden relevanten Sequenzen und die Betrachtung der jeweils wichtigen Basisereignisse (vgl. Tab. 7.15).

Wie schon im vorigen Abschnitt erläutert, führt die Annahme eines übergreifenden GVA für die D1- und D2-Diesel zu einem signifikanten zusätzlichen Beitrag zur Unverfügbarkeit der Stromversorgungen und dementsprechend zu einer erhöhten Unverfügbarkeit der Dampferzeugerbespeisung um einen Faktor von ca. 1,8. Neben der führenden GVA-Kombination des 8 von 8 GVA tragen auch die Gruppen der 7 von 8 GVA (Parameter-Importanz von 16 % für die Sequenz LA) und auch der 6 von 8 GVA (Parameter-Importanz von 8 %) signifikant bei. Bei separater GVA-Modellierung spielt dagegen die Unverfügbarkeit der D1-Diesel praktisch keine Rolle (Importanz ca. 0,1 %) und auch der 4 von 4 GVA der D2-Diesel hat nur eine Importanz von 4 % für die Sequenz LA. Dies bestätigt nochmals die bisherigen Ergebnisse aus diesem Abschnitt.

Tab. 7.15 Verzweigungswahrscheinlichkeiten und wichtige Basisereignisse für die Sequenzen LA und B1-LA/LB

	Separate GVA		Übergreifende GVA		Faktor
Verzweigungswahrsch. LA	2,48 E-05		4,3 E-05		1,73
Wichtige Basisereignisse Sequenz LA	&KZ-BAT48VNN24V4	31,5 %	&XKA1-8STN12345678	19,3 %	-
	&LAR1AA003ÖN4V4	19,2 %	&KZ-BAT48VNN24V4	18,2 %	0,58
	GHC22AP001-FN	13,3 %	&LAR1AA003ÖN4V4	11,1 %	0,58
	GHC21AP001-FN	12,4 %	GHC22AP001-FN	8,2 %	0,62
			GHC21AP001-FN	7,7 %	0,62
Verzweigungswahrsch. LA/LB	2,73 E-05		4,6 E-05		1,68
Wichtige Basisereignisse Sequenz B1-LA/LB	LBA21AA001-SNNÖ	25,2 %	LBA21AA001-SNNÖ	25,2 %	1
	LBA31AA001-SNNÖ	25,0 %	LBA31AA001-SNNÖ	25,0 %	1
	LBA11AA001-SNNÖ	24,9 %	LBA11AA001-SNNÖ	24,8 %	1
	LBA41AA001-SNNÖ	24,6 %	LBA41AA001-SNNÖ	24,8 %	1
	&KZ-BAT48VNN24V4		&XKA1-8STN12345678	18,4 %	-
	&LAR1AA003ÖN4V4	29,0 %	&KZ-BAT48VNN24V4	17,4 %	0,60
	GHC22AP001-FN	17,7 %	&LAR1AA003ÖN4V4	10,6 %	0,60
	GHC21AP001-FN	12,2 %	GHC22AP001-FN	7,7 %	0,63
		11,3 %	GHC21AP001-FN	7,2 %	0,64

7.3.6 Zusammenfassung

Die beispielhafte Modellierung eines übergreifenden GVA für die D1- und D2-Diesel für das Ereignis 'Notstromfall' illustriert, unter welchen Bedingungen ein übergreifender GVA ergebnisrelevante Auswirkungen auf PSA-Ergebnisse haben kann.

Die Ergebnisse der umfangreichen Fehlerbaum-Analysen illustrieren die theoretischen Überlegungen aus Abschnitt 7.2. Dazu sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Minimalschnitte für das TOP-Ereignis enthalten bei separater GVA-Modellierung gleichzeitig GVA-Ereignisse aus beiden (mehreren) für den übergreifenden GVA relevanten Gruppen.

In diesen Fall zeigen die Ergebnisse in Abschnitt 7.3.5 am Beispiel des übergreifenden GVA für die D1- und D2-Diesel, dass die Annahme eines übergreifenden GVA dann ergebnisrelevant sein kann. Für das Beispiel der Unverfügbarkeit der D1- und D2-Schienen sind konkret die D2-Schienen BN betroffen, weil für diese in

den Ausfallkombinationen der GVA der D1-Diesel und der GVA der D2-Diesel gleichzeitig vorkommen. Durch den übergreifenden GVA werden daher Abhängigkeiten zwischen dem D1- und dem D2-Netz abgebildet, während eine separate Modellierung diese Abhängigkeiten nicht erfassen kann. Diese Abhängigkeiten betreffen insbesondere auch unterschiedliche Sicherheitssystemfunktionen (soweit die jeweils aktiven Komponenten über das D2-Netz notstromversorgt sind). Die Erhöhung der Unverfügbarkeiten für die D2-Schienen BN durch den übergreifenden GVA ist im konkreten Beispiel dadurch begrenzt, dass durch den GVA der 48-Volt-Batterien auch bei separater Modellierung schon ein stark dominanter Beitrag (Importanz > 90 %) erfolgt. Berücksichtigt man diesen Beitrag zur Unverfügbarkeit der BN-Schienen nicht, würde deutlich, dass die Modellierung eines übergreifenden GVA zu einer Erhöhung der Unverfügbarkeiten um bis zu zwei Größenordnungen führen kann.

2. Die Minimalschnitte für das TOP-Ergebnis enthalten bei separater GVA-Modellierung (als führende Ereignisse) nur GVA-Ereignisse aus einer der für den übergreifenden GVA relevanten Gruppen.

In diesem Fall illustriert das Beispiel der D1- und D2-Diesel, dass die Annahme eines übergreifenden GVA zu keiner ergebnisrelevante Erhöhung der Unverfügbarkeit führt. Durch den übergreifenden GVA werden in diesem Fall keine ergebnisrelevanten neuen Abhängigkeiten beschrieben.

Die Ergebnisse aus den Konsequenzanalysen bis zum Gefährdungszustand unterstreichen nochmals die potenzielle Ergebnisrelevanz eines übergreifenden GVA. Für den Notstromfall ergeben sich Erhöhungen der Häufigkeit des Gefährdungszustands um ca. 75 %. In etwa in dem gleichen Ausmaß erhöht sich die Unverfügbarkeit ausgewählter Systemfunktionen für die Beherrschung des Gefährdungszustands. Dabei wird das Ergebnis wesentlich durch die Unverfügbarkeit aller D2-Schienen BN bestimmt. Und für diese trifft Fall 1 zu, so dass die durch den übergreifenden GVA eingeführten zusätzlichen Abhängigkeiten unmittelbar ergebniswirksam werden. Wie schon in Abschnitt 7.3.5 näher erläutert, wird die potenzielle Ergebnisrelevanz eines übergreifenden GVA in diesem Beispiel sogar nur bedingt deutlich, weil es mit dem Ausfall der 48 V-Batterien durch GVA schon ein weiteres Ereignis mit einem sehr hohen Beitrag zum Gefährdungszustand gibt.

Neben dem Gefährdungszustand ist der Kernschadenzustand eine wesentliche Ergebnismetrik der PSA der Stufe 1 und wird zum Beispiel auch in den Sicherheitsanfor-

derungen an Kernkraftwerke /BMU 12/ für aufsichtliche Zwecke verwendet. Für eine Fortsetzung der Modellierung bis zum Kernschadenzustand sind die Ereignisabläufe mit den beschriebenen und anwendbaren Notfallmaßnahmen fortzusetzen und letztere probabilistisch zu bewerten. Für den Notstromfall bestehen diese aus den Maßnahmen 'Sekundärseitige Druckentlastung und Bespeisen', jedoch ohne Berücksichtigung einer mobilen Pumpe, und 'Primärseitige Druckentlastung'. In der Referenz-PSA aus dem Jahr 2001 wird entsprechend der damaligen Praxis vor allem die Unverfügbarkeit der Handmaßnahmen zur Durchführung der Notfallmaßnahmen berücksichtigt. Die systemtechnischen Voraussetzungen zur Durchführung der Notfallmaßnahmen sind dagegen nicht in allen Fällen vollständig abgebildet. Allerdings wird als Voraussetzung für die Durchführung einer sekundärseitigen Druckentlastung angenommen, dass die 48 V-Batterien verfügbar sein müssen. Eine Verfügbarkeit von D2-Netz-Schienen wird dagegen nicht abgefragt. Für diese Modellierung hat daher der übergreifende GVA der D1- und D2-Diesel keine Auswirkungen auf die Wirksamkeit der Notfallmaßnahmen, anders als die Unverfügbarkeit der Batterien. Für die Kernschadenshäufigkeit wird daher für dieses Beispiel die Importanz der Diesel-GVA deutlich reduziert und für beide GVA-Ansätze liefern die GVA der Batterien den dominanten Beitrag. Inwieweit die vorgefundene Modellierung der Notfallmaßnahmen in der Referenz-PSA angemessen ist, wird an dieser Stelle nicht beurteilt. Jedenfalls verdeutlicht dies beispielhaft, dass übergreifende GVA durch geeignete Notfallmaßnahmen zum Teil kompensiert werden können. Es sind jedoch auch übergreifende GVA denkbar, in denen dies entweder nicht oder nur mit spezifischer Vorplanung und Anpassung von Notfallmaßnahmen möglich ist.

Abschließend muss noch auf den für die Modellierung des übergreifenden GVA erforderlichen zusätzlichen Aufwand eingegangen werden. Für das oben dargestellte Beispiel sind die in RiskSpectrum[®] vorhandenen Möglichkeiten genutzt worden. Die Definition der insgesamt 247 Basisereignisse der 8er-GVA-Gruppe war mit vertretbarem Aufwand manuell durchführbar.

Für eine praktische Anwendung kann man den Arbeitsaufwand für diese Aufgabe deutlich verringern, indem man auf die Möglichkeit einer automatischen Erzeugung von Basisereignissen zurückgreift. Dies kann entweder durch die Bereitstellung einer Liste mit Basisereignissen in einer mit RiskSpectrum[®] lesbaren MS EXCEL[®]-Datei erfolgen, die dann über die Importfunktion von RiskSpectrum[®] in das PSA-Modell integriert wird, oder man nutzt eine automatische Erzeugung der Basisereignisse mit einem Tool, wie es in /HER 12/ für Fehlerbäume beschrieben ist. Auf diese Weise sind grundsätzlich

auch GVA-Gruppen mit mehr als acht Elementen einer Modellierung zugänglich. Die Nutzung von sogenannten 'Template Events' in RiskSpectrum® /SCA 12/ erscheint für die hier notwendigen Aufgaben dagegen nicht ausreichend.

8 Kriterien für die Bildung von GVA-Komponentengruppen

Basierend auf der nationalen und internationalen Praxis und der in Kapitel 5 und 6 erfolgten Auswertung der Datenbank mit der deutschen GVA-Betriebserfahrung sollen nachfolgend die bisherig verwendeten Kriterien zur Bildung von GVA-Komponentengruppen so erweitert oder modifiziert werden, dass sie auch bei der Bildung komponentengruppenübergreifender GVA Anwendung finden können. In Kapitel 8.1 wird untersucht, ob der Ansatz die bisherigen Komponenten in kleinere Einheiten zu zerlegen, für die dann GVA unterstellt werden, geeignet ist, um gemeinsame Ausfälle, deren potentieller Einflussbereich nicht den Komponentengruppengrenzen entspricht, zu vermeiden. In Kapitel 8.2 wird die in den Kapiteln 5 und 6 angewandte Methode zur Untersuchung von komponentengruppenübergreifenden GVA nochmals zusammenfassend erläutert.

8.1 Einfluss der Wahl der Komponentengruppen auf die Beobachtung von komponentengruppenübergreifenden GVA und GVA mit Teildiversitäten

Bereits im bestehenden Regelwerk /FAK 05/ wird vorgeschlagen, bei typgleichen Betriebsmitteln gegebenenfalls für Teile einer Komponente eigene GVA getrennt anzusetzen (siehe die in Abschnitt 3.1 dargestellte Vorgehensweise aus dem aktuellen Regelwerk). Im Rahmen der Auswertung der GVA-Datenbank in den Kapiteln 5 und 6 ergaben sich zahlreiche Hinweise auf Teile von Komponenten oder einzelne Betriebsmittel, die zukünftig als eigenständige Komponententypen zu betrachten wären, um insbesondere komponententypübergreifende Ausfälle in der Modellierung zu vermeiden. Ein Beispiel sind die Leistungsschalter von größeren Komponenten, wie z. B. Pumpen. Diese wurden bisher nur als Teil der Komponente betrachtet. Das hat zur Folge, dass einige beobachtete GVA komponententypübergreifend wären. Deswegen wurde basierend auf der Auswertung in Abschnitt 5.2.2 vorgeschlagen, Schalter auch als eigenständige Komponente zu betrachten. Ein naheliegender Ansatz wäre es, dieses Vorgehen für eine generelle Verwendung im Hinblick auf komponentengruppenübergreifende GVA und Teildiversitäten innerhalb der Komponentengruppen zu verallgemeinern.

Jede Komponente wird hierzu in Teilkomponenten zerlegt. Die Komponente 'Pumpe' besteht beispielsweise aus den Betriebsmitteln Leistungsschalter, Motor, Schutzzei-

richtungen, verschiedenen Grenzwertgebern, der Verkabelung und der eigentlichen Pumpe. Um den für die verschiedenen Komponentengruppen von Pumpen komponentengruppenübergreifenden GVA durch einen Ausfallmechanismus an dem gemeinsamen Betriebsmittel Leistungsschalter zu vermeiden, können prinzipiell statt Komponentenausfällen die Ausfälle der einzelnen bisherigen Betriebsmittel in der PSA modelliert werden. Der Detaillierungsgrad der Zerlegung wäre dabei hoch genug zu wählen um alle potentiellen Teildiversitäten zu vermeiden.

Die Probleme eines derartigen Ansatzes bestehen offensichtlich im enormen Aufwand den diese Zerlegung aller Komponenten verursacht. Es müssten für alle betrachteten Komponentenarten detaillierte Regelungen ausgearbeitet werden, nach welchen Kriterien die Komponenten zu unterteilen wären. Die bisher ausgewertete Betriebserfahrung müsste entsprechend nachbewertet werden (Anpassung der Expertenbewertungen an die neu definierten Komponentenarten und -grenzen, neue Berechnung der Beobachtungszeiten etc.). Die Fehlerbäume müssten ebenfalls angepasst werden und nähmen im Umfang stark zu, da die Anzahl der zu modellierenden Ereignisse dabei hypergeometrisch ansteigt. Damit geht ebenfalls ein deutlich erhöhter Rechenaufwand einher.

Über den reinen Arbeitsaufwand hinaus gibt es noch das Problem, dass technische Faktoren, die im Falle eines GVA für Teildiversität oder eine komponentengruppenübergreifende Komponente sorgen, sich nicht eindeutig in einander ausschließende Untermengen der Komponenten abbilden lassen. Dies soll kurz anhand eines verallgemeinerten Beispiels illustriert werden.

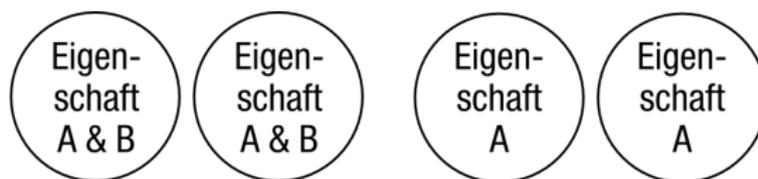


Abb. 8.1 Beispielkomponentenmenge

Abb. 8.1 zeigt eine beliebig ausgewählte Komponentenmenge (beispielsweise alle Rückschlagarmaturen). Jede Komponente besitzt eine gewisse Anzahl an technischen Eigenschaften, die letztendlich einen Ausfall verursachen können.

Dabei gibt es einige Eigenschaften, die alle Komponenten besitzen, in Abb. 8.1 durch die generische Eigenschaft A symbolisiert (z. B. das Gehäusematerial). Andererseits gibt es Eigenschaften, die nicht alle Komponenten besitzen, in Abb. 8.1 durch die generische Eigenschaft B symbolisiert (z. B. eine technische Möglichkeit die Klappen motorbetätigt aufzuziehen).

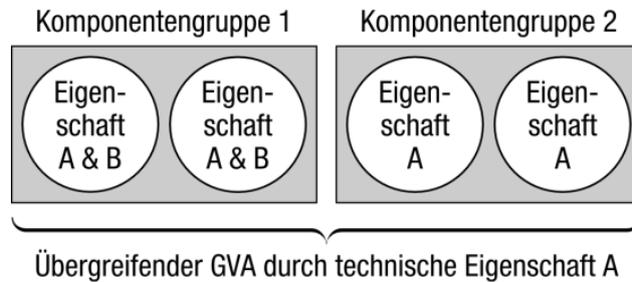


Abb. 8.2 Komponentengruppenübergreifender GVA bei Bildung von zwei verschiedenen Komponentengruppen

Abb. 8.2 zeigt eine Möglichkeit die Komponentenmenge in zwei Komponentengruppen zu unterteilen. Es ist offensichtlich, dass Ausfälle, die auf Grund der gemeinsamen Eigenschaft A eintreten, mit dieser Modellierung komponentengruppenübergreifend sind. Erweist sich z. B. das Gehäusematerial als nicht ausreichend korrosionsresistent, sind alle Armaturen betroffen.

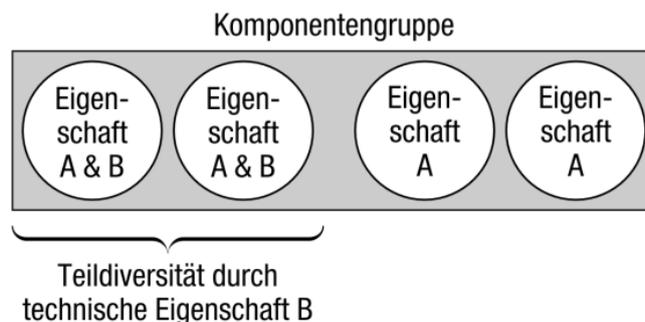


Abb. 8.3 Teildiversität bei Bildung einer Komponentengruppe

Versucht man diese Problematik zu umgehen, indem alle Komponenten als eine Komponentengruppe modelliert werden, ergeben sich, wie in Abb. 8.3 ersichtlich, Teildiversitäten. Ausfälle auf Grund der generischen Eigenschaft B (z. B. verstellte Drehmomentschalter an den Stellantrieben) können nicht auf alle Komponenten der nun vergrößerten Komponentengruppe übertragen werden. Somit ist es irrelevant wie die

Komponentengruppen gewählt werden, übergreifende oder teildiversitäre GVA können nicht allein durch die passende Wahl der Komponentengruppen ausgeschlossen werden.

8.2 Methodik zur Bestimmung von komponentengruppenübergreifenden GVA

In der Praxis kann es sich trotzdem als sinnvoll erweisen, für Teile einer Komponente eigene Komponentengruppen anzusetzen. Dies ist dann der Fall, wenn sich zwischen dem separierten Teil und dem übrigen Teil der früheren Gesamtkomponente keine gemeinsamen Ausfälle postulieren lassen. Ein Beispiel hierfür ist die bereits in der Vergangenheit erfolgte Aufteilung von Messungen in Wirkdruckleitungen, Messumformer und Grenzwertgeber. Analog kann es sinnvoll sein Komponentengruppen zusammenzulegen, wenn dadurch keine Potentiale für teildiversitäre Ereignisse entstehen. Dabei muss die vorhandene Betriebserfahrung (siehe Abschnitte 5.2 und 6) berücksichtigt werden um einerseits sicherzustellen, dass keine entsprechenden gemeinsamen Ausfälle beobachtet wurden und um andererseits zur Minimierung des zusätzlichen Aufwands lediglich Teilkomponenten zusätzlich zu modellieren oder Komponentengruppen zusammenzulegen, die die Anzahl der komponentengruppenübergreifenden GVA oder Komponentengruppen mit Teildiversität effektiv reduzieren.

Zur Bestimmung von Komponentengruppen für komponentengruppenübergreifende GVA ergibt sich also folgende Methodik:

- **Schritt 1: Auswertung der GVA-Betriebserfahrung hinsichtlich der betroffenen Komponenten**

Grundlage der Komponentengruppenbildung ist die Auswertung der Betriebserfahrung. Ohne entsprechende Betriebserfahrung ist die Einführung eines komponentengruppenübergreifenden GVA zusätzlich zu den bisherigen GVA nicht nötig. Hierzu müssen die bisherig beobachteten GVA hinsichtlich der betroffenen Komponenten analysiert werden und verglichen werden, ob diese gemäß den gültigen Regeln zur Komponentengruppenbildung bei GVA in eine Komponentengruppe zusammengefasst werden. Finden sich Ereignisse die komponentengruppenübergreifende Auswirkungen haben oder Ereignisse mit Teildiversitäten, sind diese weiter zu betrachten.

- **Schritt 2: Ingenieurtechnische Beurteilung des übergreifenden/teildiversitären Charakters der Ereignisse**

In diesem Schritt muss bestimmt werden, auf Grund welcher technischen Charakteristik (gleiche Betriebsmittel oder gleiche Teile der Komponenten, gleiche Hilfsmittel, gleiche Instandhaltungsprozess etc.) die gefundenen Ereignisse ihre komponentengruppenübergreifenden Auswirkungen entwickeln konnten bzw. auf Grund welcher Teildiversitäten bestimmte Komponenten nicht betroffen sein konnten.

- **Schritt 3: Ingenieurtechnische Beurteilung der Auswirkungen einer geänderten PSA-Modellierung**

In diesem Schritt muss beurteilt werden, inwieweit eine Trennung entsprechend der in Schritt 2 gefundenen Charakteristik erstens grundsätzlich mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist, zweitens die Menge an Teildiversitäten und komponentengruppenübergreifenden GVA verringert (siehe Kapitel 8.1) und drittens einen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse der PSA haben kann.

- **Schritt 4: Definition eines Ansatzes für die Modellierung in der PSA**

In Abschnitt 5.2 wurden aus der Betriebserfahrung unter Anwendung dieser Methodik folgende Ansätze für zukünftige PSA abgeleitet:

- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Komponenten eines Armaturentyps,
- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für Stellantriebe von Armaturen bzw. Betrachtung der Stellantriebe als eigenständige Komponente,
- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für alle Batterien,
- Ansatz von gemeinsamen Ausfällen für magnetbetätigte Vorsteuerventile in Lüftungsarmaturen,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle der VSV der FSA-Station, ggf. mit Einschränkungen je nach Ansteuerungsprinzip,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle der DH-VSV, sowie der DH-Hauptarmaturen,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle von Relaisbaugruppen entsprechend der in der Ereignisbewertung bereits verwendeten Methode zur Gruppierung von Relais,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für die Schalter einer Spannungsebene,

- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für die Schalter von Komponenten mit erhöhten Einschaltströmen,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für D1- und D2-Diesel,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Messumformer des gleichen Typs,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Gleichrichter des D1- und D2-Netzes oder zumindest innerhalb einer Spannungsebene,
- Ansatz gemeinsamer Ausfälle für Ventilatoren des gleichen Typs.

Zusammenfassend kann die Aufteilung von Komponenten in Teilkomponenten also grundsätzlich die Problematik der statistischen Behandlung von übergreifenden GVA oder teildiversitären Komponentengruppen nicht umgehen oder lösen, aber in gewissen Grenzen die Menge an gemeinsamen Ausfällen, deren potentieller Einflussbereich nicht den Komponentengruppengrenzen entspricht, verringern. Das Modell zur Behandlung von GVA muss die Möglichkeit eines Auftretens solcher Ausfälle anderweitig berücksichtigen, z. B. in der quantitativen Bewertung von GVA-Ereignissen.

9 Modelle zur Bewertung von Teildiversität und übergreifenden GVA bei der quantitativen Bewertung von GVA-Ereignissen

Im Folgenden sollen verschiedene Ansätze zur Bewertung von teildiversitären und übergreifenden GVA-Ereignissen diskutiert werden. Abschnitt 9.1 verfolgt den Ansatz, zusätzliche Parameter zu schätzen, um einen komponentengruppenübergreifenden GVA zu modellieren. Es wird ein Modell vorgestellt, dass die feste Zugehörigkeit von Komponenten zu einer Komponentengruppe aufhebt. In Abschnitt 9.2 wird unabhängig davon eine andere Herangehensweise verfolgt, die darauf basiert, die Quantifizierung der PSA-Rechnungen so zu modifizieren, dass komponentengruppenübergreifende GVA berücksichtigt werden.

9.1 Quantitativer Ansatz zur Berücksichtigung übergreifender GVA: Ansatz 1

Grundlage des im Folgenden betrachteten Ansatzes zur Berücksichtigung von übergreifenden GVA in der GVA-Modellierung ist es, die feste Zugehörigkeit von Komponenten zu einer GVA-Gruppe aufzuheben. Stattdessen ist die Zugehörigkeit zu GVA-Gruppen Phänomen-abhängig. Das heißt, alle Komponenten, die durch ein bestimmtes GVA-Phänomen gleichzeitig unverfügbar sein können, gehören einer zu diesem Phänomen gehörenden GVA-Gruppe an. Es ist möglich, dass mehrere Phänomene derselben Gruppe zugeordnet werden, wenn die von diesen Phänomenen ausgelösten GVA dieselben Komponenten betreffen können.

Dieser Ansatz wird im Folgenden an einem einfachen Beispiel illustriert. Gegeben seien zwei Komponentengruppen (Komponentengruppen A und B) mit jeweils vier Einzelkomponenten (jeweils zugehörig zu den Strängen 1 bis 4). Zwischen diesen beiden Komponentengruppen sollen nun komponentengruppenübergreifende Ausfälle unterstellt werden. Es lassen sich folglich drei Gruppen bilden:

- Die erste Gruppe umfasst die vier Komponenten der Komponentengruppe A.
- Die zweite Gruppe umfasst die vier Komponenten der Komponentengruppe B.
- Die dritte Gruppe umfasst alle acht Komponenten (Komponentengruppe A und Komponentengruppe B zusammen).

Für jede dieser Gruppen werden Unverfügbarkeiten durch GVA geschätzt; für die einzelnen Komponenten ergibt sich die Unverfügbarkeit aus der Mitgliedschaft in den einzelnen Gruppen. So sind für die GVA der Komponenten der Komponentengruppe A die Gruppen 1 und 3 relevant. Entsprechend sind die Ereignisse den einzelnen Gruppen zuzuordnen. Ereignisse, deren GVA-Phänomene einen übergreifenden GVA verursachen können, werden Gruppe 3 zugeordnet, Ereignisse, deren Phänomene nur für die Komponentengruppe A relevant sind, werden Gruppe 1 zugeordnet und Ereignisse, deren Phänomene nur für die Komponentengruppe B relevant sind, werden Gruppe 2 zugeordnet.

Jedoch können auch Phänomene auftreten, die für beide Komponentengruppen relevant sind, aber bei denen ein übergreifender GVA sehr unwahrscheinlich ist und nicht modelliert wird¹². Als Beispiel sei ein Herstellungsfehler an Bauteilen genannt, die in beiden Komponentengruppen von unterschiedlichen Herstellern gefertigt wurden. Die Fehlermöglichkeit besteht für beide Gruppen, ein gleichzeitiger Ausfall ist allerdings durch die vorhandene Herstellerdiversität unwahrscheinlich. Hier sind zwei Ansätze denkbar:

- Die Ereignisse werden in der Gruppe berücksichtigt, in der sie auftraten.
- Die Ereignisse werden für beide Gruppen berücksichtigt; allerdings ist dann die Gesamtbeobachtungszeit beider Komponentengruppen den Schätzungen zugrunde zu legen.

Während beide Ansätze statistisch korrekt sind, hat der zweite Ansatz den Vorteil, dass für beide Gruppen die Datenbasis vergrößert wird und somit die Schätzunsicherheit verringert wird; deshalb erscheint dieser Ansatz vorteilhaft. Damit werden für die Ereignisauswertung vier Klassen gebildet:

1. Ereignisse mit GVA-Phänomenen, die nur Komponenten der Komponentengruppe A betreffen können.
2. Ereignisse mit GVA-Phänomenen, die nur Komponenten der Komponentengruppe B betreffen können.

¹² Der Fall, dass ein übergreifender GVA unwahrscheinlich, aber nicht vernachlässigbar ist, wird im Folgenden diskutiert.

3. Ereignisse mit GVA-Phänomenen, die zu übergreifenden GVA von Komponenten beider Komponentengruppen führen können. Dies umfasst insbesondere Ereignisse, bei denen Komponenten aus beiden Gruppen betroffen waren.
4. Ereignisse mit GVA-Phänomenen, die Komponenten beider Komponentengruppen betreffen können, aber für die übergreifenden GVA nicht zu befürchten sind.

Zur Schätzung der GVA-Wahrscheinlichkeiten für die GVA-Gruppe 1 (Komponentengruppe A) sind dann die Ereignisse aus Klasse 1 einzubeziehen, wobei die Beobachtungszeit der Komponentengruppe A berücksichtigt wird und die Ereignisse aus Klasse 4, wobei als Beobachtungszeit die Summe der Beobachtungszeiten der Komponentengruppe A und der Komponentengruppe B berücksichtigt wird. Analog wird für die GVA-Wahrscheinlichkeiten für die GVA-Gruppe 2 (Komponentengruppe B) die Ereignisse aus Klasse 2 einbezogen, wobei die Beobachtungszeit der Komponentengruppe B berücksichtigt wird und die Ereignisse aus Klasse 4, wobei als Beobachtungszeit die Summe der Beobachtungszeiten der Komponentengruppe A und der Komponentengruppe B berücksichtigt wird.

Für die Gruppe 3 (Übergreifende GVA) werden Ereignisse aus Klasse 3 und die Beobachtungszeit beider Komponentengruppen in einer gemeinsamen Gruppe (dies ist i. A. die Beobachtungszeit der Anlage) zugrunde gelegt. Bei der Berechnung der GVA-wahrscheinlichkeiten selbst ist noch zu beachten, dass sich die Fehlerentdeckungszeit bei den übergreifenden GVA der Gruppe 3 abhängig von den in den Komponentengruppen verfolgten Prüfstrategien ändern kann.

Der Ausfall einer Komponente lässt sich in der PSA als Oder-Verknüpfung der den verschiedenen möglichen GVA-Ereignissen entsprechenden Basisereignissen modellieren. Dies wird in Abb. 9.1 und Abb. 9.2 dargestellt. In Abb. 9.1 ist beispielhaft der Teilfehlerbaum aufgeführt, der sich unterhalb des Fehlerereignisses 'Ausfall der Komponente in Strang 1 der Komponentengruppe A' befindet, wenn die bisherige Modellierung ohne übergreifende GVA gewählt wird. In Abb. 9.2 ist ein Ausschnitt des Teilfehlerbaums aufgeführt, der verwendet wird, wenn die oben beschriebene Modellierung mit übergreifenden Ereignissen gewählt wird. Die Anzahl relevanter Basisereignisse ist wesentlich höher. Statt sieben GVA-Basisereignisse sind 262 GVA-Basisereignisse für dieses Fehlerereignis einzubeziehen.

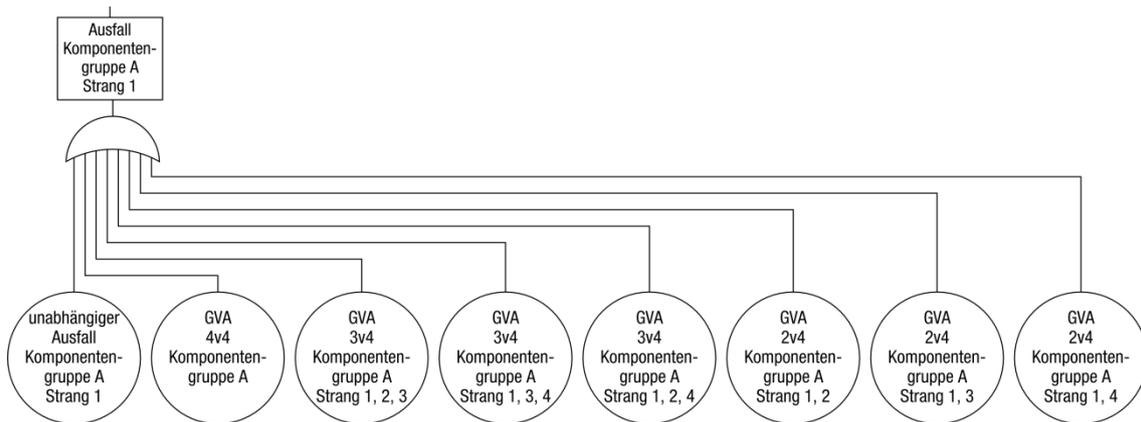


Abb. 9.1 Teilfehlerbaum 'Ausfall der Komponente in Strang 1 der Komponentengruppe A' ohne übergreifende GVA

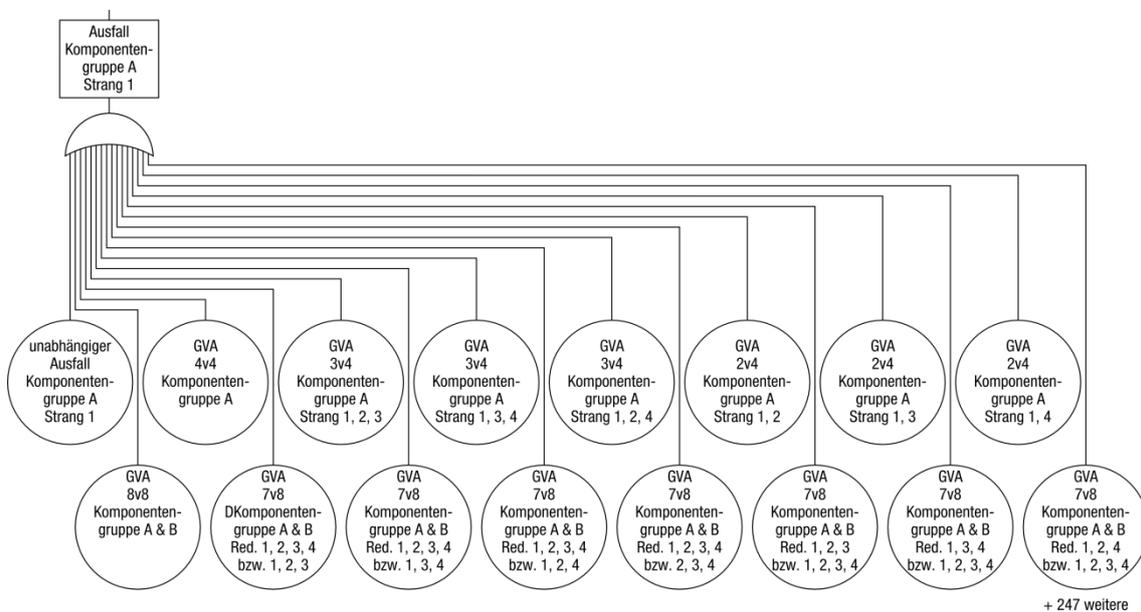


Abb. 9.2 Teilfehlerbaum 'Ausfall der Komponente in Strang 1 der Komponentengruppe A' mit übergreifenden GVA

Die Anzahl von GVA-Basisereignissen lässt sich allgemein berechnen als

$$N_{GVA-Basisereignisse} = \sum_{GVA-Gruppen\ g} 2^{\mathcal{N}(g)} - \mathcal{N}(g) - 1 \quad (9.1)$$

wobei $\mathcal{N}(g)$ die Anzahl der Komponenten in der GVA-Gruppe g bezeichnet. Für das oben dargestellte Beispiel gibt es im Fall, dass keine übergreifenden GVA modelliert werden, zwei Gruppen der Größe 4, so dass $N_{GVA-Basisereignisse} = 22$ ist. Im zweiten

Fall (mit übergreifenden GVA) sind drei Gruppen zu berücksichtigen, von denen zwei die Größe 4 und eine die Größe 8 hat. Deshalb ist $N_{GVA-Basisereignisse} = 269$. Die genannten Anzahl von Basisereignissen ist in einer Größenordnung, die diesen Ansatz in PSA noch umsetzbar erscheinen lässt, insbesondere da Werkzeuge für die automatische Erzeugung solcher Bäume verfügbar sind.

In Verallgemeinerung des oben geschilderten Ansatzes können Phänomene betrachtet werden, bei denen ein übergreifender GVA unwahrscheinlicher als ein auf eine Gruppe beschränkter GVA, aber nicht vernachlässigbar sind. Hierzu kann eine Phänomen abhängige Wahrscheinlichkeit ξ_j eingeführt werden, die wie folgt definiert wird: Mit Wahrscheinlichkeit $1 - \xi_j$ ist das GVA-Phänomen auf eine Gruppe beschränkt, mit Wahrscheinlichkeit ξ_j betrifft es beide Komponentengruppen. Wenn das Ereignis z. B. an Komponenten der Komponentengruppe A aufgetreten ist, kann dies in den Rechnungen berücksichtigt werden, indem das entsprechende Ereignis mit ξ_j der Klasse 3 (Übergreifende GVA) und Wahrscheinlichkeit $1 - \xi_j$ der Klasse 1 (Komponentengruppe A) zugeordnet wird. Hier sind noch Methoden zu entwickeln, wie ξ_j z. B. durch Expertenbewertungen nachvollziehbar und unter Berücksichtigung der Unsicherheiten quantifiziert werden kann.

Problematisch an diesem Ansatz ist, dass bei mehr als zwei Komponentengruppen für jede Kombination an Komponentengruppen und für jedes GVA-Phänomen ein eigener Parameter ξ_j geschätzt werden muss (und auch die Beobachtungszeit jeweils entsprechend berechnet werden muss). Für die Gesamtbetrachtung ist also eine zusätzliche Schätzung von $n_j \sum_{i=2}^{n_{KG}} \binom{n_{KG}}{i}$ Parametern vorzunehmen, wobei n_j die Anzahl der GVA-Phänomene ist und n_{KG} die Anzahl der Komponentengruppen. Bereits relativ übersichtliche Ereignis- und Komponentengruppenmengen erfordern hierbei eine große Anzahl an zusätzlichen zu schätzenden Parametern (z. B. für $n_j = n_{KG} = 4$ immerhin $4 \sum_{i=2}^4 \binom{4}{i} = 44$). Um diesen Ansatz für größere Gruppen- und Ereignisanzahlen praktikabel zu machen, sind daher Verfahren zu erarbeiten, wie die effektive Parameteranzahl reduziert werden kann ohne dabei die Ausfallwahrscheinlichkeiten zu unterschätzen oder die Unsicherheiten über die Maßen ansteigen zu lassen.

9.2 Quantitativer Ansatz zur Berücksichtigung übergreifender GVA: Ansatz 2

Für GVA, die wesentlich mehr Komponenten betreffen (z. B. einen Gruppen- und Komponentenart-übergreifenden GVA von Schaltern) ist Ansatz 1 nicht möglich, da die Anzahl von Komponenten sehr groß sein kann und die Anzahl der GVA-Basisereignisse hypergeometrisch mit der größten GVA-Gruppengröße steigt (Gleichung 9.1). Ist z. B. die Anzahl von Komponenten, für die ein GVA modelliert wird, 16, so gilt $N_{GVA-Basisereignisse} > 6,5 * 10^5$, so dass die oben dargestellte explizite Modellierung in der PSA nicht möglich ist. Um übergreifende GVA bei solch großen Gruppen abbilden zu können, ist die Entwicklung von neuen Methoden erforderlich.

Ein grundsätzlicher Ansatz für neue Methoden könnte darin bestehen, keine explizite Abbildung der übergreifenden GVA in der PSA-Modellierung vorzunehmen, sondern die Quantifizierung in den PSA-Rechnungen so zu modifizieren, dass die übergreifenden GVA berücksichtigt werden. In erster Näherung bedeutet dies, die einzelnen Minimalschnitten zugeordneten Wahrscheinlichkeiten entsprechend zu erhöhen, wenn mehrere Basisereignisse enthalten sind, die Komponenten betreffen, für die ein übergreifender GVA berücksichtigt werden soll.

Dies wird anhand des Beispiels eines Minimalschnitts c dargestellt. Die Unverfügbarkeit $q(c)$ ist

$$q(c) = \prod_{\text{Basisereignisse } b \in c} q(b) \quad (9.2)$$

wobei $q(b)$ die Wahrscheinlichkeit, dass Basisereignis b eintritt, bezeichnet. Die Unverfügbarkeiten der Minimalschnitte dienen zur Quantifizierung der Fehler/Ereignisbäume. Statt $q(c)$ wird bei diesem Ansatz ein modifizierter Wert $q^{Mod}(c)$ verwendet, der die ggf. erhöhte Unverfügbarkeit aufgrund übergreifender GVA berücksichtigt. Ist z. B. der Minimalschnitt c die Menge der Basisereignisse der GVA von Komponenten $k1$ und $k2$ sowie von Komponenten $k3$ und $k4$, d. h.

$$c = \{GVA_{\{k1,k2\}}, GVA_{\{k3,k4\}}\} \quad (9.3)$$

so gilt

$$q(c) = q(GVA_{\{k1,k2\}}) q(GVA_{\{k3,k4\}}) \quad (9.4)$$

Der zur Berücksichtigung von übergreifenden GVA zu verwendende modifizierte Wert ist

$$q^{Mod}(c) = q(GVA_{\{k1,k2\}}) q(GVA_{\{k3,k4\}} | GVA_{\{k1,k2\}}) \quad (9.5)$$

wobei $q(GVA_{\{k3,k4\}} | GVA_{\{k1,k2\}})$ die Wahrscheinlichkeit der Unverfügbarkeit von $\{k3, k4\}$, gegeben $\{k1, k2\}$ sind nicht verfügbar, bezeichnet. Bei Modellierung übergreifender GVA ist

$$q(GVA_{\{k3,k4\}} | GVA_{\{k1,k2\}}) > q(GVA_{\{k3,k4\}}) \quad (9.6)$$

$q(GVA_{\{k3,k4\}} | GVA_{\{k1,k2\}})$ ist aus der Betriebserfahrung zu schätzen. Aus Gleichung (9.6) folgt

$$q^{Mod}(c) > q(c) \quad (9.7)$$

Der Anwendung dieses Ansatzes stehen allerdings ebenfalls Hindernisse entgegen: Die Gesamtzahl der Minimalschnitte einer vollständigen PSA der Stufe 1 ist viel zu groß, als dass man sie bestimmen oder speichern könnte. Daher müssen die heuristischen Suchalgorithmen für Minimalschnitte sogenannte 'Cut-off-Verfahren' nutzen, um die führenden Minimalschnitte zu bestimmen /SCA 12/. Für die Anwendung des oben dargestellten Ansatzes impliziert dies, dass sichergestellt werden muss, dass die für übergreifende GVA relevanten Minimalschnitte nicht bei der Anwendung des Cut-off-Verfahrens verworfen werden.

Vor Erprobung und Anwendung dieses Ansatzes sind deshalb umfangreiche Fragestellungen zu untersuchen. Dies umfasst die mathematische Ableitung von Gleichungen zur Berechnung der modifizierten Unverfügbarkeiten q^{Mod} und die Entwicklung von Verfahren zur Schätzung der benötigten Kenngrößen aus der Betriebserfahrung, ggf. unter Verwendung von Expertenschätzungen,

- die Untersuchung der Frage, wie sichergestellt werden kann, dass Minimalschnitte, die nach Einbeziehung der übergreifenden GVA einen signifikanten Beitrag zum

PSA-Ergebnis liefern, nicht zuvor vernachlässigt werden, da sie Abschneidekriterien erfüllen,

- die Entwicklung von Rechenverfahren höherer Ordnung für die Quantifizierung mit dem oben dargestellten Ansatz und
- die Implementation der Verfahren in Form von Rechenprogrammen sowie deren Test und Validierung.

9.3 Sonstige Ansätze

Auch weitere Ansätze könnten gegebenenfalls in die Entwicklung von Modellierungs- und Quantifizierungsverfahren für übergreifende GVA einbezogen werden. Für einige größere GVA-Gruppen (z. B. Vorsteuerventile) wird eine Zusammenfassung von GVA-Ereignissen in GVA-Modulen (siehe /FAK 05/, /FRE 06/ und /WIB 10/) vorgenommen. Dieser Ansatz ist unmittelbar zielführend, wenn eine Ausgliederung eines Teils eines Fehlerbaums in ein separates Modul möglich ist. Im Fall von Vorsteuerventilen wird nur das Versagen der Ansteuerung im Fehlerbaum als Basisereignis modelliert. Die Quantifizierung dieses Basisereignisses wird mithilfe des GVA-Moduls vorgenommen, in dem basierend auf der Zusammenschaltung der Vorsteuerventile und der aus der Betriebserfahrung geschätzten Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen GVA-Ausfallkombinationen die Wahrscheinlichkeit des Versagens der Ansteuerung bestimmt wird. Diese Anwendung von GVA-Modulen setzt allgemein eine entsprechende Struktur des Fehlerbaumes voraus, die z. B. bei systemübergreifenden GVA nicht unmittelbar gegeben ist. Für eine Anwendung von GVA-Modulen zur Einbeziehung von übergreifenden GVA wäre zu untersuchen, ob der Ansatz so verallgemeinert werden kann, dass diese Voraussetzung nicht oder nur eingeschränkt erfüllt sein muss.

Eine weitere Möglichkeit zur zumindest teilweisen Berücksichtigung der durch einen übergreifenden GVA induzierten Abhängigkeiten bestünde darin, potenziell relevante Ausfallkombinationen unter Nutzung der Anlagenkenntnisse zu bestimmen und nur ausgewählte, repräsentative Ereignisse in der PSA zu modellieren.

Diese Aufgaben führen allerdings über das Vorhaben RS1198 hinaus und müssen eventuellen Nachfolgevorhaben vorbehalten bleiben.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden von der GRS in der Vergangenheit durchgeführte PSA hinsichtlich der Komponentengruppen der unterstellten GVA ausgewertet und untersucht, inwieweit dabei von den Regelungen des PSA-Methodenbandes /FAK 05/ abgewichen wurde. Es zeigte sich, dass überwiegend GVA mit Komponentengruppen entsprechend der Vorgehensweise aus dem Methodenband verwendet wurden. Bei den wenigen Ausnahmen ließ sich anhand der Betriebserfahrung und der verfahrenstechnischen Randbedingungen nachvollziehen, weshalb hier abweichend vorgegangen wurde.

Zur Untersuchung von komponentengruppenübergreifenden GVA und von GVA mit Teildiversitäten wurde folgende Methodik erarbeitet:

- Schritt 1: Auswertung der GVA-Betriebserfahrung hinsichtlich der betroffenen Komponenten
- Schritt 2: Ingenieurstechnische Beurteilung des übergreifenden/teildiversitären Charakters der Ereignisse
- Schritt 3: Ingenieurstechnische Beurteilung der Auswirkungen einer geänderten PSA-Modellierung
- Schritt 4: Definition eines Ansatzes für die Modellierung in der PSA

Unter Anwendung dieser Methodik wurden alle in deutschen Druckwasserreaktoren bis Ende 2002 aufgetretenen, gemeinsam verursachten Ausfälle (GVA) aus der GVA-Datenbank der GRS hinsichtlich der betroffenen Komponenten der in der Betriebserfahrung beobachteten GVA ausgewertet. Dabei wurde eine größere Menge an GVA gefunden, bei denen Komponenten betroffen waren, die gemäß den etablierten Regeln zur Komponentengruppenbildung nicht in einer gemeinsamen Gruppe zusammengefasst worden wären. GVA, bei denen Teildiversitäten innerhalb der betroffenen Komponentengruppen vorhanden waren, wurden nur in einem wesentlich geringeren Umfang gefunden.

Aus den Ergebnissen lassen sich direkt für bestimmte Komponenten oder Teile von Komponenten Hinweise zur besseren Modellierung in zukünftigen PSA ableiten. Es wird empfohlen, dass zusätzlich zu den üblichen GVA-Komponentengruppen die folgenden komponentengruppenübergreifenden GVA zu betrachten sind:

- Gemeinsame Ausfälle für alle Komponenten eines Armaturentyps,
- gemeinsame Ausfälle für Stellantriebe von Armaturen,
- gemeinsame Ausfällen für alle Batterien,
- gemeinsame Ausfälle für magnetbetätigte Vorsteuerventile von Lüftungsarmaturen,
- gemeinsame Ausfälle der Vorsteuerventile der Frischdampfsicherheitsarmaturenstation, ggf. mit Einschränkungen je nach Ansteuerungsprinzip,
- gemeinsame Ausfälle der Druckhaltervorsteuerventile, sowie der Druckhalter-Hauptarmaturen,
- gemeinsame Ausfälle von Relaisbaugruppen entsprechend der in der Ereignisbewertung bereits verwendeten Methode zur Gruppierung von Relais,
- gemeinsame Ausfälle für die Schalter einer Spannungsebene,
- gemeinsame Ausfälle für die Schalter von Komponenten mit erhöhten Einschaltströmen,
- gemeinsame Ausfälle für D1- und D2-Diesel,
- gemeinsame Ausfälle für Messumformer des gleichen Typs,
- gemeinsame Ausfälle für Gleichrichter des D1- und D2-Netzes oder zumindest innerhalb einer Spannungsebene,
- gemeinsame Ausfälle für Ventilatoren des gleichen Typs.

Im Rahmen eines zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wären in einem analogen Verfahren die neuere Betriebserfahrung der Druckwasserreaktoren ab dem Jahr 2003 sowie die Ereignisse an Siedewasserreaktoren entsprechend auszuwerten.

Es wurde weiterhin untersucht, ob durch Änderung der Regeln zur Bildung von Komponentengruppen erreicht werden kann, dass GVA prinzipiell nur innerhalb einer Komponentengruppe auftreten können. Dabei konnte gezeigt werden, dass dies grundsätzlich nicht möglich ist.

Außerdem wurde an Hand des Beispiels der Notstromdiesel, für die es ebenfalls entsprechende Betriebserfahrung gibt, rechnerisch demonstriert, dass die Annahme von komponentengruppenübergreifenden Ausfällen die Häufigkeit von Gefährdungszuständen erhöht. Der Einfluss auf die Kernschadenzustände ist im konkreten Beispiel deutlich geringer, da Notfallmaßnahmen eine entsprechende Weiterentwicklung verhindern können. Bei einem komponentengruppenübergreifenden Ausfall anderer Komponenten (z. B. der Batterien, für die ebenfalls entsprechende Ereignisse beobachtet wurden) ist davon auszugehen, dass auch die Durchführbarkeit von Notfallmaßnahmen beeinflusst wird und daher auch die Kernschadenswahrscheinlichkeit wesentlich steigt.

Die Entwicklung einer Methode zur Modellierung und Quantifizierung komponentengruppenübergreifender GVA ist daher notwendig. Es wurden verschiedene Ansätze entwickelt und diskutiert, auf denen eine zukünftige mathematische Modellierung aufbauen könnte. Einerseits der Ansatz zusätzliche Parameter zu schätzen um komponentengruppenübergreifende GVA zu modellieren. Dabei wird die feste Zugehörigkeit von Komponenten zu einer Komponentengruppe aufgegeben. Andererseits ein Ansatz, der darauf basiert, die Quantifizierung der PSA-Rechnungen so zu modifizieren, dass komponentengruppenübergreifende GVA berücksichtigt werden. Die Weiterentwicklung, Implementation, Erprobung und Bewertung dieser Ansätze bleibt einem möglichen Nachfolgevorhaben vorbehalten. Für den Ansatz zusätzliche Parameter zu schätzen wären Verfahren zu entwickeln, wie der Anstieg an Basisereignissen und zu schätzenden Parametern bei steigenden Anzahlen an Komponentengruppen effektiv zu begrenzen ist. Des Weiteren wären Methoden für die Expertenschätzung der zusätzlichen Parameter und die Behandlung der dabei entstehenden Unsicherheiten zu erarbeiten. Für den anderen Ansatz wären mathematische Verfahren zur Berechnung der modifizierten Unverfügbarkeiten abzuleiten und ein Verfahren zu entwickeln, wie verhindert werden kann, dass potentiell relevante Minimalschnitte vorher von den heuristischen Suchverfahren als vernachlässigbar eingestuft werden, da sie Abschneidekriterien erfüllen. Für beide Verfahren wäre die Implementation in Form von Rechenprogrammen sowie deren Test und Validierung durchzuführen.

Literaturverzeichnis

- /BMU 12/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Bekanntmachung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“, Stand 22. November 2012, BAnz AT 24.01.2013 B3, veröffentlicht am Donnerstag, 24. Januar 2013, http://regelwerk.grs.de/downloads/banz_sianf.pdf, http://www.bmu.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/bekanntmachung-der-sicherheitsanforderungen-an-kernkraftwerke-vom-22-november-2012/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=266.
- /FAK 05/ Facharbeitskreis probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke (FAK): Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand August 2005, BfS-SCHR-37/05, Salzgitter, Oktober 2005.
- /FAK 05a/ Facharbeitskreis probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke (FAK): Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand August 2005, BfS-SCHR-38/05, Salzgitter, Oktober 2005.
- /FRE 95/ Frey, W., et al.: SWR-Sicherheitsanalyse, Phase II, Abschlussbericht, Band 1: Untersuchungen von Ereignissen aus dem Leistungsbetrieb, Gesellschaft für Reaktorsicherheit GRS-A-2304, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, Dezember 1995.
- /FRE 98/ Frey, W., et al.: Probabilistische Sicherheitsanalyse für das Kernkraftwerk Obrigheim, GRS-A-2608, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching/Köln, Dezember 1998.
- /FRE 06/ Frey, W., et al.: Erprobung und Bewertung der Methoden einer PSA für die Baulinie 69 nach Stand von Wissenschaft und Technik (PSA SWR 69), Fachband 2 – Datenermittlung für die PSA der Stufe 1 aus dem Leistungsbetrieb, GRS-A-3293, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, April 2006.

- /GRS 90/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B, Verlag TÜV Rheinland, 1990.
- /HER 12/ Herb, J. Fault Tree Auto-Generator: How to Cope with Highly Redundant Systems, in: 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012), ISBN: 978-1-62276-436-5, Curran Associates, Inc., Red Hook, NY, 2012.
- /HOL 01/ Holtschmidt, H., A. Kreuser, J. Peschke: Auswertung des Ausfallverhaltens von Komponenten aus gemeinsamer Ursache für die PSA GKN-2, GRS-A-2930, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, August 2001.
- /HOL 06/ Holtschmidt, H., Kreuser, A., Verstegen, C.: Extension of the German Database for Common Cause Failure Events, Kerntechnik, Vol. 71, No. 1-2, Februar 2006.
- /IAE 92/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Procedures for conducting common cause failure analysis in probabilistic safety assessment, IAEA-TECDOC-648, Wien, Mai 1992.
- /KRE 01/ Kreuser, A., J. Peschke: Coupling Model: A Common-Cause-Failure Model with Consideration of Interpretation Uncertainties, Nuclear Technology Vol. 136, 2001.
- /KRE 06/ Kreuser, A., J. Peschke, J.-C. Stiller: Further Development of the Coupling Model, Kerntechnik, Vol. 71, 2006.
- /KRE 10/ Kreuser, A., Verstegen, C.: Common-Cause Failure Analysis – Recent developments in Germany, PSAM 2010.
- /LEB 12/ Leberecht, M.: RS1198: AP 1.3: Zuverlässigkeitskenngrößen für Notstromdiesel, interne Kommunikation, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 23.07.2012.

- /MOS 98/ Mosleh, A., D. Rasmuson, F. Marshall: Guidelines on Modeling Common Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment, Nuclear Regulatory Commission (NRC), Washington, DC, 1998.
- /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.
- /SCA 12/ Scandpower AB (Lloyd’s Register Consulting): RiskSpectrum Analysis, Tools Theory Manual, Version 3.2.1, 2012 (elektronische Dokumentation).
- /SER 92/ Seredynski, J.: Betriebserfahrungen mit Batterien der Notstromanlagen von Kernkraftwerken, abgeleitet aus den meldepflichtigen Ereignissen, GRS-A-1956, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, September 1992.
- /STI 08/ Stiller, J.-C., A. Kreuser, C. Verstegen: Consideration of Additional Uncertainties in the Coupling Model for the Estimation of Unavailabilities due to Common Cause Failures, in: Proceedings of the 9th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, Hong Kong, 2008.
- /STI 09/ Stiller, J.-C., J. Peschke: Konsistente Berücksichtigung der Unsicherheit bezüglich der Rate von GVA-Ereignissen bei der Anwendung des Kopplungsmodells, GRS-A-3466, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 2009.
- /WIB 10/ Wielenberg, A.: Bereitstellung einer Benutzeroberfläche mit den erforderlichen Hilfsprogrammen für PSA-Methoden der Stufe 1 zum Ausschluss von Fehlerquellen, GRS-A-3553, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, August 2010.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 5.1	Ausschlusskriterien für übergreifende GVA.....	62
Abb. 7.1	Prinzipielle Systemarchitektur für Beispiel 1.....	121
Abb. 7.2	Prinzipielle Systemarchitektur für Beispiel 2.....	122
Abb. 7.3	Unterteilung der GVA-Gruppen bei 2 parallelen Gruppen	123
Abb. 7.4	Zusammenfassung der GVA-Gruppen bei zwei parallelen Gruppen	124
Abb. 7.5	Unterteilung der GVA-Gruppen bei 2 seriellen Gruppen	125
Abb. 7.6	Zusammenfassung der GVA-Gruppen bei 2 seriellen Gruppen	126
Abb. 7.7	Verhältnis der Ausfallwahrscheinlichkeit für übergreifende GRA-Gruppe und zwei getrennten Gruppen in Abhängigkeit von η	127
Abb. 7.8	Wahrscheinlichkeiten, dass das TOP-Ereignis auftritt, bei einer GVA-Komponentengruppe (blau) bzw. bei zwei GVA-Komponentengruppen (rot) in Abhängigkeit von η	128
Abb. 7.9	Fehlerbaum für Unverfügbarkeit D1-Diesel XKA10	131
Abb. 7.10	Fehlerbaum für Unverfügbarkeit D2-Diesel XKA50	131
Abb. 7.11	Fehlerbaum für die Unverfügbarkeit des D2-Diesels XKA50 durch Startversagen oder Betriebsversagen.....	132
Abb. 7.12	Fehlerbaum für Unverfügbarkeit von D1-Schiene BDA	132
Abb. 7.13	Fehlerbaum für Unverfügbarkeit von D2-Schiene BNA	133
Abb. 7.14	Ereignisbaum für den Notstromfall bis zum Gefährdungszustand	134
Abb. 7.15	Fehlerbaum Unverfügbarkeit 4 von 4 BD-Schienen (D1-Netz).....	134
Abb. 7.16	Fehlerbaum Unverfügbarkeit 4 von 4 BN-Schienen (D2-Netz).....	135

Abb. 7.17	Fehlerbaum für den Ausfall der D1- und D2-Schienen (Station Black-out (SBO) beim Notstromfall).....	135
Abb. 7.18	Fehlerbaum für Startversagen des D1-Diesels XKA10 durch GVA und unabhängigen Ausfall für zwei separate GVA-Gruppen.....	138
Abb. 7.19	Fehlerbaum für die Unverfügbarkeit des D2-Diesels XKA50 durch Startversagen oder Betriebsversagen.....	138
Abb. 7.20	Fehlerbaum für Startversagen des D2-Diesels XKA50 durch GVA und unabhängigen Ausfall für zwei separate GVA-Gruppen.....	139
Abb. 7.21	Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel XKA10 durch unabhängigen Ausfall oder GVA bei übergreifendem GVA	140
Abb. 7.22	Fehlerbaum Startversagen D2-Diesel XKA50 durch unabhängigen Ausfall oder GVA bei übergreifendem GVA	141
Abb. 7.23	Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 3 von 8 GVA bei übergreifendem GVA.....	142
Abb. 7.24	Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 4 von 8 GVA bei übergreifendem GVA.....	143
Abb. 7.25	Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 5 von 8 GVA bei übergreifendem GVA.....	144
Abb. 7.26	Fehlerbaum Startversagen D1-Diesel durch 6 von 8 GVA bei übergreifendem GVA.....	145
Abb. 7.27	Fehlerbaum Unverfügbarkeit von 3 von 4 BD-Schienen D1-Netz.....	146
Abb. 7.28	Fehlerbaum Unverfügbarkeit von 3 von 4 BN-Schienen D2-Netz.....	150
Abb. 7.29	Fehlerbaum Unverfügbarkeit von BNA durch Ausfall Versorgung von D2-Diesel und Einspeisung D1-Netz.....	153
Abb. 7.30	Fehlerbaum Unverfügbarkeit von mindestens 7 von 8 D1-/D2-Schienen BD/BN.....	154
Abb. 7.31	Fehlerbaum für den Ausfall von BD oder BN analog zu Beispiel 2.....	158
Abb. 7.32	Ereignisbaum 'Notstromfall' für separate GVA-Gruppen D1-/D2-Diesel .	160

Abb. 7.33	Ereignisbaum 'Notstromfall' für übergreifende GVA-Gruppe D1-/D2-Diesel	161
Abb. 8.1	Beispielkomponentenmenge.....	168
Abb. 8.2	Komponentengruppenübergreifender GVA bei Bildung von zwei verschiedenen Komponentengruppen	169
Abb. 8.3	Teildiversität bei Bildung einer Komponentengruppe	169
Abb. 9.1	Teilfehlerbaum 'Ausfall der Komponente in Strang 1 der Komponenten-gruppe A' ohne übergreifende GVA	176
Abb. 9.2	Teilfehlerbaum 'Ausfall der Komponente in Strang 1 der Komponenten-gruppe A' mit übergreifenden GVA	176

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Definitionen von Komponentengrenzen	5
Tab. 5.1	Überblick über die Anzahl der gefundenen komponentengruppenübergreifenden Ereignisse.....	61
Tab. 5.2	Komponentengruppenübergreifende GVA, die auf Grund von geringer Gleichzeitigkeit nicht weiter ausgewertet werden	64
Tab. 5.3	GVA, die direkt zu einem Gefährdungszustand führen	69
Tab. 5.4	Übersicht über die gefundenen komponentengruppenübergreifenden GVA.....	72
Tab. 5.5	Zuordnung der identifizierten komponentengruppenübergreifenden GVA nach Systemen	81
Tab. 5.6	Liste der systemübergreifenden GVA	84
Tab. 5.7	Komponentengruppenübergreifende GVA an der Druckhalter- Armaturenstation	96
Tab. 5.8	Komponentengruppenübergreifende GVA an den Frischdampfsicherheits-armaturen.....	98
Tab. 5.9	Komponentengruppenübergreifende GVA an Schaltern	107
Tab. 7.1	Eignung verschiedener Komponentenarten als Beispiel für komponentengruppenübergreifende Ausfälle.....	120
Tab. 7.2	Auswahl der aktiven GVA-Modellierung.....	130
Tab. 7.3	GVA-Wahrscheinlichkeiten für D1/D2-Diesel	136
Tab. 7.4	Unverfügbarkeiten der BD-Schienen.....	147
Tab. 7.5	Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der BD-Schienen	148
Tab. 7.6	Unverfügbarkeiten BN-Schienen.....	150

Tab. 7.7	Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der BN-Schienen	151
Tab. 7.8	Unverfügbarkeit BD/BN.....	154
Tab. 7.9	Ausgewählte Importanzen der Parameter für die Unverfügbarkeit der Schienen BD/BN.....	156
Tab. 7.10	Ergebnisse für die Unverfügbarkeit des Fehlerbaums für Beispiel 2	158
Tab. 7.11	Ausgewählte Importanzen für die Nichtverfügbarkeit des Fehlerbaums für Beispiel 2.....	159
Tab. 7.12	Ergebnisse der Sequenzanalyse für separate GVA-Gruppen D1-/D2-Diesel zum Notstromfall T1	160
Tab. 7.13	Ergebnisse der Sequenzanalysen für übergreifende GVA-Gruppe D1-/D2-Diesel zum Notstromfall T1	161
Tab. 7.14	Ergebnisse der Konsequenzanalysen für den Gefährdungszustand zum Notstromfall T1 für separate und übergreifende GVA-Modellierung	162
Tab. 7.15	Verzweigungswahrscheinlichkeiten und wichtige Basisereignisse für die Sequenzen LA und B1-LA/LB	163

Abkürzungen

ATWS	Anticipated transient without scram (Versagen der Schnellabschaltung bei einer Transiente)
BE	Brennelement
BHB	Betriebshandbuch
DDA	Durchdringungsabschluss
DE	Dampferzeuger
DH	Druckhalter
DH-AAV	Druckhalter-Abblaseabsperrentil
DH-AV	Druckhalter-Abblaseventil
DH-SIV	Druckhalter-Sicherheitsventil
DWR	Druckwasserreaktor
EVA	Einwirkung von außen
FD-SIV	Frischdampfsicherheitsventil
FSA	Frischdampfsicherheitsarmaturen
GBA	Gebäudeabschluss
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
GVA	Gemeinsam verursachter Ausfall
HD	Hochdruck
HKP	Hauptkühlmittelpumpe
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBS	Inbetriebsetzung
KMV	Kühlmittelverlust
KG	Komponentengruppe(n)
ND	Niederdruck
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
RDB	Reaktordruckbehälter

RESA	Reaktorschnellabschaltung
SB	Sicherheitsbehälter
SiV	Sicherheitsventil
TUSA	Turbinenschnellabschaltung
VSV	Vorsteuerventil
WKP	Wiederkehrende Prüfung

A Erwartungswerte von Basisereignissen

Tab A.1 Basisereignisse für Startversagen D1- bzw. D2-Diesel als unabhängiger Ausfall

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
XKA10-STN	Notstromaggregat startet nicht	1,47E-03
XKA20-STN	Notstromaggregat startet nicht	1,47E-03
XKA30-STN	Notstromaggregat startet nicht	1,47E-03
XKA40-STN	Notstromaggregat startet nicht	1,47E-03
XKA50-STN	Notspeisediesel XKA50 startet nicht	1,91E-03
XKA60-STN	Notspeisediesel XKA60 startet nicht	1,91E-03
XKA70-STN	Notspeisediesel XKA70 startet nicht	1,91E-03
XKA80-STN	Notspeisediesel XKA80 startet nicht	1,91E-03

Tab A.2 Basisereignisse der separaten GVA-Gruppen für D1- und D2-Diesel

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA0----STN12	GVA Notstromaggr. XKA10/20----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN123	GVA Notstromaggr. XKA10/20/30----- startet nicht	1,63E-05
&XKA0----STN124	GVA Notstromaggr. XKA10/20/40----- startet nicht	1,63E-05
&XKA0----STN13	GVA Notstromaggr. XKA10/30----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN134	GVA Notstromaggr. XKA10/30/40----- startet nicht	1,63E-05
&XKA0----STN14	GVA Notstromaggr. XKA10/40----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN23	GVA Notstromaggr. XKA20/30----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN234	GVA Notstromaggr. XKA20/30/40----- startet nicht	1,63E-05
&XKA0----STN24	GVA Notstromaggr. XKA20/40----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN34	GVA Notstromaggr. XKA30/40----- startet nicht	1,80E-05
&XKA0----STN4V4	GVA Notstromaggr. XKA10/20/30/40----- startet nicht	2,82E-05

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA50-80STN12	GVA Notspeisediesel XKA50/60----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN123	GVA Notspeisediesel XKA50/60/70----- starten nicht	1,63E-05
&XKA50-80STN124	GVA Notspeisediesel XKA50/60/80----- starten nicht	1,63E-05
&XKA50-80STN13	GVA Notspeisediesel XKA50/70----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN134	GVA Notspeisediesel XKA50/70/80----- starten nicht	1,63E-05
&XKA50-80STN14	GVA Notspeisediesel XKA50/80----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN23	GVA Notspeisediesel XKA60/70----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN234	GVA Notspeisediesel XKA60/70/80----- starten nicht	1,63E-05
&XKA50-80STN24	GVA Notspeisediesel XKA60/80----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN34	GVA Notspeisediesel XKA70/80----- starten nicht	1,80E-05
&XKA50-80STN4V4	GVA Notspeisediesel XKA50/60/70/80----- starten nicht	2,82E-05

Tab A.3 Basisereignisse für übergreifende GVA-Gruppe der D1-/D2-Diesel

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN12	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/20----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN123	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 123	1,31E-06
&XKA1-8STN1234	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1234	7,49E-07
&XKA1-8STN12345	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12345	7,91E-07
&XKA1-8STN123456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123456	1,01E-06
&XKA1-8STN1234567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1234567	2,26E-06
&XKA1-8STN12345678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 8v8 ----- startet nicht 12345678	8,41E-06
&XKA1-8STN1234568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1234568	2,26E-06

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN123457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123457	1,01E-06
&XKA1-8STN1234578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1234578	2,26E-06
&XKA1-8STN123458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123458	1,01E-06
&XKA1-8STN12346	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12346	7,91E-07
&XKA1-8STN123467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123467	1,01E-06
&XKA1-8STN1234678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1234678	2,26E-06
&XKA1-8STN123468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123468	1,01E-06
&XKA1-8STN12347	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12347	7,91E-07
&XKA1-8STN123478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123478	1,01E-06
&XKA1-8STN12348	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12348	7,91E-07
&XKA1-8STN1235	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1235	7,49E-07
&XKA1-8STN12356	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12356	7,91E-07
&XKA1-8STN123567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123567	1,01E-06
&XKA1-8STN1235678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1235678	2,26E-06
&XKA1-8STN123568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123568	1,01E-06
&XKA1-8STN12357	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12357	7,91E-07
&XKA1-8STN123578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123578	1,01E-06
&XKA1-8STN12358	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12358	7,91E-07
&XKA1-8STN1236	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1236	7,49E-07
&XKA1-8STN12367	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12367	7,91E-07
&XKA1-8STN123678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 123678	1,01E-06

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN12368	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12368	7,91E-07
&XKA1-8STN1237	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1237	7,49E-07
&XKA1-8STN12378	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12378	7,91E-07
&XKA1-8STN1238	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1238	7,49E-07
&XKA1-8STN124	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 124	1,31E-06
&XKA1-8STN1245	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1245	7,49E-07
&XKA1-8STN12456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12456	7,91E-07
&XKA1-8STN124567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 124567	1,01E-06
&XKA1-8STN1245678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1245678	2,26E-06
&XKA1-8STN124568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 124568	1,01E-06
&XKA1-8STN12457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12457	7,91E-07
&XKA1-8STN124578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 124578	1,01E-06
&XKA1-8STN12458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12458	7,91E-07
&XKA1-8STN1246	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1246	7,49E-07
&XKA1-8STN12467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12467	7,91E-07
&XKA1-8STN124678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 124678	1,01E-06
&XKA1-8STN12468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12468	7,91E-07
&XKA1-8STN1247	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1247	7,49E-07
&XKA1-8STN12478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12478	7,91E-07
&XKA1-8STN1248	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1248	7,49E-07
&XKA1-8STN125	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 125	1,31E-06
&XKA1-8STN1256	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1256	7,49E-07
&XKA1-8STN12567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12567	7,91E-07
&XKA1-8STN125678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 125678	1,01E-06

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN12568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12568	7,91E-07
&XKA1-8STN1257	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1257	7,49E-07
&XKA1-8STN12578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12578	7,91E-07
&XKA1-8STN1258	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1258	7,49E-07
&XKA1-8STN126	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 126	1,31E-06
&XKA1-8STN1267	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1267	7,49E-07
&XKA1-8STN12678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 12678	7,91E-07
&XKA1-8STN1268	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1268	7,49E-07
&XKA1-8STN127	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 127	1,31E-06
&XKA1-8STN1278	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1278	7,49E-07
&XKA1-8STN128	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 128	1,31E-06
&XKA1-8STN13	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/30----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN134	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 134	1,31E-06
&XKA1-8STN1345	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1345	7,49E-07
&XKA1-8STN13456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13456	7,91E-07
&XKA1-8STN134567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 134567	1,01E-06
&XKA1-8STN1345678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 1345678	2,26E-06
&XKA1-8STN134568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 134568	1,01E-06
&XKA1-8STN13457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13457	7,91E-07
&XKA1-8STN134578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 134578	1,01E-06
&XKA1-8STN13458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13458	7,91E-07
&XKA1-8STN1346	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1346	7,49E-07
&XKA1-8STN13467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13467	7,91E-07
&XKA1-8STN134678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 134678	1,01E-06
&XKA1-8STN13468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13468	7,91E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungs- wert
&XKA1-8STN1347	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1347	7,49E-07
&XKA1-8STN13478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13478	7,91E-07
&XKA1-8STN1348	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1348	7,49E-07
&XKA1-8STN135	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 135	1,31E-06
&XKA1-8STN1356	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1356	7,49E-07
&XKA1-8STN13567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13567	7,91E-07
&XKA1-8STN135678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 135678	1,01E-06
&XKA1-8STN13568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13568	7,91E-07
&XKA1-8STN1357	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1357	7,49E-07
&XKA1-8STN13578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13578	7,91E-07
&XKA1-8STN1358	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1358	7,49E-07
&XKA1-8STN136	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 136	1,31E-06
&XKA1-8STN1367	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1367	7,49E-07
&XKA1-8STN13678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 13678	7,91E-07
&XKA1-8STN1368	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1368	7,49E-07
&XKA1-8STN137	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 137	1,31E-06
&XKA1-8STN1378	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1378	7,49E-07
&XKA1-8STN138	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 138	1,31E-06
&XKA1-8STN14	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/40----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN145	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 145	1,31E-06
&XKA1-8STN1456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1456	7,49E-07
&XKA1-8STN14567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 14567	7,91E-07
&XKA1-8STN145678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 145678	1,01E-06
&XKA1-8STN14568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 14568	7,91E-07
&XKA1-8STN1457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1457	7,49E-07
&XKA1-8STN14578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 14578	7,91E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN1458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1458	7,49E-07
&XKA1-8STN146	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 146	1,31E-06
&XKA1-8STN1467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1467	7,49E-07
&XKA1-8STN14678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 14678	7,91E-07
&XKA1-8STN1468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1468	7,49E-07
&XKA1-8STN147	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 147	1,31E-06
&XKA1-8STN1478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1478	7,49E-07
&XKA1-8STN148	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 148	1,31E-06
&XKA1-8STN15	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/50----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN156	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 156	1,31E-06
&XKA1-8STN1567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1567	7,49E-07
&XKA1-8STN15678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 15678	7,91E-07
&XKA1-8STN1568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1568	7,49E-07
&XKA1-8STN157	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 157	1,31E-06
&XKA1-8STN1578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1578	7,49E-07
&XKA1-8STN158	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 158	1,31E-06
&XKA1-8STN16	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/60----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN167	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 167	1,31E-06
&XKA1-8STN1678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 1678	7,49E-07
&XKA1-8STN168	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 168	1,31E-06
&XKA1-8STN17	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN178	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 178	1,31E-06
&XKA1-8STN18	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA10/80----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN23	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/30----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN234	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 234	1,31E-06
&XKA1-8STN2345	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2345	7,49E-07
&XKA1-8STN23456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23456	7,91E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN234567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 234567	1,01E-06
&XKA1-8STN2345678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 7v8 ----- startet nicht 2345678	2,26E-06
&XKA1-8STN234568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 234568	1,01E-06
&XKA1-8STN23457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23457	7,91E-07
&XKA1-8STN234578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 234578	1,01E-06
&XKA1-8STN23458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23458	7,91E-07
&XKA1-8STN2346	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2346	7,49E-07
&XKA1-8STN23467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23467	7,91E-07
&XKA1-8STN234678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 234678	1,01E-06
&XKA1-8STN23468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23468	7,91E-07
&XKA1-8STN2347	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2347	7,49E-07
&XKA1-8STN23478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23478	7,91E-07
&XKA1-8STN2348	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2348	7,49E-07
&XKA1-8STN235	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 235	1,31E-06
&XKA1-8STN2356	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2356	7,49E-07
&XKA1-8STN23567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23567	7,91E-07
&XKA1-8STN235678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 235678	1,01E-06
&XKA1-8STN23568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23568	7,91E-07
&XKA1-8STN2357	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2357	7,49E-07
&XKA1-8STN23578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23578	7,91E-07
&XKA1-8STN2358	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2358	7,49E-07
&XKA1-8STN236	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 236	1,31E-06
&XKA1-8STN2367	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2367	7,49E-07
&XKA1-8STN23678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 23678	7,91E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungs- wert
&XKA1-8STN2368	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2368	7,49E-07
&XKA1-8STN237	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 237	1,31E-06
&XKA1-8STN2378	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2378	7,49E-07
&XKA1-8STN238	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 238	1,31E-06
&XKA1-8STN24	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/40----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN245	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 245	1,31E-06
&XKA1-8STN2456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2456	7,49E-07
&XKA1-8STN24567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 24567	7,91E-07
&XKA1-8STN245678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 245678	1,01E-06
&XKA1-8STN24568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 24568	7,91E-07
&XKA1-8STN2457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2457	7,49E-07
&XKA1-8STN24578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 24578	7,91E-07
&XKA1-8STN2458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2458	7,49E-07
&XKA1-8STN246	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 246	1,31E-06
&XKA1-8STN2467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2467	7,49E-07
&XKA1-8STN24678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 24678	7,91E-07
&XKA1-8STN2468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2468	7,49E-07
&XKA1-8STN247	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 247	1,31E-06
&XKA1-8STN2478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2478	7,49E-07
&XKA1-8STN248	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 248	1,31E-06
&XKA1-8STN25	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/50----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN256	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 256	1,31E-06
&XKA1-8STN2567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2567	7,49E-07
&XKA1-8STN25678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 25678	7,91E-07
&XKA1-8STN2568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2568	7,49E-07
&XKA1-8STN257	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 257	1,31E-06
&XKA1-8STN2578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2578	7,49E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN258	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 258	1,31E-06
&XKA1-8STN26	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/60----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN267	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 267	1,31E-06
&XKA1-8STN2678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 2678	7,49E-07
&XKA1-8STN268	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 268	1,31E-06
&XKA1-8STN27	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN278	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 278	1,31E-06
&XKA1-8STN28	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA20/80----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN34	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA30/40----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN345	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 345	1,31E-06
&XKA1-8STN3456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3456	7,49E-07
&XKA1-8STN34567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 34567	7,91E-07
&XKA1-8STN345678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 6v8 ----- startet nicht 345678	1,01E-06
&XKA1-8STN34568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 34568	7,91E-07
&XKA1-8STN3457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3457	7,49E-07
&XKA1-8STN34578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 34578	7,91E-07
&XKA1-8STN3458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3458	7,49E-07
&XKA1-8STN346	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 346	1,31E-06
&XKA1-8STN3467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3467	7,49E-07
&XKA1-8STN34678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 34678	7,91E-07
&XKA1-8STN3468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3468	7,49E-07
&XKA1-8STN347	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 347	1,31E-06
&XKA1-8STN3478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3478	7,49E-07
&XKA1-8STN348	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 348	1,31E-06
&XKA1-8STN35	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA30/50----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN356	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 356	1,31E-06
&XKA1-8STN3567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3567	7,49E-07

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN35678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 35678	7,91E-07
&XKA1-8STN3568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3568	7,49E-07
&XKA1-8STN357	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 357	1,31E-06
&XKA1-8STN3578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3578	7,49E-07
&XKA1-8STN358	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 358	1,31E-06
&XKA1-8STN36	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA30/60----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN367	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 367	1,31E-06
&XKA1-8STN3678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 3678	7,49E-07
&XKA1-8STN368	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 368	1,31E-06
&XKA1-8STN37	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA30/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN378	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 378	1,31E-06
&XKA1-8STN38	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA30/80----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN45	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA40/50----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN456	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 456	1,31E-06
&XKA1-8STN4567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 4567	7,49E-07
&XKA1-8STN45678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 5v8 ----- startet nicht 45678	7,91E-07
&XKA1-8STN4568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 4568	7,49E-07
&XKA1-8STN457	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 457	1,31E-06
&XKA1-8STN4578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 4578	7,49E-07
&XKA1-8STN458	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 458	1,31E-06
&XKA1-8STN46	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA40/60----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN467	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 467	1,31E-06
&XKA1-8STN4678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 4678	7,49E-07
&XKA1-8STN468	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 468	1,31E-06
&XKA1-8STN47	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA40/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN478	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 478	1,31E-06
&XKA1-8STN48	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA40/80----- startet nicht	2,65E-06

Basisereignis	Beschreibung	Erwartungswert
&XKA1-8STN56	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA50/60----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN567	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 567	1,31E-06
&XKA1-8STN5678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 4v8 ----- startet nicht 5678	7,49E-07
&XKA1-8STN568	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 568	1,31E-06
&XKA1-8STN57	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA50/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN578	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 578	1,31E-06
&XKA1-8STN58	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA50/80----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN67	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA60/70----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN678	GVA D1/D2 Notstromaggr. 3v8 ----- startet nicht 678	1,31E-06
&XKA1-8STN68	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA60/80----- startet nicht	2,65E-06
&XKA1-8STN78	GVA D1/D2 Notstromaggr. XKA70/80----- startet nicht	2,65E-06

B Beschreibung der identifizierten komponentengruppen- übergreifenden GVA-Phänomene

Es folgt eine Auflistung aller gefundenen GVA-Ereignisse, die grundsätzlich übergreifende Effekte aufweisen. Dabei wird insbesondere der Schädigungsgrad der einzelnen Komponenten nicht detailliert bewertet, sondern nur qualitativ der Schädigungsmechanismus beschrieben.

Zur einfacheren Referenz wird jedes gefundene Ereignis mit einem Kürzel versehen. Das Kürzel setzt sich aus drei Buchstaben, die die betroffene Komponente oder Teilkomponente kennzeichnen und einer laufenden Nummer zusammen. .

B.1 Motorbetätigte Armaturen und Rückschlagarmaturen

Absperrklappen

AAK1:

Falsche Vorgaben in den Stromlaufplänen führten dazu, dass zwei GBA-Absperrklappen entgegen den Herstelleranweisungen in 'ZU'-Richtung per Wegend statt per Drehmoment abgeschaltet werden. Dadurch war nicht sichergestellt bzw. nur durch serielle Klappen sichergestellt, dass die Klappen im Anforderungsfall dicht schließen. Die Verdrahtung der Antriebssteuerkarten wurde daraufhin so geändert, dass die betroffenen Antriebe per Drehmoment abgeschaltet werden. Die beiden betroffenen Armaturen gehören zu verschiedenen GBA-Armaturengruppen.

Absperrschieber

AAS1:

Die GBA-Absperrschieber des Beckenreinigungssystems wurden bei Freischaltungen üblicherweise per Hand nachgedreht, um einen dichten Sitz zu erreichen. Dabei wurde per Hand ein so hohes Drehmoment aufgebracht, dass es zu Schäden (Abrieb) an der Spindelmutter kam. Die Armaturen gingen dann beim Verfahren in Störung. Der GVA ist komponentengruppenübergreifend, da die GBA-Armaturen zweier verschiedener Leitungen betroffen waren, der Einspeise- und der Entnahmeleitung des Beckenreinigungssystems. Für das Beckenreinigungssystem werden normalerweise keine übergreifenden Ausfälle unterstellt. Die Gleichzeitigkeit der Ausfälle ist allerdings reduziert,

da zwischen den Ausfällen in den beiden Leitungen vier Monate lagen, wobei der Schadensmechanismus nach Experteneinschätzung aber so langsam ist, dass bereits zum Zeitpunkt des ersten Ausfalls nicht erkannte Vorschädigungen der Armaturen in der zweiten auffälligen Leitung vorhanden gewesen sein mussten.

AAS2:

Ungünstig positionierte Schmiernippel (Stutzen zur Versorgung eines Lagers mit Schmiermittel) verhinderten in Gehäusen der Stirnradgetriebe der Speisewasserabsperrschieber eine vollständige Schmierfettfüllung, die auf Grund der Einbaulage zur Schmierung des oben liegenden Gleitlagers des Getriebes aber notwendig gewesen wäre. Der Ausfall der Armaturen erfolgte dann durch Fressen am Lager. Daraufhin wurden konstruktive Änderungen an den Lagern der Getriebe durchgeführt. Der GVA ist übergreifend, da Aufbau und Positionierung der Getriebeschmierung neben den Speisewasserschieber auch bei den Schwachlast- und Vollastspisewasserschiebern gleichartig ausgeführt war. An ihnen wurden allerdings keine Schäden festgestellt.

AAS3:

Erhöhte Reibkräfte an Keilplatten der Absperrschieber des Prüfsystems des Not- und Nachkühlsystems führten sporadisch zur Drehmomentabschaltung vor Erreichen der Wegendlage 'ZU', wenn die Sicherheitseinspeisepumpe lief und daher ein erhöhter Differenzdruck anstand. Die Armaturen selbst waren geschlossen, lediglich das Endsignal wurde nicht gegeben. Es wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Reibkräfte zu senken bzw. eine Drehmoment-Abschaltung anderweitig zu verhindern (Einbau anderer Motoren mit höherem Drehmoment, Abschwächung der Federkräfte der Tellerfedern, Schleifungen im Bereich der Verdrehsicherung der Platten). Der GVA betraf jeweils die Absperrschieber, die das Funktionsprüfsystem gegen die heiß- und kaltseitigen Einspeiseleitungen des Not- und Nachkühlsystems absperren. Er ist nur übergreifend, wenn diese in unterschiedliche Komponentengruppen eingeteilt werden. Als betriebliches System wurden die Schieber bisher in der PSA nicht modelliert. Die Armaturen erfüllen außerdem ihre sicherheitstechnische Funktion trotz der verfrühten Motorabschaltung.

AAS4:

Nach einem Ereignis, bei dem es zur Einkopplung von Hochspannungsimpulsen in eine elektrische Redundanz kam, liefen bei der darauf folgenden Prüfung insgesamt drei Absperrschieber einer Redundanz im Nachkühlsystem (zwei seriell hintereinander zwischen Flutbehälter und Nachkühlpumpe, einer auf der Sumpfsaugleitung) nicht zu.

Ursächlich waren auf Grund der Hochspannungsimpulse durchlegierte Transistoren auf den Zeitgliedern der Ansteuerung. Die Zeitglieder wurden getauscht. Der GVA ist übergreifend, da die betroffenen Schieber nicht zueinander redundant sind.

Absperrventile

AAV1:

Ventile im Not- und Nachkühlsystem, die ohne selbsthemmendes Getriebe betrieben wurden, liefen nach dem Zufahren durch Kraftwirkung aus beim Zulaufen gespannten Tellerfedern wieder teilweise auf. Die Tellerfedern sollten eigentlich die Verschiebeschnecke wieder in die Nulllage schieben und waren außerdem für die Drehmomentabschaltung notwendig. Die Reibung zwischen Spindelmutter und Spindel verhindert beim Rücklauf ein versehentliches Öffnen der Armatur. Durch häufiges Verfahren der Ventile auf der Saugleitung des Not- und Nachkühlsystems aus dem Sicherheitsbehältersumpf und aus den Flutbehältern war der Reibbeiwert auf einen unzulässig niedrigen Wert gefallen. Es wurde beschlossen, die Spindeln bei entsprechendem Verschleiß zu tauschen und die Armatur statt per Drehmoment per Wegend abzuschalten. Anlagenspezifisch wurden auch weitergehende Maßnahmen ergriffen. Der GVA ist übergreifend, da die betroffenen Armaturen zu zwei unterschiedlichen Komponentengruppen gehören.

AAV2:

Bei der Befestigung von Sekundärkreis-Absperrarmaturen des Dampferzeuger-Abschlämmsystems kam ein ungeeignetes Halterungskonzept zum Einsatz. Dies führte zu einer unzulässigen Armaturenbelastung bei Wärmeausdehnung der DN-25-Rohrleitung. Die Folge war eine Verspannung des Armaturenkopfs, aus der eine Verformung der Ventilspindel resultierte, die ein unvollständiges Schließen der Armatur verursachen konnte. Die betroffenen Armaturen wurden ersetzt und die Halterung wurde konstruktiv geändert. Der GVA ist übergreifend, da nicht nur die unmittelbaren Absperrventile des Abschlämmsystems in Richtung Dampferzeuger sondern auch die zu diesen Ventilen in Reihe liegenden Ventile betroffen waren; dort war ein anderer, aber ähnlicher Ventiltyp verbaut. Für das Abschlämmsystem wurden bisher in PSA keine GVA unterstellt, das System hat zwar nur betriebliche Aufgaben, die Ventile werden aber im Rahmen eines Absperrsignals der DE-Abschlämmung vom Reaktorschutz angesteuert.

AAV3:

Weiches Teflon-Stopfbuchsmaterial extrudierte in Absperrarmaturen des DE-Probenentnahmesystems über den Spalt zwischen Spindel und Stopfbuchsdrücker ins Ventil und blockierte dort den Spindelweg. Dies verursachte bei Ansteuerung eine Abschaltung per Drehmoment. Es wurden stattdessen Packungsringe aus Graphit eingebaut. Der GVA ist übergreifend, weil die Maßnahmen an seriellen und redundanten Absperrarmaturen des DE-Probeentnahmesystems durchgeführt wurden, es war allerdings nur eine Armatur auffällig. Für das System wurden bislang keine GVA angenommen, es ist auch fraglich ob ein fehlerhaftes Offenbleiben die Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger beeinträchtigen kann. Im Falle einer Anforderung bei einem Dampferzeugerheizrohrleck als Sekundärabschluss wäre allerdings eine Aktivitätsverschleppung denkbar. Für das System wurden in PSA bisher keine GVA unterstellt.

AAV4:

Die Verschraubungen der Endstufen an der Verbindung der Antriebswellen mit der Armatur wurden an zwei Armaturen mit überhöhten Drehmomenten angezogen. Dadurch kam es zur Rissbildung an den Schrauben der Verbindung. Eine gebrochene Schraube alleine beeinträchtigte die Funktion der Armatur noch nicht. Betroffen waren eine Absperrarmatur des Sperrwasserkreises einer Hauptkühlmittelpumpe und eine Absperrarmatur im Volumenregelsystem hinter dem Leckwasserkühler. Die betroffenen Endstufen wurden ersetzt und die Schrauben mit den spezifizierten Drehmomenten angezogen. Der GVA ist übergreifend, da Armaturen in verschiedenen Systemen betroffen waren und der Armaturentyp auch in anderen Systemen zum Einsatz kommt, wobei dort keine Schäden an den Endstufen vorgefunden wurden.

AAV5:

Beim Verfahren eines der Absperrventile auf der FD-Anwärmleitung in 'AUF'-Richtung zur Durchführung einer Wirkleistungsmessung im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung (WKP), kam es zur Abschaltung des Antriebs über die Drehmomentauslösung. Als ursächlich für die Abschaltung erwies sich Schmierfettmangel, da der Schmiernippel in einem Bereich angebracht war, in dem das Fett nicht zum Spindelmutterlager gelangen konnte. Daraufhin wurden entsprechende Schmiernippel in der nächsten Revision in den betroffenen und vergleichbaren Armaturen nachgerüstet. Der GVA ist übergreifend, weil die Auslegungsschwäche neben den betroffenen Armaturen auch in zahlreichen anderen Armaturen vorhanden war. Auch motorbetätigte Armaturen anderen Typs und in anderen Systemen waren betroffen und wurden nachgerüstet. Es kam jedoch in keinem anderen Fall zu Ausfällen, da die Schmiermittelerneuerung im Rah-

men der Armatureninspektion für die Betriebsbelastungen scheinbar ausreichend waren.

AAV6:

Bei der monatlichen Prüfung des Gebäudeabschlusses schlossen insgesamt vier GBA-Absperrventile im Gasversorgungs- und Probenentnahmesystem nicht. Die Abschaltung der Armaturen erfolgte zum damaligen Zeitpunkt in 'ZU'-Richtung ausschließlich über eine Drehmomentabschaltung. Diese löste aus, bevor sich der Armaturenkegel von der Rücksitzdichtung lösen konnte. Daraufhin wurde eine wegabhängige Überbrückung der Drehmomentabschaltung für die ersten 10 % des Ventilspindelwegs eingebaut. Da die betroffenen Armaturen in unterschiedlichen Systemen verbaut sind, ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend. Für die betroffenen Systeme wurden bisher keine Zuverlässigkeitskenngrößen im Rahmen von PSAs berechnet.

AAV7:

Bei einer WKP und drei Tage später bei der Inbetriebnahme eines Stranges des Not- und Nachkühlsystems im Nachkühlbetrieb fuhren zwei motorbetätigte Absperrventile nicht auf. Bei den betroffenen Armaturen handelt es sich um Ventile in Anwärmlleitungen, die die kolbenbetätigten Rückschlagventile in der Saugleitung für den Nachkühlbetrieb und in der Einspeiseleitung für den BE-Beckenkühlbetrieb bypassen. Die Ventile öffneten nicht, da der Grenzwert der Drehmomentabschaltung erreicht wurde, bevor der Armaturenkegel aus seiner Ruhelage losbrechen konnte. Ursächlich hierfür war ein erhöhtes Losbrechmoment auf Grund eines zu hohen Abschaltdrehmoments beim vorherigen ZU-Fahren. Die Ventile waren zu hart in den Sitz gefahren worden. Das Abschaltdrehmoment für das Schließen der Armaturen wurde daraufhin verringert. Der GVA ist übergreifend, da die Ventile unterschiedliche verfahrenstechnische Aufgaben haben und daher nicht zueinander redundant sind.

Gebäudeabschlussarmaturen in der Lüftung

AGL1:

Beim Schließen von GBA-Absperrventilen im Lüftungssystem Reaktorgebäude Innenraum verdrehten sich abdichtende O-Ringe und verhinderten dadurch ein vollständig dichtes Schließen der Klappe. Die GBA-Funktion wurde trotzdem erfüllt, da die aufgetretene Leckage zwar größer als der im Rahmen der WKP spezifizierte Zielwert war, aber problemlos durch das Leckageabsaugsystem, das aus dem Raum zwischen den beiden Dichtringen der Ventile absaugt, eine Freisetzung hätte verhindert werden können.

nen. Die Dichtpartien wurden seitdem regelmäßig mit Fett geschmiert. Bei den Armaturen handelt es sich um Konvoi-spezifische Schnellschlussarmaturen. Der GVA ist übergreifend, da sowohl Armaturen in Zuluft- als auch in der Abluftleitung des Systems betroffen waren. Im Rahmen der GVA-Bewertung wurden diese als eine Komponentengruppe gesehen, sicherheitstechnisch betrachtet haben aber die GBA-Armaturen in beiden Leitungen unabhängig voneinander zu schließen.

AGL2:

Verformungen der Ventilsitze von magnetbetätigten Vorsteuerventilen in der Steuerluftversorgung führten zu verlängerten Schließzeiten an GBA-Armaturen der Ab- und Zuluft sowie der Spülluft der Anlagen- und Betriebsräume im Sicherheitsbehälter. Ursächlich dafür war erstens die hohe Anpresskraft, die die Dichtung aus Viton so stark in den Ventilsitz presste, dass Magnetanker und Gegenanker aneinander anlagen. Dies kann zu erhöhter Remanenz und dadurch zu erhöhten Öffnungszeiten führen. Zweitens verursachte die hohe Eigenerwärmung (Ruhestromprinzip) und die seltene Betätigung der Vorsteuerventile eine Unterbrechung des Schmierfilms der Spindel, so dass zwischen Spindel und Spindelabdichtung erhöhte Reibkräfte auftreten konnten. Daraufhin wurden andere Dichtungen eingebaut und der Prüfumfang der WKP um Schließzeitmessungen und die Ansteuerung einzelner Steuerventile erweitert. Der GVA ist übergreifend, da die GBA-Armaturen verschiedener Leitungen betroffen waren. Die Ansteuerung ist in der Spülluft anders, nämlich mit weniger Vorsteuerventilen, ausgeführt als in den anderen Lüftungsteilsystemen der nuklearen Lüftung.

AGL3:

Die Dichtschläuche in GBA-Armaturen der Zuluft und der Spülluft/Abluft des Ringraums versagten infolge von Alterung. Die Dichtschläuche hätten im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltung getauscht werden müssen. Das Versagen auf Grund mangelnder Stützwirkung war ein zu erwartender Alterungsmechanismus. Die Schläuche wurden ersetzt und die Wartungsvorschriften entsprechend erweitert. Der GVA ist übergreifend, da Armaturen in verschiedenen Leitungen betroffen waren.

AGL4:

Im Laufe eines Jahres kam es immer wieder zum verzögerten Schließen von GBA-Armaturen in der Lüftung des Reaktorgebäuderingraums und des Hilfsanlagengebäudes. Ursächlich waren Ausfälle der Magnetvorsteuerventile, die in der pneumatischen Ansteuerung der Klappen zum Einsatz kommen. Die Kondensatoren der Lufttrockner des Steuerluftsystems fielen jeweils aus, wodurch es zum Eintrag von Feuch-

tigkeit in das System kam. Dies bewirkte einen Alterungseffekt des Schmiermittels der Magnetanker, die dann mit der Führungshülse verklebten. Zunächst wurden die Kondensomaten instand gesetzt und die Magnetventile entwässert, später wurden die Vorsteuerventile gegen einen anderen Typ ausgetauscht und dabei auch grundsätzlich in höherer Redundanz ausgeführt. Der GVA ist übergreifend, da verschiedene GBA-Leitungen betroffen waren. Allerdings ist die Gleichzeitigkeit reduziert, da sich die Ausfälle bei monatlichen Tests auf ein Jahr verteilen. Zeitweise war aber auch mehr als ein Ventil im selben Prüfzyklus betroffen. Außerdem wurde in keinem Falle ein vollständiger Ausfall beobachtet, sondern lediglich die zulässige Schließzeit, zum Teil allerdings erheblich, überschritten.

AGL5:

Im Rahmen einer WKP wurden an drei verschiedenen nicht zueinander redundanten Lüftungsklappen im Notspeisegebäude erhöhte Leckraten festgestellt. Die Wegend-Schalter, die die Armaturen beim Schließen absteuerten, wiesen eine zu große Varianz im Auslösepunkt auf, so dass die Armaturen teilweise vor Erreichen einer ausreichend dichten Sitzposition abgesteuert wurden. Die Armaturen schlossen, die Dichtheitsanforderungen, z. B. für den Anforderungsfall 'EVA: Gasalarm' waren aber nicht erfüllt. Da die Armaturen nicht zueinander redundant waren, handelt es sich um einen komponentengruppenübergreifenden Ausfall.

Regelventile

ARV1:

Auf Grund von wasserstoffinduzierter interkristalliner Spannungsrisskorrosion an den Sicherungsringen eingeschraubter Deckel der Durchflussbegrenzungsregelventile und Durchflussregelventile des Notspeisesystems war die Verdrehsicherung der Deckel nicht mehr gegeben. Bei einem Lösen der Deckel kommt es zur Leckage, die Einspeisefähigkeit des Notspeisesystems ist dann nicht mehr gegeben. Im vorliegenden Fall waren allerdings alle Deckel noch an ihrem Platz. Die Verdrehsicherung wurde konstruktiv geändert. Der GVA ist komponentengruppenübergreifend, da sich die beiden Regelventile hintereinander im Strang befanden und unterschiedliche verfahrenstechnische Aufgaben hatten, folglich also nicht zueinander redundant sind.

ARV2:

Mehrfach trat erratisches Verhalten der Regelventile im Speisewasser- bzw. Notspeisewassersystem auf. Das Notspeisewassersystem der betroffenen Anlage speiste aus

dem Speisewasserbehälter in die Dampferzeuger und unterschied sich von dem Hauptspeisewasser dadurch, dass die Pumpen notstromgesichert waren. Als ursächlich erwiesen sich die Umkehrsteller der Regelventile, genauer formuliert die Schütze, die nicht für die auftretenden Leistungsbereiche ausgelegt waren und daher starke Abbrände aufwiesen. Der Hersteller der Schütze hatte die Leistung geändert ohne dabei die Typenbezeichnung zu ändern. Die Schütze wurden daraufhin getauscht. Das Ereignis ist übergreifend, da die Regelventile der Speise- und Notspeisepumpen in einer PSA als unterschiedliche Gruppen betrachtet würden (vgl. Abschnitt 4.2.9).

Rückschlagklappen

RSK1:

In den betroffenen Rückschlagklappen kam eine ungeeignete Sicherungsmethode der Gewindestifte durch Verkörnung, die zusätzlich teilweise auch mangelhaft ausgeführt wurde (Verkörnung falsch gesetzt, Verschraubung ohne Vorspannung), zum Einsatz. Dies führte zum sich Lösen und Herausdrehen der Gewindestifte der Verschraubung der Klappen. Dadurch wurde die Verdrehsicherung der Verschraubung aufgehoben, die sich folglich ihrerseits herausdrehen konnte, wodurch sich der Klappendeckel lösen würde. Betroffen waren Rückschlagklappen im Speisewassersystem druckseitig der Hauptspeisewasserpumpen und unmittelbar vor der Einspeisung in die Dampferzeuger. Die Verschraubung wird seitdem durch Schweißung gegen selbsttätiges Lösen gesichert. Die betroffenen Klappen haben verfahrenstechnisch unterschiedliche Aufgaben, daher ist der GVA übergreifend.

RSK2:

Im Rahmen einer WKP fiel eine verklemmte Rückschlagklappe auf. Ursächlich für das Klemmen war ein Geometriefehler im Lagerbereich (enger Toleranzbereich im Spiel zwischen Welle und Lagerbuchse unterschritten) bei zusätzlichen Schmutzablagerungen im Sitzbereich. Das Lagerspiel wurde daraufhin vergrößert, die Verschmutzungen entfernt. Von diesen Problemen waren grundsätzlich die Rückschlagklappen druckseitig der Notneben- und Nebenkühlwasserpumpen betroffen, es kam allerdings nur zu einem Ausfall, trotzdem ist das GVA-Phänomen komponentengruppenübergreifend.

RSK3:

Zu hohe dynamische Belastungen beim Öffnen und Schließen der Klappe führten an den Stellungsmessungen zweier Rückschlagklappen zum Bruch von Sicherungsstiften gegen das Verdrehen der Verschraubung des magnetischen Stellungsgebers. Da durch die Bruchstücke teilweise auch ein Schließen der Klappen verhindert wurde, war die Gesamtfunktion der Klappe gefährdet. Betroffen waren Klappen, die als Sekundärabsperrung des Primärkreises im zusätzlichen Sicherheitseinspeisesystem, im Sicherheitseinspeisesystem und im Nachkühlssystem zum Einsatz kamen. Die Verschraubung wurde daraufhin konstruktiv geändert. Der GVA ist systemübergreifend, die betroffenen Armaturen unterscheiden sich auch in der Nennweite.

Rückschlagventile**RSV1:**

Durch Schleichleckagen über Rückschlagventile vom Druckspeicher aus, bei zu geringer Druckdifferenz, kam es über die Gleitringdichtungen der Sicherheitseinspeisepumpe im Sperrwasserbehälter der Pumpe zum Ansprechen der Sicherheitsventile. Die Rückschlagventile wurden daraufhin konstruktiv geändert um ihre Sitzdichtigkeit zu erhöhen, zudem wurden Druckmessungen eingebaut, um einen entsprechenden Druckaufbau detektieren zu können. Betroffen waren mehrere, in Reihe angeordnete Rückschlagventile in einem HD-Einspeisestrang des Not- und Nachkühlsystems, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

RSV2:

Hohe Spindelkräfte auf Grund niedriger Reibung zwischen Spindel und Spindelmutter stauchten den Ventilkegelschaft im oberen Führungsbereich und führten damit zum Nichtschließen der aufziehbaren Rückschlagventile auf der Einspeiseleitung der Druckspeicher (heißseitig wie kaltseitig) auf Grund der dadurch dann erhöhten Reibung zwischen Kegel und Buchse. Dieser GVA trat in verschiedenen Anlagen auf, die ergriffenen Maßnahmen unterscheiden sich im Detail. Allgemein wurden konstruktive Änderungen durchgeführt, um ein Stauchen durch unterschrittene Reibbeiwerte zu verhindern. Betroffen waren die absperrbaren Rückschlagventile der Druckspeichereinspeiseleitung, diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer An- und Abstimmung und sind daher nicht als eine Komponentengruppe zu betrachten, folglich ist der GVA übergreifend.

RSV3:

Zwei Rückschlagventile im Volumenregelsystem schlossen innerhalb einer Woche bei WKP nicht dicht. Ursache waren jeweils Fremdkörper, die sich im Ventil verklemmt hatten (je einmal Bruchstücke einer Gewindestange und einer Ventilsfeder). Die Fremdkörper wurden entfernt. Betroffen war einmal das Rückschlagventil auf der Einspeiseleitung in Richtung Druckhalter und einmal eine GBA-Armatur im Ringraum. Der GVA ist übergreifend, da beide unterschiedliche verfahrenstechnische Aufgaben hatten. Die Gleichzeitigkeit ist allerdings reduziert, eine etwaige Existenz einer gemeinsamen übergreifenden Ursache war letztendlich nicht eindeutig zu klären. Beide Armaturen hatten unterschiedliche Nennweiten und voneinander abweichende Betriebsbedingungen.

RSV4:

Undichtigkeiten am Ventilsitz der Rückschlagventile führten zur Kavitation, wodurch weiteres Material abgetragen wird. Zusätzlich entstanden auf Grund der Temperaturwechselbeanspruchung Risse am Sitz. Der Materialabtrag fiel bei vorbeugenden Instandhaltungen auf, woraufhin die Armaturen getauscht und das Instandhaltungsintervall verkürzt wurde. Der betroffene Armaturentyp war im Zusatzboriersystem auf den Einspeiseleitungen in den Primärkreis und den Druckhalter vor der Aufspaltung der Einspeiseleitung in die beiden erwähnten Einspeisepfade und in den Einspeiseleitungen des Volumenregelsystems in den Primärkreis im Einsatz, wobei es nur an den Ventilen auf der Einspeiseleitung in den Primärkreis des Zusatzboriersystems Befunde gab. Die Dichtlinie der Armatur blieb in jedem Falle trotz des Abtrags erhalten. Der GVA ist system- und komponentengruppenübergreifend.

RSV5:

Im Rahmen einer WKP ließ sich ein motorbetätigt-absperbares Rückschlagventil auf der Einspeiseleitung des Not- und Nachkühlsystems in das heiße Bein des Primärkreises (Zweitabsperkung gegen den Primärkreis) nicht schließen, weil eine Phase der Stromversorgung fehlte. Ursächlich hierfür war ein hoher Übergangswiderstand an der zugehörigen Kontaktfeder des Leistungssteckers. Die Kupferschienen mit einer Breite von 3 mm wurden durch den Leistungsstecker mit einer wäscheklammerähnlichen Metallfeder mit einer Öffnung von 2,4 mm an der schmalsten Stelle kontaktiert. Dieser Abstand war bei dem auffälligen Stecker zu groß, so dass ein Wackelkontakt entstand. Da der Steckertyp im konventionellen Bereich betriebsbewährt war, bestand der Verdacht, dass im Vergleich zum konventionellen Bereich häufiges Ziehen z. B. im Rahmen von WKP den Verlust der Maßhaltigkeit mitverursacht oder fördert. Es wurden

daraufhin alle Einschübe des gleichen Typs (über 500) überprüft und dabei insgesamt drei weitere Defekte entdeckt, wobei bei 15 – 20 % der Einschübe noch nicht funktionsbeeinträchtigende Abweichungen feststellbar waren, die dann maßhaltig gebogen wurden. Später wurden die Einschübe ersetzt. Der GVA ist komponentengruppenübergreifend, da neben den Rückschlagventilen im Nachkühlsystem eine größere Anzahl von Armaturen in betrieblichen Systemen betroffen war.

Armaturenartübergreifende Ereignisse

AAÜ1:

Die Getriebegehäuse der Getriebe verschiedener, störfallfest ausgeführter Armaturen wiesen entweder statt der vorgesehenen Druckausgleichsschrauben Abschlusschrauben auf, oder die Druckausgleichsschrauben fehlten vollständig. Teilweise wurden auch verstopfte Kondensatablaufleitungen vorgefunden. Die genannten Phänomene können unter KMV-Bedingungen zu einem erhöhten Laufmoment des Antriebs oder längerfristig zu Korrosion führen. Fehlerhafte Drehmomentabschaltungen wurden zwar nicht beobachtet, waren aber nicht vollständig auszuschließen. Es wurde daraufhin der jeweils ordnungsgemäße Zustand der Druckausgleichseinrichtung hergestellt. Dieser Montagefehler war anlagen- und systemübergreifend an verschiedensten Armaturentypen und Systemen vorhanden und daher natürlich auch komponentengruppenübergreifend.

AAÜ2:

Aus Gründen des Arbeitsschutzes (Berührungsschutz) wurde an den Sekundärkreis-Absperrschiebern des DE-Abschlammesystems und den zu diesen Schiebern in Reihe liegenden Regelventilen, die Armaturenlaterne mit isoliert. Die Isolierung erhöhte die Temperaturbelastung an den geschmierten Gewinden der Spindelmutter. Das verwendete Schmierfett verkockte unter dem Temperatureinfluss. Nach Abkühlen der Armatur führte dies zum Fressen des Gewinderings zur Mitnahme des Bolzens der Stellungsanzeige und darüber zur Drehmomentabschaltung. Es wurden daraufhin die beschädigten Teile ausgebaut, ein anderes Schmierfett verwendet und die Isolierung durch einen andersartigen Berührungsschutz ersetzt. Der GVA ist übergreifend, da die genannten Maßnahmen für die Absperrarmaturen und die Regelventile erfolgten, Ausfälle wurden aber nur an den Absperrschiebern beobachtet. Im Rahmen der GVA-Bewertung wurden folglich auch nur die Absperrschieber bewertet. Das DE-Abschlammesystem wurde bislang in der PSA nicht mit GVA modelliert.

AAÜ3:

Eine undichte Rückschlagklappe des Hilfsdampfsystems führte zur mantelseitigen Beheizung der HD-Vorwärmer bei ansonsten auf 'Hot-Standby' abgefahrener Anlage bei drucklosen Dampferzeugern und geschlossenen Hauptspeisewasserschiebern. Beim testweisen Öffnen der Druckschieber der Hauptspeisewasserpumpen kam es dann zu Kondensationsschlägen. Die dabei entstehenden Schwingungen rissen die Motorantriebe zweier Schwachlastregelventile lose und setzten den Antrieb eines Absperrschiebers hinter einem Hauptlastregelventil in Störung (Kurzschluss im Anschlusskasten). Die Armaturen wurden instandgesetzt und die Prozeduren zur Wiederinbetriebnahme der HD-Vorwärmstrecke bzw. des Speisewassersystems wurden überarbeitet. Der GVA ist übergreifend, da Komponenten unterschiedlicher Art, die auch nicht redundant zueinander sind, betroffen waren.

AAÜ4:

Beim Einschweißen von neuen Armaturen wurden Rohrleitungen mit Formierpapier verschlossen. Nach Abschluss der Arbeiten wurde das Papier nicht ordnungsgemäß entfernt, die zu diesem Zweck eingeführte Wassermenge erwies sich als zu gering, um das Formierpapier vollständig aufzulösen. Vielmehr konnten sich breiartige Pfropfen bilden, die dann die Armaturen verstopften. Im Rahmen von Dichtheitsprüfungen an GBA-Armaturen wurde dies bemerkt. Daraufhin wurden die Formierpapierreste beseitigt und die QS-Anweisungen überarbeitet. Der GVA ist übergreifend, da GBA-Armaturen des H₂-Überwachungs- und Abbausystems (Absperrventile mit Betriebsmedium Gas) und Drosselventile des Probenentnahmesystems (Regelventile) betroffen waren. Diese unterscheiden sich in den Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur, Durchsatz, Betriebsmedium), Nennweite und Armaturenart. Der GVA ist systemübergreifend, als nicht diversitärer Aspekt zwischen den betroffenen Armaturen ist die zeitgleiche Wartung während einer Revision zu sehen. Die betroffenen Systeme werden normalerweise nicht in einer PSA der Stufe 1 betrachtet.

AAÜ5:

Bei dem Versuch, einen Not- und Nachkühlstrang während des Abfahrens der Anlage von der Betriebsweise Notkühlbereitschaft in die Betriebsweise Nachkühlbetrieb zu überführen, führten zwei Armaturen die Fahrbefehle nicht aus. Dabei handelte es sich erstens um ein auffahrbares Rückschlagventil auf der Einspeiseleitung in das heiße Bein des Primärkreises (Erstabspernung Primärkreis) und zweitens um ein motorbetätigtes Absperrventil auf der Ansteuerleitung des kolbenbetätigt-aufziehbaren Rückschlagventils in Sperrrichtung auf der Saugleitung für den Nachkühlbetrieb. Die

Fahrbefehle konnten auf Grund zweier defekter Vorrangbaugruppen nicht ausgeführt werden. Genauere Details zur Art des Defekts konnten zum Zeitpunkt der Datenerhebung nicht mehr ermittelt werden. Die Baugruppen wurden getauscht. Da die betroffenen Armaturen nicht zueinander redundant sind, ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

AAÜ6:

Ein absperbares Rückschlagventil auf der Einspeiseleitung der Druckspeicher sollte betrieblich abgesperrt werden. Dabei kam es zum Ansprechen der Drehmomentüberwachung. Bei Versuchen, über die Prüfanwahl den Reaktorschutzbefehl zum Schließen der Armatur zu erteilen, wurde festgestellt, dass sich die Armatur trotzdem nicht verfahren ließ. Auf Grund eines Planungsfehlers war die Vorrangbaugruppe derartig beschaltet, dass der Drehmoment-Schutzabschaltung Vorrang gegenüber Anforderungen aus dem Reaktorschutz zugebilligt worden war. Dadurch ist die Armatur bei Reaktorschutzanforderungen, in denen gleichzeitig das Drehmoment weit genug erhöht ist um den Aggregateschutz auszulösen, aber die Armatur noch nicht festsetzt, unverfügbar. Dieselbe Fehlbeschaltung lag außerdem bei den Regelventilen druckseitig der Notspeisepumpen vor, ohne dass es zu Ausfällen gekommen wäre. Daher ist der Ausfall komponentengruppen-, system- und komponentenartübergreifend. Er fiel bereits bei der IBS (Inbetriebsetzung) auf.

AAÜ7:

Im Rahmen von Umrüstmaßnahmen an Stellantrieben wurde während der IBS-Prüfungen festgestellt, dass an leistungsstärkeren Stellantrieben eine Hysterese zwischen Ansprechwert und Rücksetzwert des Schaltwerks der Drehmomentabschaltung besteht. Ursächlich waren zu harte Federpakete. Käme es beim Fahren der Armatur zu erhöhten Anfahr Drehmomenten, bestünde die Gefahr einer Abschaltung über Drehmoment. Konkret kam es nicht zu Fehlabschaltungen, die Sicherheitsreserven gegenüber Fehlabschaltung waren aber verhindert. Als Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheitsreserven wurde die Drehmomentabschaltung in 'AUF'-Richtung an den betroffenen Antrieben für die ersten 90 % des Weges überbrückt und die Federpakete angepasst. Betroffen waren Armaturen verschiedenster Systeme (Voraussetzungen Öffnen und Schließmoment mindestens 30 % auseinander, Einstellung am unteren Ende der Drehmomentskala und ungünstige Hysterese kombination), daher ist der GVA komponentengruppen-, system- und komponentenartübergreifend.

AAÜ8:

In der IBS-Phase fiel eine Armatur des Abwassersammelsystems per Überstromauslösung aus. Als ursächlich für die Auslösung erwies sich ein abgefallenes Mitnehmerplättchen zwischen Antriebswelle des Stellantriebs und dem Meldegetriebe des Wegendschalters. Die ursprünglich vorhandene Klebstoffverbindung hatte sich gelöst. Die Mitnehmerplättchen wurden daraufhin formschlüssig gesichert, diese Umrüstmaßnahme wurde an allen betroffenen Stellantrieben durchgeführt. Der Ausfall ist folglich komponentengruppen-, system- und komponentenartübergreifend.

B.2 Batterien

BAT1:

Aus den PVC-haltigen Separatoren zwischen den Platten löste sich im Laufe des Betriebs Chlor. Dies verursachte Korrosion an den positiven Platten, die dadurch an Volumen zunahm und dabei die Separatoren durchdrang. Daraufhin kam es zu Kurzschlüssen zwischen den Platten und damit zur Entladung der Zellen. Die geschädigten Zellen wurden getauscht und dabei andere Separatoren ohne PVC verwendet. Die Prüfintervalle wurden außerdem verkürzt. Betroffen waren Zellen der 24 V-Batterien im D2-Netz und in einem Fall auch im D1-Netz. Folglich ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

BAT2:

Im Rahmen einer WKP erreichte je eine Zelle einer 220 V- und 24 V-D1-Batterie ihre Sollspannung nicht. Während der Herstellung der Brücken der 24 V-Batteriezelle war Lötblei zwischen die Platten getropft, wodurch leitfähige Verbindungen durch den Separator entstanden und es zum Kurzschluss und dadurch zur Entladung kam. An der 220 V-Batterie wurden keine Schäden festgestellt. Es wurde vermutet, dass die für das auffällige Verhalten verantwortliche Kurzschlussverbindung durch Rüttelbewegungen im Rahmen des Transports zur Herstellerwerkstatt verloren gegangen war. Die Ausfallursache der 24 V-Batterie konnte für die 220 V-Batterie aber ausgeschlossen werden. Die defekten Zellen wurden getauscht. Der GVA ist übergreifend, da die betroffenen Batteriezellen auf unterschiedlichen Spannungsebenen Verwendung fanden. Allerdings ist eine Identifizierung der Ursache des übergreifenden Charakters unmöglich, da die genaue Ausfallursache der 220 V-Batteriezelle nicht ermittelt werden konnte.

BAT3:

Die Batteriezellen von verschiedenen Batterien des Notstromnetzes und des Notstandsnotstromnetzes wurden über Spannschrauben in ihren Gestellen verspannt. An mehreren Zellen wurden die Schrauben mit zu hohen Drehmomenten angezogen, so dass die Gestelle so stark mechanisch beansprucht wurden, wodurch sich Risse und in einem Fall eine Elektrolytleckage ergaben. Die Spannschrauben wurden daraufhin gelöst und mit dem korrekten Drehmoment neu angezogen. Da sowohl Batteriezellen des Notstrom- als auch des Notstandsnotstromnetzes betroffen waren, ist der GVA übergreifend. Die Schäden hatten allerdings in keinem Falle einen funktionseinschränkenden Umfang.

BAT4:

Bei der Batteriefertigung wurden Spezifikationen nicht eingehalten, so dass der Elektrolyt unzulässig stark durch Nitrate, Nickel, Chlor und organische Stoffe verunreinigt war. Dies hatte eine vorzeitige Alterung zur Folge, so dass die betroffenen 220 V-D1- und 24 V-D1-Batterien unerwartet früh Kapazitätsverluste zeigten. Diese wurden im Rahmen von WKP allerdings festgestellt, bevor zulässige Kapazitätsgrenzwerte unterschritten wurden. Die Batterien wurden dann entsprechend ihres Alterungszustandes früher getauscht, teilweise wurde die Prüffrequenz erhöht. Der GVA ist übergreifend, da Batterien verschiedener Spannungsebenen betroffen waren, allerdings ist die Gleichzeitigkeit der Ausfälle zu reduzieren, da der Schädigungseffekt der Abweichungen in der Fertigung nicht ein plötzliches Versagen, sondern eine schnellere Alterung war.

BAT5:

Im Rahmen der Batteriefertigung wurden die Bleiplatten versehentlich mit chloridhaltigem Brunnenwasser gewaschen. Dadurch kam es zu unzulässig hohen Chlorgehalten im Elektrolyt und zu nachlassenden Zellenspannungen durch Korrosion. Mehrere Zellen mussten im Laufe der Zeit ausgetauscht werden, bis schließlich ein grundsätzlicher Austausch aller Batterien redundanzweise beschlossen wurde. Betroffen waren Zellen in Batterien aller Komponentengruppen, diese wurden vorher über mehrere Jahre hinweg redundanzweise alterungsbedingt erneuert. Deshalb ist der GVA übergreifend, aber von reduzierter Gleichzeitigkeit.

BAT6:

Ungenügende Arbeitsplanung (drei Einspeisungen im Rahmen der geplanten Wartungsarbeiten gleichzeitig freigeschaltet) während der Revision und Personalfehl-

handlungen (letzte Einspeisung irrtümlich geöffnet) führen zur ungeplanten Freischaltung aller vier Batterien und Gleichrichter, die eine unterbrechungsfreie 24 V-DC-Schiene versorgen. Die fehlerhaften Freischaltungen wurden daraufhin rückgängig gemacht. Die betroffene Anlage hat eine Blockstützung anstatt eines D2-Netzes, es waren nur D1-Batterien betroffen, allerdings betraf der GVA auch gleichzeitig Gleichrichter, er ist also komponentenartübergreifend.

B.3 Brandschutzeinrichtungen

Brände werden im Rahmen einer Brand-PSA berücksichtigt, dabei könnten dann prinzipiell auch GVA von Brandschutzeinrichtungen unterstellt werden. In der Praxis wurden in Brand-PSA bisher keine GVA an aktiven Brandschutzeinrichtungen unterstellt, folglich gibt es auch keine etablierte Methode zur Bildung von Komponentengruppen. Die üblichen Regeln zur Bildung von Komponentengruppen für verfahrenstechnische Systeme können nicht angewendet werden, da die einzelnen Komponenten der Brandschutzeinrichtungen nicht redundant aufgebaut sind. So sind beispielweise Feuer-schutzabschlüsse (z. B. Brandschutzklappen) zwischen zwei Räumen nicht mehrfach ausgeführt. Da dabei allerdings häufig ähnliche Komponenten zum Einsatz kommen (z. B. derselbe Typ von Brandschutzklappe in einem oder mehreren Gebäuden), sind gemeinsam verursachte Ausfälle möglich und wurden auch beobachtet. Ein Einfluss auf den Brandverlauf ist dabei grundsätzlich nicht auszuschließen (da z. B. die Sauerstoffzufuhr von der Anzahl an fehlerhaft offen gebliebenen Brandschutzklappen abhängt). Beobachtet wurden gemeinsam verursachte Ausfälle an Brandschutzklappen und Feuerlöschventilen. Ursächlich für die gemeinsam verursachten Ausfälle an Brandschutzklappen waren u. a.:

- Schwergängigkeiten durch ungenügende Schmierung,
- Schwergängigkeiten durch Korrosion,
- Verlust der Bewegungsübertragung auf Grund von Korrosion an Bauteilen (Betrifft nur die Fernauslösung),
- unterdimensionierte Schließfedern (verschiedene Ereignisse für Schmelzlotauslösung und Fernauslösung),
- Verkleben der Vergussmasse mit der Magnetspindel oder Verkleben durch schnelle Alterung des Schmierfetts, in beiden Fällen verursacht durch thermische Einwirkung,

- Verkleben durch übermäßigen Einsatz von Bindemittel an Schleifringdichtungen,
- Verkleben der Pressluftsteuerventile durch Öl und Staub (nur Schmelzlotauslösung),
- Verschmutzung der Klappensitzfläche,
- mechanische Blockade der Auslösung durch Herstellungsfehler oder Montagefehler (verschiedene Ereignisse für Schmelzlotauslösung und Fernauslösung),
- Ausfall der Energieversorgung durch fehlerhafte Wartungsarbeiten an der Schiene (nur Fernauslösung).

An den Feuerlöschventilen wurden gemeinsam verursachte Ausfälle auf Grund von Schwergängigkeiten durch Kalkablagerungen und Ausfälle durch systematische Herstellungsfehler beobachtet.

Da man bei diesen Komponentenarten auf Grund des Systemaufbaus nicht von komponentengruppenübergreifenden Ausfällen sprechen kann, werden sie im Folgenden nicht weiter betrachtet. Eine Ausnahme diesbezüglich sind die Gebäudeeintrittsschieber des Löschwassersystems, da in diesem Bereich zwei parallele Stränge vorhanden sind, so dass die übliche Methodik zur Bestimmung von Komponentengruppen von verfahrenstechnischen Systemen angewendet werden kann:

ASL1:

Die Gebäudeeintrittsschieber des Notspeisegebäudes, des Notstromerzeugergebäudes und des Ringraums im Feuerlöschwassersystem öffneten bei wiederkehrenden Prüfungen in verschiedenen Anlagen nicht, das Abschaltmoment der Antriebe war zu niedrig eingestellt worden. Bei anstehendem Differenzdruck über dem Schieber wurde deshalb der Antrieb vor Losbrechen der Armatur wieder abgeschaltet. Entsprechende Ereignisse traten in verschiedenen Anlagen auf. Grundsätzlich war der Schädigungsmechanismus aber nicht auf alle deutschen Anlagen übertragbar, weil in einigen Anlagen Druckausgleichsleitungen vorhanden waren, die einen derartigen Druckaufbau verhinderten. Die Drehmomentabschaltung wurde daraufhin für die ersten 20 % des Weges überbrückt. Da jeweils alle Gebäudeeintrittsschieber betroffen waren, ist der GVA komponentengruppenübergreifend, wenn die Eintrittsschieber eines Gebäudes jeweils als eigene Gruppe modelliert werden würden.

B.4 Eigenmediumbetätigte Sicherheits- und Entlastungsventile

Druckabsicherung Primärkreis (Druckhalter-Armaturenstation)

Die Druckhalter-Armaturenstation besteht aus den Druckhalter-Sicherheitsventilen (DH-SiV), den Druckhalter-Abblaseventilen (DH-AV), den Druckhalter-Abblaseabsperrventilen (DH-AAV) und ihren jeweiligen Vorsteuerventilen (VSV). Im Gegensatz zu den unter Abschnitt B.1 betrachteten Armaturen handelt es sich hierbei um eigenmediumbetätigte Armaturen. An diesen Armaturengruppen wurde eine auffällige Häufung an komponentengruppenübergreifenden Ereignissen festgestellt, daher werden sie im folgenden Abschnitt als gesonderter Punkt behandelt.

DHS1:

Beim ersten Leistungsbetrieb nach dem Einbau zeigten fünf der sechs Vorsteuerventile der DH-SiV unzulässig hohe Leckagemengen, so dass die Anlage schließlich wieder abgefahren werden musste. Als ursächlich erwiesen sich Sitzundichtigkeiten in den Vorsteuerventilen auf Grund von thermischen Verwerfungen. Diese entstanden, da die Vorsteuerventile nicht vollständig isoliert waren und somit Temperaturgradienten über das VSV entstanden. Die Ventilsitzfläche ist bei diesem VSV-Typ sehr schmal, so dass derartige Verwerfungen nicht ausgeglichen werden können. Die Undichtigkeiten wuchsen dann durch Erosion schnell an. Auf Grund der Leckage strömte borhaltiger Kühlmitteldampf in das Hauptventil und kondensierte dort. Bei der Verdampfung des Kondensats blieben folglich Borablagerungen zurück, die einen korrosiven Angriff auf das austenitische Material ermöglichten und dadurch zu einer erhöhten Öffnungszeit im Rahmen einer anschließenden Prüfung (nicht bei Systemdruck) führten. Begünstigend wirkte sich dabei eine ungünstige Leitungsführung der Druckentnahmeleitungen (Leitungen, die Druckhalter und Vorsteuerventile verbinden) aus. Daraufhin wurden die Gehäuse der VSV gegen Modelle mit thermisch entkoppelten Sitzbuchsen getauscht, die keinerlei thermischen Verwerfungen unterliegen und mit externen Leckageabführleitungen ausgerüstet. Die Druckentnahmeleitungen wurden mit maximaler Steigung neu verlegt und mit einer Heizung ausgestattet, um mit beiden Maßnahmen eine Kondensatbildung zu verhindern bzw. den Einfluss auf die Stellzeiten der Ventile zu minimieren. Außerdem wurden je eine Druckmessung im oberen Kolbenraum der Hauptventile, eine Differenzdruckmessung zwischen Kolbenraum und Steuerraum und eine Oberflächentemperaturmessung der Gehäuse der VSV installiert mit denen Steuerventilleckagen detektierbar werden sollten. Der GVA ist übergreifend, weil gleichzeitig die VSV des DH-SiV und die DH-SiV selbst in ihrer Funktionsweise beeinträchtigt waren

und diese in den aktuellen PSAs der GRS als unterschiedliche Komponenten modelliert werden. Betrachtet eine PSA nur das DH-SiV als Ganzes einschließlich der VSV, so ist der GVA nicht übergreifend.

DHS2:

Auf Grund von nicht funktionierenden, zugesetzten Entwässerungsbohrungen der Hauptarmaturen fiel Kondensat in den Steuerleitungen zwischen VSV und Hauptventil an. Beim Auslösen des VSV im Rahmen der IBS ergaben sich dadurch Druckschläge in den Leitungen, die unter anderem den Rückschlagkegel im VSV beschädigten und den Auslegungsdruck der Leitungen überstiegen. Begünstigend wirkte sich der Entfall eines vorherig dämpfend wirkenden Kolbenrings am Kolben des Rückschlagventils des VSV auf Grund von Montageschwierigkeiten aus. Armaturen mit einem Dämpfungsring an dieser Stelle wiesen kein derartiges Verhalten auf. Abhilfeversuche über zusätzliche Entlastungsbohrungen erwiesen sich als nicht effektiv, da diese dazu neigten sich mit Magnetitablagerungen zuzusetzen. Auch in den Steuerleitungen des DH-AV konnte es zu Kondensatanfall kommen und auch hier konnte der Entlastungsvorgang die Leitungen unzulässig beanspruchen. Letztendlich wurde die Konstruktion der Steuerventile geändert und eine Variante der Rückschlagarmatur mit Kolbenring eingebaut. Außerdem wurden die Steuerleitungen gegen Leitungen mit einem höheren Auslegungsdruck getauscht und ihre Verlegung geändert, um Schwingungen entgegenzuwirken. Der GVA ist übergreifend, da hier gleichzeitig die VSV bzw. Steuerleitungen des DH-SiV und des DH-AV betroffen waren. Unabhängig davon, ob man die VSV als eigenständige Komponenten modelliert, ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend, da man DH-AV und DH-SiV nicht in einer Komponentengruppe modelliert. Schäden gleicher Herkunft wurden in einer weiteren Anlage festgestellt, diese befand sich bereits im Leistungsbetrieb.

DHS3:

Im Rahmen einer WKP öffnete ein DH-SiV gar nicht und eines, ebenso wie ein DH-AV, nur verzögert. Verursacht wurde dieses Verhalten durch eine ungünstige Materialkombination von Ventilkegel und Ventilsitz. Beide Materialien besaßen unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten, so dass sich im kalten Anlagenzustand während der Prüfung ein zusätzlicher Beitrag zur Reibung ergab und die notwendigen Stellkräfte dadurch erhöht waren bzw. nicht aufgebracht werden konnten. Begünstigend für den Ausfall wirkte sich eventuell ein Mitriss von im Rahmen der Montage ins Ventil eingetragenen Schmutzpartikeln aus, die die Oberflächen zusätzlich aufgeraut haben können. Es ist unklar, ob die Ventile bei Betriebsdruck und -temperatur ebenfalls

Schwergängigkeiten aufgewiesen hätten. Der GVA ist übergreifend, da beide Hauptventilarten betroffen waren.

DHS4:

Die Verwendung von chloridhaltigen Kühlschmiermitteln führt zu transkristalliner Spannungsrissskorrosion im Bereich der Aufkonzentrationszone durch Verdampfungsvorgänge in den Leckageleitungen der Vorsteuerarmaturen eines DH-SiV und eines DH-AV. Betroffen waren zweimal die Leckageleitungen der motorbetätigten Vorsteuerventile und einmal die Leckageleitung eines federbetätigten und magnetbelasteten Vorsteuerventils. Ein unterstellter Abriss der Leitungen hätte die Funktionsfähigkeit der Ventile grundsätzlich nicht beeinflusst, aber zu einem Dampfaustrag in die Anlagenräume geführt. Die Leitungen wurden durch Exemplare aus einem anderen Werkstoff ersetzt. Der GVA ist übergreifend, da er die VSV verschiedener Armaturen betrifft. Bemerkenswert ist einerseits, dass hier diversitäre VSV gleichzeitig betroffen waren, aber andererseits waren die betroffenen VSV im Sinne ihrer verfahrenstechnischen Aufgabe nicht ausgefallen.

DHS5:

Im Rahmen der ersten WKP nach Einbau einer neuen DH-Station wurde an den Handarmaturen zum Absperrern der VSV eine Schwergängigkeit festgestellt. Als ursächlich erwies sich die Verwendung eines für die dort auftretenden Temperaturbereiche ungeeigneten Schmierfetts. Es wurde daraufhin an dieser Stelle ein anderes, für die Temperaturen geeignetes Fett eingesetzt. Die motorbetätigten Vorsteuerventile (Bleed-Armaturen) der DH-SiV wurden mit dem gleichen Fett geschmiert, waren aber noch problemlos verfahrbar. Der GVA ist komponentengruppen- und komponentenartübergreifend, da Handventile und motorbetätigte Vorsteuerventile gleichzeitig betroffen waren. Allerdings wurden bei letzteren keine Ausfälle beobachtet. Die Handarmaturen werden in der PSA nicht eigenständig modelliert, Ausfälle können allerdings als Ausfälle der VSV mit berücksichtigt werden.

DHS6:

Beide magnetbetätigten VSV der DH-AV wiesen bei einer WKP unzulässig lange Schließzeiten auf. Der Grund hierfür war eine Verharzung von Schmierfett an den zugehörigen Leistungsschützen. Durch Oxydation und Abdampfen flüchtiger Bestandteile des Fetts hatten sich auf Schützanker und Spulenkörper viskose Beläge gebildet, die zur Schwergängigkeit führten. Die Schütze wurden daraufhin ausgetauscht. Der GVA ist übergreifend, da derselbe Schütztyp auch im Steuerstabantriebssystem und in der

Dieselanlage Verwendung fand. Dort gab es allerdings keine Auffälligkeiten. Da die dortigen Armaturen häufiger geschaltet werden, ist die Wahrscheinlichkeit, dass es an diesen Ventilen zum Verkleben kommt geringer. An den DH-Sicherheitsventilen wurde ein anderer Vorsteuerventiltyp verwendet, so dass diese explizit nicht von dem GVA betroffen waren.

DHS7:

Nach Umbauten an der DH-Armaturenstation wurde vor der Inbetriebnahme vom Armaturenhersteller bemerkt, dass es im Herstellerlabor bei der Bestimmung der Durchflusscharakteristik der neu eingebauten Ventile zu Messfehlern gekommen war und diese daher im Vergleich zum Solldurchsatz einen um 17 – 27 % erhöhten Nenn-durchsatz aufwiesen. Da gezeigt werden konnte, dass dadurch keine unzulässigen Belastungen in den Leitungen und Komponenten entstehen würden, wurde der Durchsatz der betroffenen Ventile erst in der nächsten Revision konstruktiv angepasst. Außerdem wurden herstellerseitig zusätzliche QS-Maßnahmen eingeführt. Betroffen waren die DH-SiV und die DH-AV, folglich ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

DHS8:

Auf Grund eines Verdrahtungsfehlers war die Motorabschaltung per Bimetallauslösung an mehreren Armaturen der DH-Station elektrisch unscharf geschaltet. Dadurch alleine ergeben sich für die Armaturen noch keine Einschränkungen der Verfügbarkeit, erst wenn wie im vorliegenden Ereignis die Drehmomentabschaltung durch einen unabhängigen Fehler ausfällt, wird der Antrieb der Armatur nach Verfahren nicht mehr ordnungsgemäß abgeschaltet. Der Antrieb der ausgefallenen Armatur musste getauscht werden. Die Abstuerung wurde an allen Armaturen, die den Verdrahtungsfehler aufwiesen, geändert. Betroffen waren die motorbetätigten Absperrventile der DH-AV auf den Hauptleitungen und motorbetätigte Absperrventile auf den Leitungen der magnetbetätigten VSV der DH-AV. Der GVA war folglich komponentengruppen-, komponentenart- und auch anlagenübergreifend, da er bei beiden Blöcken einer Doppelblock-Anlage vorlag.

DHS9:

Über eine Temperaturdifferenzmessung wurde vor einem DH-AV eine Wasserstoffgasansammlung detektiert (Kühlmittel kondensiert in diesem im Vergleich zum Druckhalter etwas kühleren Bereich, der im Kühlmittel gelöste Wasserstoff reichert sich dann an). Diese kam auf Grund einer unzureichenden Entgasung zustande. Daraufhin wurde die betroffene Armatur außer Betrieb genommen und die redundante Armatur

als Abblaseventil genutzt, mittelfristig wurde das Entgasungssystem geändert um derartige Gasansammlungen in Zukunft abführen zu können. Ein vergleichbarer Auslegungsfehler lag auch an dem anderen DH-AV und den DH-SiV vor, allerdings sind die Ventile darauf ausgelegt auch mit einem vorhandenen Wasserstoffpolster abzublasen. Der GVA ist daher komponentengruppenübergreifend, aber nur für die Funktion von Ventilen relevant, die eine entsprechende Auslegung nicht besitzen.

DHS10:

Nach Installation zusätzlicher Differenzdruckmessungen an den DH-SiV und DH-AV traten im Rahmen der folgenden Druckprüfung Leckagen an den Wirkdruckleitungen je eines DH-SiV und DH-AV auf. Als ursächlich erwies sich transkristalline Spannungsrisskorrosion verursacht durch Chloridverunreinigungen, die vermutlich durch die Verwendung von chloridhaltigem Schneidöl bei Anpassungsvorgängen an den Leitungen in der anlageninternen Werkstatt eingetragen wurden. Die Wirkdruckleitungen wurden daraufhin getauscht und es wurde beschlossen, zukünftig chloridfreie Schneidmittel zu verwenden. Die Funktionsfähigkeit der Armaturen war auch bei einem unterstellten Komplettabriss der Wirkdruckleitungen nicht unzulässig beeinflusst. Der GVA ist komponentengruppenübergreifend, da sowohl die DH-SiV als auch die DH-AV betroffen waren.

Druckabsicherung Sekundärkreis (Sicherheitsarmaturen Frischdampfsystem)

Bei der FSA-Station handelt es sich um den Armaturenblock der Druckabsicherung des Sekundärkreises in der Frischdampf- und Speisewasserarmaturenkammer. Er besteht in KWU-Druckwasserreaktoren ab der Vor-Konvoi-Baulinie (mit Ausnahme einer Vor-Konvoi-Anlage, bei der die entsprechenden Funktionen durch Einzelarmaturen realisiert werden) aus den Frischdampf-Absperrarmaturen, den FD-Abblase-Absperrventilen, den Absperrventilen der FD-Sicherheitsventile, den FD-Sicherheitsventilen selbst und den zugehörigen Vorsteuerventilen. Die genannten Hauptarmaturen sind alle eigenmediumbetätigt, die Vorsteuerventile magnet- oder motorbetätigt. Desweiteren befinden sich in der FSA-Station das Frischdampf-Abblaseregelventil und Absperrarmaturen auf den Anwärmleitungen der Frischdampfleitungen. Bei diesen Armaturen handelt es sich um motorbetätigte Armaturen. GVA Ereignisse an diesen werden daher in Abschnitt B.1 behandelt. Ältere Anlagen besitzen keine FSA-Station, an ihre Stelle tritt eine von Anlage zu Anlage unterschiedliche Anzahl an eigenmediumbetätigten Armaturen, deren verfahrenstechnische Aufgaben jeweils vergleichbar mit einer Armatur der FSA-Station sind. Bereits im Rahmen der

PSA /FRE 98/ und /HOL 01/ wurde an Vorsteuer- und Hauptventilen dieser Armaturenblöcke teilweise übergreifende GVA unterstellt, da bei der Auswertung der Betriebserfahrung entsprechende Ereignisse aufgefallen waren. Erwartungsgemäß stellte sich während der umfangreicheren Auswertungen im Rahmen dieses Projekts heraus, dass eine auffällige Häufung von übergreifenden GVA die Ventile der FSA-Station bzw. ihre Äquivalente in einer älteren Anlage betrifft.

FSA1:

Dieses Ereignis gehört zu einer Anlage ohne FSA-Station. Verschmutzungen im Bereich Hebel und Buchse zweier magnetbetätigter Vorsteuerventile verursachten eine Schwergängigkeit und verhinderten so während einer WKP die Schließung der zugehörigen Vorsteuerventile. Die Vorsteuerventile (nur in Nennweite unterschiedlich) gehörten einerseits zu einem großen Sicherheitsventil (die betroffene Anlage hat zwei soweit möglich diversitäre Sicherheitsventile pro Dampferzeuger mit unterschiedlichen Abblasekapazitäten) und andererseits zu einem Frischdampf-Absperrschieber (entspricht funktional in der Anlage der FD-Absperrarmatur). Als Abhilfemaßnahme wurden regelmäßige Reinigungen und zusätzliche Prüfungen der Vorsteuerventile auch während des Leistungsbetriebs eingeführt. Das Ereignis ist übergreifend, da die Vorsteuerventile verschiedener Armaturen gleichzeitig betroffen waren.

FSA2:

Dieses Ereignis gehört zu einer Anlage ohne FSA-Station. Korrosionsprodukte wurden bei einer WKP in den Steuerleitungen der Vorsteuerventile der FD-Sicherheitsventile entdeckt. In den Vorsteuerventilen wurden Kupferhydroxidbeläge aus der Korrosion der Kolbenringe festgestellt, darunter Muldenkorrosion. Zusätzlich wurden Verunreinigungen durch nickelhaltiges Schmiermittel gefunden. Ursächlich war die Anreicherung von korrosionsfördernden Stoffen (Sauerstoff, Ammoniak) in den Leitungen. Fünf der Vorsteuerventile waren schwergängig, es kam dadurch aber nicht zum Ausfall der Hauptarmaturen. Als Abhilfemaßnahmen wurde beschlossen, die Ventile beim Anfahren der Anlage einmal freizublasen, um so eine Anreicherung zu verhindern, die Prüffrequenz zu erhöhen und die ferritischen Kolbenringe durch Exemplare aus Stellite zu ersetzen. Außerdem wurde der Gebrauch von Schmiermitteln auf Sonderprüfungen beschränkt. Das Ereignis ist übergreifend, da der gleiche Ventiltyp auch bei den FD-Schiebern und den Stützdampfventilen zum Einsatz kommt, dort allerdings jeweils ohne Befund blieb.

FSA3:

Dieses Ereignis ereignete sich in einer Anlage ohne FSA-Station. An vier der acht motorbetätigten Vorsteuerventile der FD-Schieber (entsprechen in ihrer verfahrenstechnischen Bedeutung den FD-Absperrarmaturen) wurden die Stecker für die Energieversorgung und die Stellungsrückmeldung nebeneinander befindlicher Armaturen nach Montagearbeiten vertauscht. Die nicht passgenauen Steckernasen wurden dabei verbogen, die Armaturen waren dadurch nicht mehr verfahrbar. Daraufhin wurden Sperrstifte eingesetzt und nach Abschluss von Montagearbeiten Funktionsprüfungen verpflichtend eingeführt. Der Schiebertyp samt Vorsteuerventilen wurde später ausgetauscht und ist heute nicht mehr im Einsatz. Es ist im Nachhinein nicht mehr zu klären, ob die motorbetätigten Vorsteuerventile für das sicherheitstechnisch relevante oder lediglich für das betriebliche Verfahren der Armaturen eingesetzt wurden, vom Betreiber wird letzteres vermutet. Der GVA ist komponentengruppenübergreifend, da noch ein weiteres Vorsteuerventil betroffen war, bei welchem allerdings ein anderer, unbekannter Ventiltyp eingebaut war, dessen Kenndaten zum Zeitpunkt der Datenerhebung nicht mehr ermittelbar waren, da erstens das Ereignis zeitlich bereits sehr lange zurücklag und zweitens mittlerweile andere Armaturen nachgerüstet worden waren.

FSA4:

Bei zwei Ereignissen in unterschiedlichen Kraftwerken kam es bei magnetbetätigten Vorsteuerventilen, die im Ruhestromprinzip betrieben wurden, in Folge der Temperaturentwicklung durch die dauerhaft stromdurchflossene Spule zum Schrumpfen der Lagerbuchsen der Magnetanker aus Graphit-Glasfasermaterial. Dadurch kommt es zur Schwergängigkeit der Magnetanker, die dann alleine durch die Federkraft bei Prüfbedingungen nicht mehr öffnen können. Im Betrieb verursacht der Betriebsdruck des Mediums eine zusätzliche unterstützende Kraft, so dass die Ventile unter Betriebsdruck öffneten. Das Material der Ankerlager wurde daraufhin geändert. Das Ereignis ist übergreifend, da jeweils alle magnetbetätigten Vorsteuerventile im Ruhestromprinzip (in der FSA-Station normalerweise am Absperrventil des FD-SiV und am FD-SiV selbst im Einsatz) grundsätzlich betroffen waren, auch wenn in einem Fall nur diejenige ausfielen, die zusätzlich zur Eigenerwärmung von der Wärmeabstrahlung der Hauptarmatur auf Grund ihres Einbauorts besonders stark betroffen waren. In dem anderen Fall kam es überhaupt nicht zu Ausfällen, der grundlegende Schädigungsmechanismus war dennoch nachweisbar vorhanden.

FSA5:

Bei Inspektionen der magnetbetätigten Vorsteuerventile der FSA-Station in zwei unterschiedlichen Kraftwerken wurden in einem Falle insgesamt 22 angerissene und drei gebrochene Federn der Vorsteuerventile festgestellt, im anderen Falle 11 angerissene und 13 gebrochene Federn. Als ursächlich erwiesen sich ungünstig ausgeführte Entlastungsbohrungen über die beim Öffnen der Vorsteuerventile Dampf ausströmt und die Federn zu Schwingungen anregt (Feder weicht Strahl aus und schwingt später zurück), die dann zunächst zu Anrissen und zur Ablagerung von schwefelhaltigen Rückständen aus Schmiermitteln, die bei der Montage der Hauptarmaturen zum Einsatz kamen, führte. Durch interkristalline Spannungsrisskorrosion kam es zum Bruch der Federn. Die Federn dienen dazu, bei niedrigen Drücken im Frischdampfsystem die Ventile geschlossen zu halten. Die Sicherheitsfunktion im Leistungsbetrieb war folglich nicht betroffen. Die Entlastungsbohrungen wurden in der Folge anders angebracht, so dass der Dampfstrahl jetzt den Ventilteller anstrahlt, und die Federn wurden ausgetauscht. Der GVA ist übergreifend, da alle magnetbetätigten Vorsteuerventile der FSA-Station betroffen waren.

FSA6:

Im Rahmen der Inbetriebsetzung wurden in einer anderen Anlage Sitzleckagen an den Vorsteuerventilen der FSA-Station entdeckt, die vom Hersteller auf einen Korrosionsangriff (eventuell Spannungsrisskorrosion) an den Federn zurückgeführt wurden. Genauere Informationen über den Umfang der Schädigungen waren zum Zeitpunkt der GVA-Datenerhebung auf Grund des lange zurückliegenden Ereignisses nicht mehr in Erfahrung zu bringen. In der Folge wurden alle Federn aller Vorsteuerventilblöcke getauscht. Der GVA ist daher übergreifend.

FSA7:

Bei einer betrieblichen Transiente mit TUSA wurde der Ansprechdruck der Sekundärkreissicherheitsventile erreicht, es kam zur Reaktorschnellabschaltung mit Teilabfahren über die FSA-Station. Im Rahmen der Störungsanalyse stellte sich heraus, dass in einem Strang das Sicherheitsventil und das Absperrventil vor dem FD-Abblaseregelventil unerwartet nicht geöffnet hatten. Als ursächlich stellte sich heraus, dass im Rahmen eines Kurzstillstandes eine Rohrbodenreinigung aller Dampferzeugers durchgeführt wurde. Zu den dazu notwendigen Freischaltungen gehört es gemäß Betriebshandbuch (BHB), die Handabsperrentile aller Steuerleitungen der Vorsteuerventile des jeweiligen Stranges der FSA-Station zu schließen um den Abschluss des Sicherheitsbehälters zu gewährleisten. Mit den jeweiligen Freischaltungen waren un-

terschiedliche Schichten befasst. Bei drei Strängen wurde nach Beratung durch die jeweilig zuständige Schicht darauf verzichtet diese Freischaltung vorzunehmen. In einem vierten Strang beschloss die zuständige Schicht die Freischaltung durchzuführen. Dies wurde nach Abschluss der Arbeiten nicht ordnungsgemäß rückgängig gemacht, da die inbetriebsetzende Schicht zu denjenigen gehörte, die vorher auf entsprechende Freischaltungen verzichtet hatten und irrtümlich annahm, dies wäre von allen Schichten so gehandhabt worden. Die Funktionsprüfung der FSA-Station prüfte nur das einzelne korrekte Ansprechen der VSV und war daher nicht geeignet die Absperrung der Leitungen zu detektieren. Durch eine irrtümliche Fehlplatzierung von Armaturenschlüsseln (Sempellschließung) in den Schlüsselschränken (Revisionsschlüssel wurden auf die Plätze der normalen Schlüssel gehängt) blieben auch die auf der Warte fehlenden Schlüssel unbemerkt. Die Absperrungen wurden nach dem Ereignis geöffnet, die entsprechenden Freischoalt- und Prüfverfahren überarbeitet. Der GVA ist übergreifend, da alle Steuerleitungen der Vorsteuerventile eines Strangs gleichzeitig betroffen waren. Die Steuerleitungen selbst werden nicht modelliert, das Ereignis wird als Ausfall der Vorsteuerventile interpretiert.

FSA8:

Bei einer WKP öffnete ein magnetbetätigtes Vorsteuerventil eines Absperrventils vor dem FD-Sicherheitsventil nicht. Das Spiel zwischen Buchse und Welle des Magneten war derartig gering, dass sich der Elektromagnet beim Abfallen verklemmte. Bei einer Übertragbarkeitsprüfung wiesen insgesamt 18 der 48 eingebauten Ventile unzulässig niedrige Restspiele auf. Die Spielverringerng war auf Relaxations- und Oxidationsvorgänge in den aus graphitisierter Kupfer-Zinnbronze gefertigten Lagern zurückzuführen. Der Vorgang wird durch Temperaturbelastung deutlich beschleunigt, weshalb nur die im Ruhestromprinzip arbeitenden Vorsteuerventile betroffen waren. Die Magnete wurden daraufhin getauscht, wobei Ersatz mit einem anderen Lagerwerkstoff zum Einsatz kam. Der Ausfall ist komponentengruppenübergreifend, da alle Vorsteuerventile im Ruhestromprinzip betroffen waren.

B.5 Kreiselpumpen

KPA1:

Innerhalb von drei Wochen fielen je eine Sperrwasserpumpe und eine Deionatpumpe mit Schäden am Lagerkäfig des laufradseitigen Rillenkugellagers (verschiedene Hersteller) aus. Eine Ursache für die Schäden war nicht schlüssig feststellbar, folglich

konnten auch keine Maßnahmen, die über die Instandsetzung hinausgehen, abgeleitet werden. Die beiden Pumpen befinden sich nicht in einer gemeinsamen Komponentengruppe, obwohl sie aus den gleichen Wasservorräten saugen und ihre Systeme vergleichbare Auslegungsdaten (Druck, Temperatur) haben, da sie sich in Fördermenge und Leistung erheblich unterscheiden. Folglich ist der Ausfall übergreifend. Allerdings ist die Gleichzeitigkeit bedingt durch die drei Wochen zwischen den beiden Ereignissen verringert, da die Pumpen in dieser Zeit in Betrieb waren.

KPA2:

Im Rahmen von Prüfungen an den Kondensatpumpen fielen Beläge und ein ungewöhnlicher Geruch beim Öffnen des Messtechnikklemmkastens auf. Als ursächlich stellte sich interkristalline Spannungsrisskorrosion heraus. Zu dieser kam es, da der Glimmschutz (leitfähige Beschichtung auf der Isolierung der Motorenwicklung um kritische Feldstärken zu verhindern) gealtert war. Die folgenden Entladungen verursachten die Entstehung von Stickoxiden, die wiederum mit Kondenswasser aus der Kühlluft zu Salpetersäure reagierten. Der chemische Angriff in Verbindung mit den betrieblichen Zugbelastungen führte dann zu Spannungsrisskorrosion an den Motorgehäusen der Kondensatpumpen. Die gleichen Motoren fanden auch an den gesicherten Nebenkühlwasserpumpen Verwendung, daher ist der GVA system- und komponentengruppenübergreifend. Die Motoren wurden daraufhin getauscht. Betroffen waren nur bestimmte Fertigungsjahrgänge des Motors, zu Ausfällen kam es nicht. Da der Schädigungsprozess sehr langsam voranschreitet, ist die Gleichzeitigkeit eingeschränkt.

KPA3:

Während einer Anlagenbegehung wurde festgestellt, dass die Profilhülsen einer Nebenkühlwasserpumpe Schäden aufwiesen. Bei einer Übertragbarkeitsprüfung zeigten sich auch an einer anderen Nebenkühlwasserpumpe vergleichbare Risse in vertikaler Richtung. Dort, im Gegensatz zur auffälligen Pumpe; bei der alle Hülsen gerissen waren, allerdings nur an zwei von acht Hülsen. Zur Rissbildung kam es auf Grund mangelnder Maßhaltigkeit der Profilhülsen. Die Hülsen dienten als Dämpfungsglied zwischen den Verbindungsbolzen der Kupplung und der pumpenseitigen Kupplungshälfte. Sie waren auf den Bolzen aufgesteckt und durch die Verschraubung des Bolzens vorgespannt. Da die Hülsen für den vorgegebenen Einsatzort zu lang waren, wurden sie entsprechend stärker vorgespannt, was zusammen mit der normalerweise nicht gleichmäßigen Beanspruchung während des Betriebs eine Überbeanspruchung darstellte. Betroffen waren lediglich die Nebenkühlwasserpumpen, die auch betriebliche Verbraucher mitversorgten, da diese höhere Förderleistungen zu erbringen hatten, was

zu einer höheren Beanspruchung führte. Gleichartige Hülsen wurden auch für die HD-Förderpumpen des Volumenregelsystems verwendet. Daher ist der Ausfall komponentengruppen- und systemübergreifend. Allerdings ist das dortige Getriebe größer dimensioniert, was die spezifische Belastung verringert, so dass der Gutachter keine direkte Übertragbarkeit sieht. Des Weiteren ist nach Aussagen des Herstellers eine Kraftübertragung auch mit defekten Profilhülsen ohne weiteres möglich, so dass der vorliegende Schaden nicht zu Funktionsausfällen führt.

KPA4:

Bei Übertragbarkeitsprüfungen bezüglich eines Ereignisses in einer ausländischen Anlage wurde festgestellt, dass bei unterstellten Anforderungsfällen mit erhöhter Medientemperatur bei Ausfall der Lüftung im Reaktorgebäude sich an den Lagern der Nachkühl- und Brennelement (BE)-Beckenkühlpumpen das Schmieröl soweit erwärmen kann, dass ein erster Temperaturgrenzwert für die Absetzung einer Warnung erreicht werden kann. Zu einem Ansprechen des Aggregateschutzes kommt es bei Überlagerung mit ungünstigen sonstigen Randbedingungen (Umgebungstemperatur etc.), dies bleibt im Anforderungsfall allerdings ohne Wirkung, da Anforderungen aus dem Reaktorschutz Vorrang vor dieser Abschaltung haben. Daraufhin wurde ein anderer Schmieröltyp verwendet und der Grenzwert erhöht, mittelfristig erfolgte der Einbau eines neuen Lagers mit Ölkühler. Der GVA ist übergreifend, da die BE-Beckenkühlpumpen und die Not- und Nachkühlpumpen als zwei separate Komponentengruppen modelliert sind (siehe Abschnitt 4.2.1 und Abschnitt 4.2.6).

KPA5:

Im Rahmen einer WKP kam es zum Startversagen einer gesicherten Nebenkühlwasserpumpe, das allerdings nicht unmittelbar reproduzierbar war. Als Verursacher des Startversagens erwies sich der Leistungsschalter der Pumpe. Bei der Untersuchung fielen zu große Abstände der Schaltkontakte auf. Dies wurde vom Hersteller auf einen nachträglichen Setzungsvorgang des Kupfers zurückgeführt. Im Rahmen der Fertigung werden die Vakuumröhren auf ca. 800 °C erwärmt, dabei erweicht das Kupfer. Im Rahmen der Fertigungsprüfungen wurde der Schalter dann ca. 300-mal geschaltet. Dies war offenbar nicht genug, um durch Stauchvorgänge das Kupfer in eine dauerbeständige Form zu bringen. Durch die erhöhten Abstände der Schaltkontakte kam es sporadisch (eine von 84 Testschaltungen im Prüflabor) zum Prellen des Schalters und dadurch zum Nichtverklinken des Schaltmechanismus. Daraufhin wurden der betroffene Schalter instandgesetzt und alle Schalter des entsprechenden Typs überprüft, gegebenenfalls instandgesetzt und im Wartungsplan eine entsprechende Prüfung er-

gänzt. Diese systematische Schwachstelle im Herstellungsprozess lag bei allen Schaltern des Typs vor, allerdings kam es nur in einem Falle zu einem Schaltversagen. Bei anderen Schaltern wurden gemäß der Ereignisbewertung aber ebenfalls zu große Kontaktabstände festgestellt. Es wurde nicht genauer spezifiziert, wo diese Schalter im Einsatz waren, allerdings ist es unwahrscheinlich, dass es sich ausschließlich um die Leistungsschalter der redundanten gesicherten Nebenkühlwasserpumpen handelt, daher wird der Ausfall als komponentengruppenübergreifend betrachtet. Es ist jedoch zu beachten, dass auch der einzige Schalter, bei dem es zum Ausfall kam, dieses Schaltversagen nur sporadisch zeigt, so dass die Gleichzeitigkeit stark zu reduzieren ist.

KPA6:

Bei der vierwöchigen Funktionsprüfung der motorbetriebenen Notspeisepumpe, die in der betroffenen Anlage aus dem Speisewasserbehälter in die Dampferzeuger einspeist, kam es unmittelbar nach dem Start zum Ausfall der Pumpe, weil der Unterspannungsauslöser des Leistungsschalters der Pumpe ausgelöst hatte. Ursächlich für das fehlerhafte Auslösen war ein defekter Elektrolytkondensator im Verzögerungsgerät (im Wesentlichen ein RC-Glied, das normalerweise kurzzeitige Spannungsabfälle glättet) des Schalters. Daraufhin wurden die Kondensatoren an allen baugleichen Geräten getauscht. Da die motorbetriebene Notspeisepumpe in der betroffenen Anlage keine Redundanzen besitzt (bei der redundanten Pumpe handelt es sich um eine dampfgetriebene Turbopumpe) aber noch andere baugleiche Geräte existieren, muss es sich um einen komponentengruppenübergreifenden Ausfall handeln, es ist allerdings nicht zu klären, wie viele derartige Verzögerungsgeräte im Einsatz waren.

KPA7:

Eine Nebenkühlwasserpumpe fiel nach mehrstündigem Betrieb bei hoher Leistung per thermischer Schutzauslösung aus, ließ sich allerdings nach Quittierung der Meldung mit leicht verringerter Fördermenge weiterbetreiben. Es stellte sich heraus, dass die Nullpunktstellung des Erwärmungsanzeigers am Überstromrelais verstellt war, so dass der Überlastgrenzwert unterhalb der Nennleistung des Motors lag, wenn das Relais auf den Nennstrom des Motors eingestellt wurde. Dadurch kam es zur Fehlauflösung bei längerem Betrieb bei hoher Motorleistung. Eine Übertragbarkeitsprüfung ergab an fünf von 72 10 kV-Schaltern verstellte Nullpunkte. Die betroffenen Schalter wurden korrekt eingestellt, der Abschaltgrenzwert für die Motoren der Nebenkühlwasserpumpen wurde in Absprache mit dem Hersteller um 15 % erhöht und eine entsprechende Prüfung der Nullpunktstellungen eingeführt. Da die Anlage nur vier Nebenkühlwasserpumpen hat,

aber fünf Relais auffällig waren, muss der GVA zumindest komponenten-gruppenübergreifend sein.

KPA8:

Im Abstand von fünf Monaten waren zweimal Schalter des gleichen Typs auffällig. In einem Fall war die Verbindung des Motors zum Federspeicher auf Grund eines gebrochenen Bolzens (Torsionsbruch durch Verschleiß) nicht mehr vollständig vorhanden, so dass dieser nur zu einem Drittel gespannt wurde. Da erst ab der Rückmeldung der vollständigen Spannung des Federspeichers ein Zuschalten möglich ist, war der Schalter de facto ausgefallen. Im anderen Fall hatte die Transportklinke im Zahnrad-Aufziehmechanismus einen so großen Überhub, dass die Halteklinke nicht mehr einfallen konnte. In der Folge wurde der Aufziehvorgang nicht beendet. Auch hier war der Schalter nicht vollständig aufgezo-gen und hätte daher bei der nächsten Anforderung nicht geschaltet. Beide Fehler waren gemäß Herstelleraussagen auf einen fehlerhaft eingestellten Überhub der Transportklinke im Aufziehmechanismus der Kraftspeicherfeder zurückzuführen. Eine Kontrolle des Bolzens und der korrekten Einstellung des Überhubs wurden in die wiederkehrenden Prüfungen aufgenommen. Betroffen waren jeweils die Leistungsschalter einer Nachkühl- und einer nuklearen Zwischenkühlpumpe, daher ist das Ereignis komponentengruppenübergreifend. Da allerdings fünf Monate zwischen den Ereignissen liegen, innerhalb derer für jeden Schalter auch mindestens eine WKP liegt, ist die Gleichzeitigkeit stark eingeschränkt. Die Symptome weisen starke Ähnlichkeit mit denen aus dem Fall KPA9 auf.

KPA9:

Während der Prüfung eines Notstromdiesels kam es zum Einschaltversagen einer gesicherten Nebenkühlwasserpumpe. Im Rahmen des Prüfprogramms sollte die Pumpe zunächst zu, dann wieder ab und schließlich nochmals zuschalten. Durch ungenügenden Überlapp zwischen Transportklinke und Klinkenzahnrad konnte der Motor des Leistungsschalters nach dem ersten Einschalten die Kraftspeicherfedern des Leistungsschalters der Pumpe nicht mehr spannen, so dass der zweite Einschaltvorgang nicht mehr durchgeführt werden konnte. Der Klinkenantrieb des Schalters wurde daraufhin nachjustiert. Vier Monate später kam es zu einer weiteren analogen Auffälligkeit an einem Schalter dieses Typs, dann wurden alle Schalter des betroffenen Typs nachjustiert. Betroffen waren einmal ein Leistungsschalter einer gesicherten Nebenkühlwasserpumpe und einmal ein Leistungsschalter einer Zwischenkühlwasserpumpe, daher ist der GVA übergreifend. Da die Ausfälle allerdings vier Monate auseinander liegen, tritt ein Versagen bedingt durch diese Konstruktionsschwäche nur sehr sporadisch

auf, die Gleichzeitigkeit ist also eingeschränkt. Die Symptome weisen starke Ähnlichkeit mit denen aus dem Fall KPA8 auf.

KPA10:

Während einer WKP schaltete der Leistungsschalter einer Notspeisepumpe nicht, weil der Federspeicher nach dem vorherigen Schaltvorgang nicht gespannt worden war. Der Speicher war nicht gespannt worden, weil die Endschaltermeldung des Aufzugsmotors auf Grund eines Drahtbruchs an der Quetschverbindung nicht mehr korrekt weiterverarbeitet werden konnte. Als ursächlich für den Drahtbruch erwies sich eine ungünstig ausgeführte Steckerverbindung, die ohne Zugentlastung ausgeführt war, so dass Bewegungen des Federaufzugsmotors unmittelbar auf die Kerbverbindung zwischen Leiter und Steckverbinder einwirkten. Die Drahtführung in der Schalteransteuerung begünstigte die Schädigung. Daraufhin wurden die Steckverbindungen der Federaufzugsmotoren aller 10 kV-Schalter erneuert und dabei auf eine günstige Drahtführung geachtet sowie Stecker eingesetzt, die die Bewegungskräfte über die Isolation abtragen. Betroffen waren alle 10 kV-Schalter in der Anlage und auch im Nachbarblock, allerdings ist die Gleichzeitigkeit zu reduzieren, da der Fehler selbstmeldend ist und trotz des an allen Schaltern latent vorliegenden Fehlers und mehrjähriger Betriebsdauer der Anlage nur ein Ausfall beobachtet wurde. Der Schädigungsmechanismus ist also langsam voranschreitend und selbstmeldend.

KPA11:

Im Rahmen von Kabelverlegungsarbeiten wurde in einem geöffneten Kabelkanal entdeckt, dass sich auf Grund von Korrosion an den Halterungen die Kabelpritsche der Niederspannungsleitungen gelöst hatten und auf darunter liegenden 6 kV-Kabeln auflagern. Dabei wurde der äußere Kabelmantel beschädigt, der allerdings keine elektrische Funktion hat und nur dem Schutz gegen mechanische Einwirkungen diente. Die beschädigten Kabel wurden ersetzt oder mit Manschetten versehen, die anderen Redundanzen befundfrei kontrolliert. Außerdem wurde das Brandschutzkonzept überarbeitet und im Rahmen dessen eine Entwässerung der Kanäle eingebaut, da gleichzeitig auch Korrosion an den Niederspannungs- und Leittechnikabeln entdeckt wurde. Betroffen waren die Kabel der Sicherheitseinspeisepumpen, der Notspeisepumpen und der Nachkühlpumpen in jeweils einer Redundanz. Der GVA wäre also auch komponentengruppenübergreifend, wenn man ihn statt als Kabel- als Pumpenereignis betrachten würde. Allerdings war die Funktionsfähigkeit selbst noch nicht beeinflusst, da sich die Beschädigung auf den Kabelmantel beschränkte.

B.6 Leittechnik

Als Leittechnik im Rahmen dieser Auflistung werden Fehler betrachtet, die Baugruppen der Anregeeinheiten, also Baugruppen die jenseits der Vorrangbaugruppen in Richtung Reaktorschutz/Begrenzung etc. eingesetzt wurden, betrafen. Die restlichen Leittechnikkomponenten werden als Ereignis an der jeweiligen zugehörigen Komponente (Funktionseinheit) betrachtet.

Kondensatoren

KON1:

Auf einer Maximalwertauswahl-Baugruppe wurde ein Kondensator verbrannt vorgefunden. Dieser diente zur Spannungsglättung in der Energieversorgung der Baugruppe, diese Funktion wurde von einer in Reihe liegenden Baugruppe abgedeckt, weshalb keine Fehlfunktionen beobachtet wurden. Als ursächlich stellten sich während des Herstellungsprozesses eingetragene Verunreinigungen im keramischen Dielektrikum der Kondensatoren heraus durch die diese Halbleitercharakteristiken erhielten, was dann zur Überlastung des Kondensators durch den resultierenden Stromfluss führen konnte. Kondensatoren aus der betroffenen Charge wurden durch visuelle Prüfungen auf insgesamt neun der 350 Baugruppen dieses Typs entdeckt und zusammen mit durch eventuelle Überhitzung potentiell beschädigten Nachbarbaugruppen ersetzt. Der Ausfall ist nicht selbstmeldend.

KON2:

Auf Grund von optischen Auffälligkeiten an zwei Baugruppen wurden in einer Anlage die Kondensatoren der Grenzwertbaugruppen und Vergleichersbaugruppen eines Fabrikats optisch inspiziert. Dabei zeigten sich jeweils an mehreren Baugruppen gleichartige Auffälligkeiten. Ursache war ein Auskristallisieren des Elektrolyten von Elektrolytkondensatoren. Es wurden keine Ausfälle von Kondensatoren entdeckt, die theoretische Folge wären geringfügige Drifterscheinungen der Einstellwerte der Baugruppen ohne grundsätzliche Funktionsbeeinträchtigung. Die Anregekanäle der Reaktorschutzsignale wurden auf Funktionsfähigkeit kontrolliert, die Reaktorschutzbaugruppen in der nächsten Revision unter Verwendung eines anderen Kondensatortyps saniert. Das Ereignis war nicht selbstmeldend.

KON3:

Während des Leistungsbetriebs sprach in einer Anlage fehlerhaft eine Grenzwertmeldebaugruppe an. Bei Untersuchung der Baugruppe zeigte sich, dass aus einem Elektrolytkondensator auf der Baugruppe Elektrolyt (hier: Schwefelsäure) ausgetreten war, auf der Leiterplatte eine Leiterbahn zerstört und für einen leitenden Kontakt zwischen dieser Leiterbahn und dem Kondensatorgehäuse gesorgt hatte. In der Revision wurden alle Baugruppen dieses Typs überprüft und insgesamt an sechs weiteren Kondensatoren sowie zusätzlich an zwei Kondensomaten im Nachbarblock vergleichbare Elektrolytleckagen entdeckt, allerdings ohne die unmittelbare Folge einer Unverfügbarkeit der Baugruppe. Ursächlich für den Austritt war Lochfraßkorrosion im Bereich der Sicke bzw. der Drahtdurchführung durch die Ummantelung. Dabei handelt es sich um einen Alterungseffekt, die Kondensatoren hatten ihre Brauchbarkeitsdauer erreicht, die Lebensdauer nach Herstellerempfehlung war bereits deutlich überschritten. Folglich wurden die Kondensatoren alle getauscht. Der Kondensator diente der Spannungsstabilisierung der Ausgangssignale der Baugruppe, weswegen sich bei Unverfügbarkeit des Kondensators nicht unmittelbar Unverfügbarkeiten ergeben, allerdings ist beim Austritt von Elektrolytflüssigkeit die korrekte Funktion der Baugruppe durch Folgeschäden möglicherweise beeinflusst. Der Fehler war selbstmeldend.

KON4:

Während des Leistungsbetriebs kam es in einem Kraftwerk zu einem einkanaligen Ausfall der Frischdampf-Druckabfall-Rechenschaltung, das Ansprechen der Vergleicher wurde auf der Warte gemeldet. Der Ausgangswert der Rechenschaltung war auf Grund eines defekten Rampenerzeugers nach oben ausgefallen. Auf dem Rampenerzeuger war ein defekter Keramikkondensator mit fehlerhaftem Keramikmaterial verbaut. Daraufhin wurden alle betroffenen Kondensatoren getauscht. Der Ausfall war selbstmeldend.

Leisten/Steckkontakte**LSK1:**

Bei den leittechnischen Inbetriebsetzungsversuchen eines Kraftwerks wurde erkannt, dass an einer leittechnischen Baugruppe kein Masse-Potential anlag. Als Ursache stellten sich verbogene Kontaktfedern ('Wäscheklammer'-Federn) der zugehörigen Federleiste heraus. Die Siemens-Fertigungsnorm schreibt längere Kontaktstifte als die DIN-Norm vor um Fehlfunktionen beim Gerätewechsel zu verhindern. Das Stecken einer Karte mit Kontaktstiften nach Siemens-Norm deformierte die Federn der Leiste,

da der Hersteller zeitweise zusätzliche Noppen an den Kontaktfedern eingeführt hatte, durch die die Kontaktfedern bei Stiften nach Siemens-Norm weiter auseinander gedrückt wurden. Bei ungünstigen Toleranzpaarungen konnte daher nach einem Kartenaustausch kein Kontakt mehr zustande kommen, diese sollten bei den Inbetriebsetzungsprüfungen zuverlässig erkannt werden. Es wurde daraufhin an allen Federleisten des Herstellers geprüft, ob Noppen vorhanden waren und gegebenenfalls die Federleisten ausgetauscht. Es kam zu keinen Funktionsausfällen, da die Fehler bereits im Rahmen der Inbetriebsetzungsprüfung auffällig wurden. Insgesamt waren allerdings mehrere Anlagen betroffen.

LSK2:

Bei Montagearbeiten während der Inbetriebsetzung wurde in einem Kraftwerk ein lose sitzender Draht in einer Anschlussklemme der schrankinternen 24 V-Verbindungen in einem Leittechnikschrank erkannt. Dies stellte sich als systematischer Fehler heraus, bei dem in den Fertigungsstätten ungeeignete Werkzeuge beim Verpressen der Aderendhülsen der Verbindungen zum Einsatz kamen oder Abisolierung bzw. Aderendhülsen zu kurz dimensioniert waren. An anderen Kabelbäumen aus einer anderen Fertigungsstätte passten die verwendeten Kabeldurchmesser nicht zu dem für die Klemmen zulässigen Bereich. Hierdurch bestand die Möglichkeit, dass sich die Adern nach mehrmaliger Bewegung in der Aderendhülse lockern. Alle 630 Leittechnikschränke in Notstrom-, Notspeise- und Schaltanlagegebäude waren in mehreren Anlagen betroffen. Die entsprechenden Schränke wurden spannungslos geschaltet und die nicht sachgerecht ausgeführten Endhülsen wurden durch neue ersetzt und ordnungsgemäß verpresst. Es kam zu keinen Ausfällen, da die Abweichungen bereits während der Inbetriebsetzung entdeckt wurden und die entsprechenden Verbindungen zusätzlich doppelt ausgeführt sind.

LSK3:

Nach einem Brand in einer Anlage wurden die Elektronikschränke einer Scheibe mit einem Hochdruckreiniger gesäubert. Durch dieses ungeeignete Reinigungsverfahren löste sich die Zinnschicht der Zinnbronzewickelpfosten. Dies wurde bei den Inbetriebsetzungsprüfungen bemerkt, in Folge mussten insgesamt 12 Schränke der Reaktorleistungsregelung und -begrenzung, 14 Baugruppenträger in zwei weiteren Schränken und 220 Federleisten in sonstigen Schränken ausgetauscht werden. Es kam zu keinerlei Ausfällen, da der Schaden bei freigeschalteter Scheibe verursacht und im Rahmen der Inbetriebsetzung bereits entdeckt wurde.

LSK4:

Im Rahmen einer Prüfung wurden auf Entkopplungsbausteinen vereinzelt Kontaktprobleme festgestellt. Als ursächlich hierfür erwies sich ein Kontaktbelag, der aus der Herstellung stammt. Es wird daher vermutet, dass die Ablagerungen durch ein mit Flussmittel verunreinigtes Reinigungsbad beim Hersteller verursacht wurden (Herstellungsdatum ca. August 1987). Genauere Angaben waren nicht ermittelbar, da das Reinigungsbad täglich gewechselt wird. Diese Verunreinigungen können sich beim wiederholten Einstecken der Baugruppe aufschieben und so die Kontaktprobleme verursachen. Die Ablagerungen wurden unter Verwendung einer Spiritusreinigungslösung entfernt.

Analog-Trennwandler

ANT1:

In der betroffenen Anlage sind verschiedene Ausführungen eines Analog-Trennwandler-Typs verbaut. Von dieser Baugruppe gibt es insgesamt acht verschiedene Varianten, von denen sechs im Kraftwerk zum Einsatz kamen. Eine Unterscheidung der Ausführungen ist nur durch die im eingesetzten Zustand nicht sichtbare Bestellnummer möglich. Im Rahmen einer Überprüfung wurde festgestellt, dass 182 der 1000 eingesetzten Baugruppen nicht der vorgesehenen Variante entsprachen. Dieser Zustand bestand seit Errichtung der Anlage und ist vermutlich auf Verwechslungen durch das Montagepersonal entstanden. Die Baugruppen erfüllten ihre Aufgabe, den Signalpfad galvanisch zu entkoppeln und nachgeschaltete leitechnische Einrichtungen vor unzulässig hohen Spannungen zu schützen, im normalen Leistungsbetrieb ordnungsgemäß. Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass nach übergreifenden Einwirkungen (von innen oder außen) der Überspannungsschutz bei den falschen Kartentypen nicht mehr gegeben war. Betroffen war die autarke Leittechnik, nicht aber der Reaktorschutz, die Baugruppen wurden entsprechend der Dokumentation getauscht. Die Verwechslung war nicht selbstmeldend.

Relais

REL1:

Nach einer fehlerhaften RESA in einem Kraftwerk wurden als Ursache erhöhte Kontaktwiderstände auf Relaisbaugruppen ermittelt. Durch diese Kontaktwiderstände wurden die Impulsketten im dynamischen Teil des Reaktorschutzsystems unterbrochen und es kam zur Fehlauflösung der Reaktorschnellabschaltung. Die Beläge wurden von

aufgeklebten Etiketten auf den Relais verursacht. Auf Grund der Dauererregung der Relais herrschten auf der Relaisoberfläche relativ hohe Temperaturen, der Klebstoff verdampfte und schlug sich auf den kühleren Kontakten nieder, wo er den erhöhten Übergangswiderstand verursachte. Die Relais kamen in zwei Redundanzen auf den Relaisbaugruppen und in Zeitgliedern zum Einsatz. In der Folge wurden die Relais nicht weiter verwendet und gegen solche eines anderen Herstellers getauscht. Auch in einer anderen Anlage kam es zu Problemen mit diesem Relaisstyp, dabei wurde ein Reaktorschutzsignal ebenfalls wegen erhöhter Kontaktwiderstände nicht an die Komponente durchgegeben. Die Ausfälle waren nicht selbstmeldend.

REL2:

In einer Anlage gaben beim Prüfen zwei Zeitstufen keine Ausgangssignale ab. Sie waren gemäß den Meldeunterlagen 'fehlerhaft', genauere Informationen waren auf Grund des zum Zeitpunkt der Auswertung sehr lange zurückliegenden Ereignisses nicht mehr ermittelbar. Da es sich um dieselbe Anlage wie beim Fall REL1 handelt, besteht die Möglichkeit, dass ebenfalls Relais des gleichen Herstellers auffällig waren. Auf Grund des unklaren Fehlerbilds und der Tatsache, dass aus Diversitätsgründen zumindest bei REL1 in zwei Scheiben auch Relais eines anderen Herstellers zum Einsatz kamen, kann nicht mit Sicherheit ausgesagt werden, ob es sich um ein und dasselbe Phänomen handelt. Die Ausfälle waren nicht selbstmeldend.

REL3:

Im Rahmen einer WKP waren zwei Zeitstufen von insgesamt 58 verbauten Baugruppen dieses Typs auffällig. Die Leiterbahnfolie (flexible Druckschaltung) auf dem Sockel des Relais war verformt, die Lötstützpunkte waren teilweise gelöst, wodurch, sofern es dabei zur Unterbrechung der Leiterbahn kam, verzögerte Reaktorschutzsignale nicht hätten ausgeführt werden können. Die Temperaturbelastung während der Grenzbelastungsprüfungen der Baugruppen führte zu diesem frühzeitigen Alterungseffekt. Die Relaissockel mussten daraufhin ausgetauscht werden. Betroffen waren nur zwei Redundanzen, da in den anderen Zeitstufen Relais eines anderen Herstellers zum Einsatz kamen, die gedruckte Schaltungen besaßen. Die betroffenen Relais hatten allerdings verschiedene Funktionen, so dass der Ausfall trotzdem komponentengruppenübergreifend interpretiert werden kann. Die Ausfälle waren nicht selbstmeldend.

Energieversorgung

SPA1:

Die Energieversorgung einer Wandlerbaugruppe war unterbrochen, dies wurde automatisch auf der Warte gemeldet. Eine genauere Untersuchung ergab als Ursache einen defekten Flachschutzschalter mit einer gebrochenen Klinke in der vorgelagerten Absicherungsbaugruppe der Spannungsversorgung. Auf Grund redundanter Signale kam es nicht zu sicherheitstechnischen Unverfügbarkeiten, die defekte Baugruppe wurde getauscht. Zu dem Klinkenbruch kam es, weil im Herstellerwerk die Fertigungsbedingungen (Werkzeugtemperatur) für den thermoplastischen Formstoff nicht optimal gewählt waren. Die Herstellungsbedingungen wurden daraufhin optimiert und alle Flachschutzschalter getauscht. Diese Maßnahme erwies sich als nicht in allen Fällen ausreichend (siehe MEP2). Die gleiche Ausfallursache wird auch bei drei weiteren Ausfällen im Laufe des vorherigen Jahres vermutet. Die Gleichzeitigkeit ist somit bei diesem GVA eingeschränkt.

SPA2:

Im Rahmen von Prüfungen wurden die Reaktorschutzschränke redundanzweise nacheinander freigeschaltet und kontrolliert. Bei Freischaltung der zweiten Redundanz kam es zur Auslösung 'Frequenz auf Notstromschiene tief' 2v3 mit Start des Notstromdiesels, da der Frequenzmessumformer der ersten Redundanz nach Wiedereinschalten der Energieversorgung unbemerkt spannungslos geblieben war. Als ursächlich für den Ausfall des Frequenzmessumformers erwies sich die Spannungsversorgungsbaugruppe. Auf ihr kam ein integrierter Schaltkreis zum Einsatz, der den Spezifikationen hinsichtlich der erlaubten Eingangsspannungen an einem Eingang nicht genügte. Dadurch konnte es nach einer Abschaltung unter geeigneten Randbedingungen zu Betriebszuständen kommen, bei denen die Gesamtbaugruppe nicht wieder angelaufen wäre. Der Schaltkreis wurde auf den betroffenen Baugruppen getauscht und vom Hersteller nicht mehr verwendet. Der Schaltkreis war auf verschiedenen Baugruppentypen im Einsatz (alles Spannungsversorgungsbaugruppen, teilweise qualifiziert für den Einsatz im Reaktorschutz (R-Typ)), daher ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend.

Transistoren

TRA1:

Beim Starten eines Notstromdiesels im Rahmen einer WKP kam es wiederholt zur Auslösung von Reaktorschutzsignalen in einer elektrischen Nachbarredundanz (Ver-

fahren von Vorsteuerventilen des FD-Abblaseabsperrentils). Es stellte sich heraus, dass es durch den Dieselstart zu leichten Vibrationen am Elektronischrank der Nachbarredundanz kam. Dadurch kam es zu Kontaktproblemen an einem Transistor einer Speicherbaugruppe. Die Verbindung zwischen Kollektor und Basis des Transistors war bei Untersuchung im Labor getrennt. Es wird vermutet, dass diese bereits vorgeschädigt war, z. B. durch eine kalte Lötstelle, und sich durch die Vibrationen dann komplett löste. Die Auslösung von Reaktorschutzsignalen war die logische Folge des Transistordefekts. Der Auslösung der Signale war selbstmeldend, die eventuelle Vorschädigung, die zur ungenügenden Erschütterungsfestigkeit der Karte führte, nicht.

TRA2:

Während der Inbetriebnahme einer Anlage waren Störungen auf Grund von Fehlschaltungen an Transistoren auf Logikbaugruppen aufgetreten. Zur Sanierung dieser Fehler wurden die Transistoren mit Stycast (Epoxy-Kleber) behandelt. Diese Sanierung wurde wiederum teilweise fehlerhaft ausgeführt, so dass es abermals zu sporadischen Baugruppenstörungen, die zu Klasse-1-Meldungen führten, kam. Alle sanierten Logikbaugruppen wurden daraufhin getauscht. Die Ausfälle waren selbstmeldend.

Verdrahtung

VDH1:

Im Rahmen von Sichtkontrollen der I/U-Wandler zwischen Messumformer und Analogteil im Reaktorschutz während des Austauschs von Kondensatoren wurden in zwei Anlagen Haarrisse an den Lötstellen der Stiftheisten entdeckt. Zur Rissbildung kam es, da die Karten im Rahmen der jährlichen wiederkehrenden Prüfungen gezogen und wieder eingesteckt werden und dabei die Lötverbindungen einer unerwartet starken mechanischen Belastung ausgesetzt sind. Die betroffenen Lötstellen wurde nachgelötet und Lötstellen vergleichbarer Ausführung an anderer Stelle befundfrei geprüft. Es kam in keinem Fall zu Ausfällen, und es ist fraglich, ob der beschriebene Schädigungsmechanismus zu Ausfällen mit hoher Gleichzeitigkeit führen kann.

VDH2:

Nach einer fehlerhaften Ansteuerung eines 10 kV-Leistungsschalters wurde im Rahmen der Fehlersuche auf einer Diodenkarte ein Whisker zwischen zwei benachbarten Leiterbahnen als Fehlerursache ermittelt. Daraufhin wurden alle Diodenkarten dieses Typs überprüft und an insgesamt 17 von 1387 Baugruppen Whisker entdeckt, die allerdings nicht so gewachsen waren, dass sie die Funktion der Karten beeinträchtigten.

Dabei waren ausschließlich Karten der betrieblichen Leittechnik mit galvanisch mit Reinzinn verzinnten Kupferbahnen und einer Schutzlackschicht (in der Sicherheitsleittechnik: drei Schichten) betroffen. Begünstigt wurde das Whiskerwachstum durch mechanische Spannungen zwischen den Schichten. Karten eines späteren Baujahrs waren nicht mehr betroffen, da im Fertigungsprozess Abläufe geändert wurden, wodurch u. a. das Whiskerwachstum gehemmt werden sollte. Die gefundenen Whisker wurden beseitigt und die Leiterbahnen mit Zinn-Blei-Lot verzinnt und mit einer neuen Schutzlackierung versehen.

VDH3:

Auf Grund eines Herstellungs- oder Auslegungsfehlers waren die Lötverbindungen von Schutzbaugruppen in einer Anlage an zwei, in einer anderen an circa 30 % aller Baugruppen mangelhaft ausgeführt. Im Bereich der Hochlastwiderstände waren jeweils kalte Lötstellen zu finden, es kam allerdings nur bei einer Anlage tatsächlich zu Fehlauslösungen. Käme es dadurch zu einer Signalunterbrechung, wäre dies allerdings selbstmeldend. Im EVA-Fall könnte es auf Grund der mangelhaften Erschütterungsfestigkeit der kalten Lötstellen zu gleichzeitigen Ausfällen kommen, allerdings sind die Beschleunigungen, die am Prüfstand nötig waren um die Lötverbindungen zu trennen, um ein mehrfaches über den Anforderungen im EVA-Fall.

VDH4:

Ein digitaler Rechenbaustein (bestehend aus ca. 20 Karten auf einer Platine in einem Einschub) war im Reaktorschutz ausgefallen. Nach einem befundfreien Abgleich beim Hersteller und einer erfolgreich absolvierten Werksprüfung fiel er während der Eingangsprüfung im Kraftwerk abermals nach mehrtägigem Betrieb aus. Als ursächlich stellte sich ein Kurzschluss auf der Bus-Platine auf Grund eines Zinn-Whiskers heraus. Bei einem weiteren in Reparatur befindlichen Rechenbaustein wurde dieselbe Ausfallursache festgestellt. Die Bus-Platinen wurden gegen neue Platinen getauscht, bei denen auf Grund geänderter Fertigungsmethoden Whiskerwachstum weniger wahrscheinlich sein sollte, da die Leiterbahnen nicht verzinnt werden (Black-Oxyd-Verfahren). Ein Einzelausfall wäre selbstmeldend, ein Mehrfachausfall würde sofort Reaktorschutzeingriffe nach sich ziehen, ist aber auf Grund der zeitlichen Entwicklung des Schädigungsmechanismus unwahrscheinlich.

B.7 Messeinrichtungen

Als Messeinrichtungen werden im Folgenden die Messsonden selbst, sowie ihre Energieversorgung betrachtet. Im Falle von Druckmessungen und Messungen, die auf Druckmessungen basieren (Durchfluss, Füllstand) werden auch die Messrohrleitungen und die Handabsperrarmaturen der Messeinrichtung zugerechnet, da sie nicht explizit modelliert sind und Fehler an diesen Kleinstleitungen bzw. -Armaturen fehlerhaftes Messverhalten verursachen. Die I/U-Wandler gehören dagegen zum Abschnitt B.6 Leittechnik. Es wird unterschieden zwischen Druck-, Durchfluss- und Füllstandsmessungen, Neutronenfluss und Aktivitätsmessungen und Ausfällen, die verschiedene Messungen gleichzeitig betrafen.

Druck-, Durchfluss- und Füllstandsmessungen

MEP1:

Im Rahmen einer WKP wurde festgestellt, dass bei einem Druckmessumformer die Überdruckscheibe nicht mehr im Gehäuse vorhanden war. Diese dient dazu bei Leckagen an der Rohrfeder einen Druckausgleich zu schaffen. Im vorliegenden Fall war der Durchmesser der Scheibe ca. 0,1 mm zu klein, so dass es bereits durch ein Zusammenwirken der thermischen Expansion der eingeschlossenen Luft und der Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters (die Kabel werden auf Grund des leichten Überdrucks im SB zusammengedrückt, die eingeschlossene Luft strömt dann in das Gehäuse ab) zum Ausfall der Scheibe kam. Eine Übertragbarkeitsprüfung ergab an 13 der insgesamt 20 eingesetzten Umformer eine ungenügende Maßhaltigkeit der Überdruckscheiben, die entweder nicht mehr gasdicht oder komplett ausgefallen waren. Auch bei den Überdruckscheiben von Messumformern der Betriebsreserve fanden sich entsprechende Abweichungen. Durch die Ausfälle wäre in KMV-Atmosphäre ein dauerhafter störungsfreier Betrieb nicht mehr garantiert gewesen. Die Überdruckscheiben der betroffenen Messumformer wurden samt zugehörigen O-Ringen getauscht und eine Druckprüfung der Messumformer vorgenommen. Die Messumformer waren zur Messung des Primärkreisdrucks und des Frischdampfdrucks in Reaktorschutz und Störfallinstrumentierung eingesetzt, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

MEP2:

Durch den Bruch der Klinke eines Flachsutzschalters auf der Absicherungsbaugruppe fiel eine betriebliche Druckmessung des Druckhalters aus. Als ursächlich erwies sich eine erhöhte Temperaturbelastung auf Grund einer irrtümlich nach der Revision

nicht geöffneten Lüftung. Die Kunststoffklinke ist ein im Normalbetrieb mechanisch hoch beanspruchter Teil; die zusätzliche Belastung durch die erhöhte Betriebstemperatur führte dann zum Bruch. Da es in der Vergangenheit in nicht sicherheitstechnisch relevanten Systemen weitere Fälle mit gleicher Ausfallursache gab, wurde herstellerseitig auch unter Einbeziehung von Betriebserfahrung aus dem konventionellen Bereich beschlossen, zukünftig ein anderes Material für die Flachsutzschalter zu verwenden. Die betroffenen Schalter wurden getauscht. Betroffen davon waren die gleichen Betriebsmittel wie bei SPA1. Die Gleichzeitigkeit ist allerdings stark eingeschränkt, da die Ausfälle zeitlich auseinander lagen und Meldungen auf der Warte verursachen.

MEP3:

Bei einer wiederkehrenden Prüfung fiel eine zu hohe Füllstandsanzeige eines Kühlwasserausgleichsbehälters eines Notstromdieselmotors auf. Eine daraufhin vorgenommene optische Kontrolle vor Ort ergab als Ursache Risse in der Isolierung der Sondenstäbe. Durch eindringendes Wasser steigen die Kapazitätswerte und damit auch der Messwert der kapazitiven Messsonde. Ein ähnliches Schadensbild wurde an insgesamt fünf der 24 verbauten Sonden festgestellt. Die Risse entstanden in Folge einer Vorschädigung (Inhomogenitäten) des Isolationsmaterials (PTFE). Im Rahmen des Fertigungsprozesses entstanden dadurch Längsriefen im Isolierschlauch der Messsonde, die eine stark verminderte Reißdehnung zur Folge hatten. Im Rahmen der betrieblichen Belastung konnte es daher zur Rissbildung kommen. Betroffen war nur eine Charge des Herstellers. Die betroffenen Sonden wurden getauscht. Ein Ausfall kann hier konstruktionsbedingt nur nach oben erfolgen (hohe Kapazität entspricht hohem Füllstand), eine Fehlabschaltung kann daher nicht verursacht werden. Allenfalls kann bei niedrigem Füllstand eine Warnung nicht ordnungsgemäß abgesetzt werden, so dass es dann über Temperaturkriterien zu einer berechtigten Abschaltung kommt. Da sowohl Messsonden der Notstrom- als auch der Notspeisenotstromdiesel betroffen waren, ist der GVA komponentengruppenübergreifend. In der Ereignisbeschreibung ist von weiteren Sonden in anderen Bereichen die Rede, die befundfrei geprüft wurden, ohne genauer zu spezifizieren, wo diese Sonden noch zum Einsatz kamen.

Aktivitäts- und Neutronenflussmessungen

MEX1:

Nach einem Ansprechen der Vergleicher verschiedener Messungen wurden die Hochspannungsversorgungsbaugruppen der betroffenen Messung untersucht, als ursäch-

lich stellten sich dabei fehlerhaft ausgeführte Lötstellen an den Transistoren der Wandlerplatinen heraus. Im Rahmen von Übertragbarkeitsprüfungen wurden auch an anderen Hochspannungsversorgungsbaugruppen fehlerhafte Lötstellen entdeckt. Betroffen waren die Spannungsversorgungsbaugruppen der N16-Geiger-Müller-Zählrohre zur Messung der Frischdampfaktivität, der N16-NaJ-Szintillationszähler zur Messung der Frischdampfaktivität und der BF3-Zählrohre zur Messung des Neutronenflusses im Impulsbereich. Die vorgefundenen Abweichungen bestanden aus Unterschreitungen des Mindestlötquerschnitts der Verbindungszone, nicht exakter Auflage der Abstandringe unter den Transistoren auf der Platine, Vorschädigungen der Lötstellen bei der Montage der Kühlkörper und ungünstigen Verhältnissen zwischen Bohrung und Anschlussdrahtdurchmessern. Zudem wurden an Drehschaltern auf den Baugruppen Oxidationsbeläge auf den Kontaktflächen bemerkt. Die Lötstellen aller Baugruppen der betroffenen Typen wurden überprüft und gegebenenfalls instandgesetzt. Der Drehschalter wurde dabei durch eine Lötverbindung ersetzt. Da verschiedene Messungstypen in verschiedenen Systemen mit verschiedenen Messgrößen betroffen waren, ist der GVA komponentenart-, system- und komponentengruppenübergreifend. Allerdings kam es nur an einem Messumformer zum Ausfall und die betroffenen Messungen sind alle von Vergleichern überwacht, so dass ein gleichzeitiger Ausfall unwahrscheinlich ist.

MEX2:

Auf Grund eines Fehlers bei der Übertragung der Planungsunterlagen für die Montage der Kabel- und Anschlusskästen im Bereich der Außenkerninstrumentierungsführungsrohre, wurden die Gliederzüge je einer Redundanz des Übergangsbereichs und des Leistungsbereichs jeweils an der Position des Gliederzugs des anderen Messbereichs eingesetzt. Nachdem dies bei visuellen Kontrollen auffiel, wurden die Gliederzüge wieder getauscht. Dieses Ereignis fand im Anlagenstillstand statt.

Verschiedene Messungen

MEV1:

In einer Anlage fiel auf, dass die Druckmessung des Verdampfers der Kühlmittellagerung einen nicht plausiblen, hohen Wert anzeigte. Dafür war ein unterbrochenes Messkabel verantwortlich. Insgesamt wurden in der räumlichen Umgebung zehn weitere beschädigte Messkabel gefunden, dadurch waren auch die Druckmessung in einem Entgaser der Kühlmittellagerung und eine Temperaturmessstelle der Kühlmittellagerung funktionsbeeinträchtigt. Zu den Kabelschäden kam es, als im Rahmen bautechni-

scher Arbeiten zur Verlegung von Messleitungen zusätzliche Durchbrüche in den Decken der Räume, in denen sich die betroffenen Messungen befanden, geschaffen wurden. Derartige Arbeiten werden an Sicherheitssystemen nicht im Leistungsbetrieb vorgenommen. Betroffen waren ausschließlich betriebliche Komponenten.

MEV2:

Eine GBA-Armatur war im Rahmen einer WKP nicht verfahrbar. Als ursächlich stellte sich ein Schaden am Leistungskabel im Bereich eines Brattbergrahmens heraus. In der vorherigen Revision waren dort Kabelzugarbeiten durchgeführt worden, dabei kam es zu Beschädigungen der Isolation der Kabel. Neben dem Leistungskabel der GBA-Armatur der Druckluftversorgung der Lüftung im Reaktorgebäude wurde auch die Isolierung der Kabel einer Reaktorschutzmessung der Primärkreistemperatur beschädigt. Darüber hinaus waren die Schirmverbindungen einer Reaktorschutz-Druckmessung im Speisewassersystem beschädigt. Diese Abweichungen fielen dann beim Wiederauffahren auf. Die genannten Schäden sind auf unzureichende Qualitätssicherungsmaßnahmen bei den Kabelzugarbeiten zurückzuführen. Der GVA ist komponentenübergreifend.

B.8 Notstromdiesel

Ein Druckwasserreaktor ab der Vor-Konvoi-Baulinie verfügt in der Regel über zwei Komponentengruppen an Notstromdieseln, die D1- oder Notstromdiesel und die D2- oder Notspeisenotstromdiesel. Ein komponentengruppenübergreifender Ausfall bedeutet also zwingend, dass beide Dieselgruppen betroffen sind.

NSD1:

In zwei aufeinanderfolgenden Prüfungen gingen zwei Notspeisenotstromdiesel während des Vollastlaufs zu rütteln an und wurden daraufhin per Hand abgeschaltet. Es stellte sich in beiden Fällen heraus, dass sich Gummiteile aus der Kupplung zwischen Diesel und Generator gelöst hatten. Diese stammten aus den Kraftübertragungsblöcken. Grundsätzlich wurde eine Unterdimensionierung der Kupplung festgestellt, weshalb die Kupplung bereits nach relativ kurzer Betriebszeit gealtert war. Die Gummiteile wurden zunächst ersetzt, im Rahmen der nächsten Revision wurden alle Kupplungen durch robustere Konstruktionen ersetzt. Durch den unrunder Lauf ist bei Anforderungen aus dem Reaktorschutz keine Abschaltung des Diesels verursachbar, lediglich der Generator wird unverfügbar, nicht z. B. die Notspeisepumpe. Die übrigen beiden Kupplungen

waren befundfrei, wurden aber trotzdem ausgetauscht. Da vom Betreiber vermutet wurde, dass der Kupplungstyp auch bei den D1-Notstromdieseln zum Ereigniszeitpunkt im Einsatz war, ist dieser GVA als komponentengruppenübergreifend eingestuft worden.

NSD2:

Im Abstand von 13 Monaten starteten zweimal Notstromdiesel nicht. Betroffen waren einmal ein D1-Diesel und einmal der Reservediesel, den die betroffene Anlage zusätzlich hat (kein D2-Netz in dieser Anlage). Als ursächlich erwiesen sich einmal Verschmutzungen am Druckluftstartventil der Diesel, beim zweiten Mal ließ sich die Ursache des Versagens nicht klären, doch auch in diesem Falle hatte das Startluftventil nicht geöffnet. In beiden Fällen wurde das Ventil getauscht. Der GVA ist übergreifend, da der Reservediesel nicht zur Komponentengruppe der Notstromdiesel gehört. Da allerdings ein sehr großer Zeitraum mit mehreren Dieselstarts zwischen den beiden Ausfällen liegt, ist die Gleichzeitigkeit stark eingeschränkt. Außerdem stammen die jeweiligen Startluftventile von verschiedenen Herstellern, so dass die Gleichartigkeit der Ventile selbst einzuschränken ist und angesichts der unklaren Ergebnisse der Ursachenklärung auch in Zweifel zu ziehen ist, ob es sich überhaupt um einen GVA handelt (in der GVA-Datenbank in der Konsequenz als Einzelfehler bewertet).

NSD3:

Im Rahmen einer WKP lief ein Notspeisediesel auf 110 % Nennlast als es zu Geräuschentwicklung im Bereich des Turboladers bei gleichzeitigem Leistungsabfall kam und daraufhin der Diesel von Hand gestoppt wurde. Eine Untersuchung der Turbolader ergab Schäden am Verdichterlaufrad durch Fremdkörpereintrag. Bei dem Fremdkörper handelte es sich um eine Stützring-Verbindungshülse aus den Kompensatoren. Stützringe waren in den Wellentälern der Kompensatoren saugseitig der Turbolader angebracht. Die Hülsen waren dabei lose und ohne besondere Sicherung auf die Enden der Stützringe aufgeschoben worden. An zwei weiteren Notspeisedieseln fehlten ebenfalls Stützringhülsen. Die grundsätzliche konstruktive Schwäche, dass die Stützringhülsen ungesichert verbaut wurden, lag an allen Dieseln der Anlage vor. Die Hülsen wurden daraufhin verlötet oder die Kompensatoren gegen ein anderes Modell anderer Bauart, bei dem keine vergleichbaren Hülsen Verwendung finden, getauscht. Da die Konstruktionsschwäche an allen Dieseln vorlag, ist der GVA übergreifend.

NSD4:

Auf Grund von missverständlichen Prüfanweisungen wurde im Rahmen einer WKP der Vergleichler und Grenzwertgeber im Reaktorschutz versehentlich die automatische Dieselanregung unscharf geschaltet, respektive nach Prüfungsende nicht ordnungsgemäß wieder zugeschaltet. Dadurch wären im Notstromfall weder die Notspeise- noch die Notstromdiesel automatisch gestartet, wären aber alle per Hand zuschaltbar gewesen. Als dieser Fehler bei einer weiteren Prüfung auffiel, wurde der Anlagenzustand normalisiert. Insgesamt waren die Diesel dadurch für 15 Stunden nicht verfügbar. Die Prüfanweisungen wurden klarer gestaltet und der organisatorische Ablauf und Zuständigkeiten bei Freischaltvorgängen wurden präzisiert. Personalschulungen fanden statt. Derartige gleichzeitige Prüfungen sind nicht im Leistungsbetrieb ausführbar, da bei deutschen Anlagen die Prüfungen der Notstromdiesel wöchentlich versetzt durchgeführt werden. In manchen Anlagen verhindert das Betriebsführungssystem gleichzeitige redundanzübergreifende Wartungen ohne zwischenzeitliche Funktionskontrollen. Auch dies stellt eine ausreichende Schutzmaßnahme gegen derartige Fehlhandlungen dar. Da alle Diesel unscharf geschaltet waren, ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

NSD5:

Im Rahmen eines Startvorgangs eines Notstromdiesels wurde beobachtet, dass die Druckmessung der Schmierölversorgung eines Notstromdiesels nur verzögert ansprach. Als Verursacher stellte sich das Manometer-Prüfventil heraus, das sich im Messkanal vor dem Messumformer befindet. Während der Fertigung kam es zum Verlaufen der Bohrungen für den Mediendurchfluss, dadurch verschloss der anschließend eingesetzte Ventilsitzring Teile des Bohrquerschnitts und verringerte so den Durchfluss. Durch die Ablagerung von Verunreinigungen an dieser Stelle verringerte sich der Strömungsquerschnitt weiter. Der verringerte Massenstrom verursachte den verzögerten Druckaufbau im dahinter liegenden Messumformer. Betroffen waren Armaturen der Baujahre 1981 - 1989, danach wurde ein anderes Fertigungsverfahren angewandt. Der Ausfall hatte auf Grund einer 2-von-3-Schaltung keine unmittelbaren Unverfügbarkeiten zur Folge. Die grundsätzlich betroffenen Ventiltypen wurden geprüft und sofern notwendig getauscht. Die Prüfanweisungen wurden dahingehend ergänzt, dass zukünftig die Kanalbohrungen zu prüfen seien. Seitens des Herstellers wurden zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahmen ergriffen. Manometer-Prüfventile sind in großer Menge in den verschiedensten Systemen im Einsatz, in der betroffenen Anlage waren insgesamt 253 Stück des auffälligen Typs verbaut, daher ist der GVA übergreifend. Das Schmier-

ölsystem des Notstromdiesels ist im Vergleich zu anderen Systemen mit diesem Armaturentyp besonders verschmutzungsanfällig.

NSD6: Bei einem Testlauf im Rahmen einer WKP wurde an einem Notstromdiesel eine Kühlwasserleckage an einem Steckrohr in Richtung der Turbolader entdeckt. Da bei der beobachteten Leckagemenge nach ca. 30 Minuten mit dem Ansprechen des Aggregatschutzes zu rechnen gewesen wäre, wurde der Testlauf per Hand abgebrochen. Als ursächlich stellte sich interkristalline Lochkorrosion in Verbindung mit korrosionsfördernden Spaltbedingungen durch vorgefundene Ablagerungen an dem Aluminiumsteckrohr heraus. Betroffen waren Grundstoff und Schweißgut. Eine Übertragbarkeitsprüfung zeigte an allen übrigen Notstromdieseln ähnliche Symptome, die allerdings noch nicht zu Leckagen geführt hatten. Die Symptome waren bei den Notspeisedieseln nur sehr schwach ausgeprägt, aber vorhanden, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend. Die betroffenen Leitungen wurden getauscht, und es wurde beschlossen, zukünftig statt Trinkwasser Deionat als Kühlmittel einzusetzen, zudem wurde auch das Frostschutzmittel getauscht.

NSD7:

Auf Grund eines Ereignisses in einer anderen Anlage wurden die Rückstellfedern an insgesamt sechs 380 V-Schaltern gegen neue, verstärkte Federn getauscht. Der Federhersteller lieferte dabei allerdings Ersatzfedern, die für einen Einsatz in Schaltern desselben Schaltertyps mit einem Baujahr nach 1980 gedacht waren. Ab diesem Herstellungsdatum waren die Schalter mit anderen, verkürzten Stützklinken ausgerüstet, auf die die neuen Federn abgestimmt waren. Infolgedessen kam es dann zu zwei Ausfällen (schaltet nicht) an den überholten Schaltern, da die stärkere Federkraft an den längeren Stützklinken eine ordnungsgemäße Bewegung der Stützklinke beim Ausschalten verhindert, wodurch die Einschaltbereitschaft nicht gegeben war. Die Federn mussten abermals getauscht werden. Betroffen waren die Entregungsschalter der Notstromdiesel (Anlage ohne D2-Netz) und zwei weitere Schalter, deren genaue Position sich aus der vorliegenden Dokumentation nicht ableiten lässt, die aber nicht redundant zu den Entregungsschaltern sein können, daher ist der GVA komponentenübergreifend. Da die Entregungsschalter innerhalb der Komponentengrenzen der Notstromdiesel liegen, ist der GVA außerdem komponentenartübergreifend. Allerdings lagen beide Ausfälle sieben Wochen auseinander. Dazwischen liegt bei den Notstromdieseln eine wiederkehrende Prüfung, während der auch die Entregungsschalter geschaltet werden, daher ist die Gleichzeitigkeit reduziert.

B.9 Sicherheitsventile an Rohrleitungen

RSI1:

Im Rahmen einer WKP öffneten mehrere sekundärseitige, federbelastete Sicherheitsventile nicht bei dem vorgesehenen Ansprechdruck. Insgesamt öffneten zehn Sicherheitsventile nicht beim Sollwert, die Öffnungsdrücke lagen zwischen dem 1,3- und dreifachen des auslegungsgemäßen Ansprechdrucks, weshalb die Druckabsicherungsfunktion nicht in allen Fällen gegeben war. Als ursächlich stellte sich ein Verbacken von Ventilsitz und -kegel heraus, welches dadurch begünstigt wurde, dass es sich erstens um eine gleichartige Materialpaarung handelte (Martensit/Martensit) und zweitens zur Wartung der Dichtflächen eine Bearbeitungseinrichtung zum Einsatz kam, die zu metallisch blanken Oberflächen führte. Die Ventilkegel wurden daraufhin durch Kegel aus Austenit ersetzt, außerdem wurden die Prüfintervalle verkürzt. Betroffen waren insgesamt zehn Ventile im Bereich der Hochdruck- und Niederdruckvorwärmer sowie saugseitig der Speisewasserpumpen. In diesem Bereich ist das Speisewassersystem dreisträngig, die zehn betroffenen Ventile verteilen sich auf eine Population von 15 Ventilen. Folglich waren fünf Komponentengruppen betroffen.

RSI2:

Im Rahmen einer Prüfung während der Anlagenrevision öffnete ein Sicherheitsventil des Kaltwassersystems nicht beim vorgesehenen Ansprechdruck. Nach Ausbau und Öffnung der Armatur zeigten sich Korrosionsbeläge an den Einbauteilen des Ventils, die für das verzögerte Ansprechen verantwortlich zu machen waren. Daraufhin wurde das bisherig verwendete Korrosionsschutzmittel entfernt und ein anderes Korrosionsschutzkonzept in Zusammenarbeit mit dem Hersteller erarbeitet. Betroffen waren insgesamt sechs Sicherheitsventile dieses Typs im Kaltwassersystem, wobei bei zweien die Öffnungsfähigkeit beeinflusst war. Diese waren allerdings nicht redundant (Druckabsicherung Ausgleichsbehälter in der Frischdampfarmaturenkammer und Druckabsicherung druckseitig der Pumpen des Kaltwassersystems), daher ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend.

RSI3:

Durch unsachgemäß durchgeführte Wartungsarbeiten kam es zum Eintrag von Fremdkörpern in einen Strang des Zusatzboilersystems. Bei der Montage des Druckventils an der Pumpe wurde ein O-Ring abgeschert. Bei der darauffolgenden wiederkehrenden Prüfung wurden Fragmente dieses O-Rings (ca. ¼) in das Überströmventil druckseitig der Pumpe verschleppt. Dort blockierten sie einen wesentlichen Teil des Strö-

mungsquerschnitts, so dass der auslegungsgemäße Systemdruck nicht gehalten werden konnte und es zum Ansprechen des Sicherheitsventils hätte kommen müssen. Dieses wurde allerdings durch ebenfalls im Rahmen der Wartungsarbeiten eingetragene Metallspäne blockiert, so dass es erst bei 240 bar statt auslegungsgemäß bei 210 bar ansprach. Das Teilsystem wurde daraufhin außer Betrieb genommen, die beiden Ventile wurden instandgesetzt und die Druckventile der Pumpe mit neuen O-Ringen ausgestattet. Sicherheitsventil und Überströmventil sind nicht gleichartig aufgebaut, daher ist dieser GVA komponentenartübergreifend.

RSI4: Nach Revisionsarbeiten an den Sicherheitsventilen des Abgassystems wurde bei der darauffolgenden WKP festgestellt, dass an den Eintrittsflanschverbindungen nicht spezifikationsgemäße Schrauben und Muttern eingesetzt worden waren (Maschinenschrauben statt Dehnschrauben). Betroffen waren insgesamt 11 der 15 Sicherheitsventile des Abgassystems, eine Übertragbarkeitsprüfung ergab in anderen sicherheitstechnisch relevanten Systemen keine weiteren Befunde. Die betroffenen Sicherheitsventile wurden ordnungsgemäß verschraubt. Es wurde beschlossen, Arbeitsaufträgen zukünftig Flanschprotokolle beizulegen, die vorgeben, wie Armaturen an die zugehörigen Rohrleitungen anzuflanschen sind. Nachrechnungen ergaben, dass in diesen Fällen trotz nicht spezifikationsgemäßer Verbindung der Sicherheitsventile im Anforderungsfalle keine Abrisse zu erwarten gewesen wären.

RSI5:

Auf Grund eines Ereignisses in einer anderen Anlage wurden die Reibbremsen an den Sicherheitsventilen einer Anlage überprüft. Die Reibbremsen dienen dazu die Bewegung der Ventilspindel zu dämpfen und ein 'Kolbenflattern' zu vermeiden. An zwei der überprüften 26 Ventile wurden Ablagerungen im Kontaktbereich zwischen Ventilspindel und Reibbacken gefunden. Die Ablagerungen kommen durch eine chemische Reaktion der Graphitbremsen und ihrer Imprägnierung aus Aluminiumphosphat mit Feuchtigkeit aus der Umgebung oder aus Leckagen zustande. Durch Haften an den Ablagerungen kann die ordnungsgemäße Dämpfung der Sicherheitsventile beeinflusst werden. Der Ansprechdruck der Ventile war allerdings in keinem Fall abweichend, ihre Sicherheitsfunktion war gegeben. Die Reibbacken wurden gegen Ersatz mit geänderter Werkstoffzusammensetzung getauscht. Betroffen waren zwei Sicherheitsventile im Volumenregel- und Chemikalieneinspeisesystem, der GVA ist daher komponentengruppen- und systemübergreifend.

RSI6:

Im Rahmen einer WKP von Sicherheitsventilen während der Revision fiel bei zwei der vier Sicherheitsventile der H₂- und O₂-Analysemessung im Abgassystem auf, dass sie statt bei 4 bar erst bei 7 bar auslösten. Als ursächlich erwies sich eine Überfüllung der Wasservorlage auf der Ausblaseseite des Sicherheitsventils, dadurch bildeten sich Ablagerungen am Ventilkegel, die zu einer Schwergängigkeit führten. Die Prüfanweisungen wurden detaillierter formuliert und Personalschulungen durchgeführt, mittelfristig wurden die Ventile konstruktiv so geändert, dass eine Überfüllung der Wasservorlage verhindert wird. Betroffen waren je ein Sicherheitsventil saug- und druckseitig der Messgaskompressoren der H₂- und O₂-Analysemessung, diese sind nicht redundant, daher ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend.

RSI7:

Während der Prüfungen bei denen RSI6 entdeckt wurde, waren außerdem sechs Sicherheitsventile im Speisewasser- Volumenregel- und Not- und Nachkühlsystem auffällig. Alle überschritten ihre Ansprechtoleranzen um mehr als zehn Prozent. Da es sich um Ventile kleiner Nennweite (DN < 32 mm) handelte, die auf Grund des kleineren Verhältnisses Sitzbreite zu Durchmesser eine höhere Streuung aufweisen, wurde als Ursache eine nicht ausreichend genaue Einstellung der Ansprechdrücke während der vorherigen WKP angenommen. Die Ventile wurden in der Folge korrekt eingestellt, ähnliche Ventile wurden ebenfalls geprüft. Die Prüfanweisungen wurden detailliert und Personalschulungen durchgeführt. Betroffen waren die beiden Sicherheitsventile druckseitig der beiden Notspeisepumpen, diese sind in der betroffenen Anlage dampfbetriebene Turbopumpen, die aus dem Speisewassertank ansaugen und die Dampferzeuger bespeisen können, ein Sicherheitsventil auf der Druckseite einer der drei Speisewasserpumpen, ein Sicherheitsventil auf einer der beiden Einspeiseleitung des Volumenregelsystems und zwei der vier Sicherheitsventile druckseitig der Nachkühlpumpen hinter dem Nachkühler. Folglich ist der GVA system- und komponentengruppenübergreifend.

B.10 Schalter

Gemäß der Definition der Komponentenbegrenzungen in /FAK 05a/ wurden die Leistungsschalter einer Komponente als Teil der Komponente selbst gesehen. Zur Population der Schalter gehören deshalb lediglich die Einspeiseschalter auf die verschiede-

nen Sammelschienen. In der Praxis kommen häufig typgleiche Schalter, sowohl als Komponentenleistungsschalter als auch als Einspeiseschalter, zum Einsatz.

SCH1:

Nach einer Umschaltung des Eigenbedarfs auf Grund einer Fehlanregung des Blockschutzes auf das 110 kV-Reservenetz sank die Spannung auf den 6 kV-Schienen kurzzeitig auf Grund des hohen Eigenbedarfs durch Anlaufströme verschiedener betrieblicher Verbraucher (altes, mittlerweile nicht mehr gebräuchliches Konzept für die Zuschaltung von Verbrauchern) auf 80 % der Nennspannung und stieg dann innerhalb einiger Sekunden wieder auf den Sollwert an. Bedingt durch die verminderte Spannung zogen Schütze, die als Einspeiseschalter für Unterverteilungen eingesetzt waren nicht vollständig durch. Infolgedessen floss ein stark erhöhter Spulenstrom über die Schütze und zerstörte diese, die Schütze fielen dann ab. Die automatische Schaltung der typgleichen Schütze der alternativen Einspeisemöglichkeit funktionierte, da mittlerweile die Spannung wieder auf einen ausreichenden Wert gestiegen war. Die Schütze waren für derartige Belastungen nicht ausgelegt und wurden gegen einen Nachfolgetyp getauscht, dessen Auslegung auch derartige Anforderungsfälle abdeckt. Betroffen war die Einspeisung dreier Unterverteilungen, insgesamt sechs Schütze und die Schütze der Druckhalterheizung (9 Schütze), daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

SCH2:

Bei einer Inspektion der 10 kV-Schalter waren beschädigte Dämpfungshülsen aufgefallen. Die Dämpfung selbst dient dazu den Impuls der sich entspannenden Druckfeder beim Schaltvorgang zu mindern. Die Dämpfungshülse besteht aus einer metallischen Hülse mit eingeschrumpftem Duroplast. Das Duroplast wies im vorliegenden Fall Risse auf. Die Duroplastleisten wurden daraufhin an allen Schaltern gegen konstruktiv anders ausgeführte Versionen getauscht. Betroffen waren die Einspeiseschalter zwischen den 10 kV-Notstromschienen und den 10 kV-Eigenbedarfsschienen und überspannungsseitig der 10 kV/660 V/380 V-Notstromtransformatoren. Es wird allerdings vom Hersteller geschätzt, dass die Hülsen erst nach 6000 Schaltungen soweit geschädigt wären, dass sie ein erfolgreiches Schalten verhindern. Innerhalb der vierjährigen Wartungszyklen erreicht kein Schalter derartige Schaltspielzahlen, so dass ein Versagen und vor allem ein gleichzeitiges Versagen als sehr unwahrscheinlich einzuschätzen ist.

SCH3:

Bei Änderungsmaßnahmen während der Anlagenrevision kam es auf Grund eines Planungsfehlers zu einem systematischen Verdrahtungsfehler an allen in dieser Revision überholten Schaltern. Durch diesen Fehler wurde verhindert, dass der Schalter nach Auslösen der Unterspannungsüberwachung bei Wiederkehr der Spannung automatisch wieder zuschaltet. Stattdessen wären die betroffenen Schalter in der Stellung 'Schalterfall' verblieben. Betroffen waren die drei Leistungsschalter der Zuluftventilatoren des Hilfsanlagegebäudes, ein Leistungsschalter einer Nachkühlpumpe, ein Leistungsschalter eines Ringraum-Abluftventilators und die Einspeiseschalter der Notstromversorgung aus dem Nachbarblock (formal auch zu diesem gehörig), die im Falle eines Ausfalls der Notstromversorgung die Versorgung der Notstandsschaltanlagen übernehmen sollten. Der GVA ist daher komponentengruppen-, system- und anlagenübergreifend.

SCH4:

Auf Grund eines Ereignisses in einer anderen Anlage (SWR, daher nicht im Umfang dieser Auswertung enthalten) wurden die Schaltzeiten bestimmter Hilfsschütze in 400 V-Leistungsschaltern überprüft. Die Hilfsschütze waren für die Erkennung der Überstromauslösung des Leistungsschalters relevant. Dabei stellte sich heraus, dass die Schaltzeiten der eingesetzten Hilfsschütze teilweise zu lang waren, so dass die Meldung der Überstromauslösung nicht korrekt abgesetzt wurde. Die Hilfsschütze waren vom Hersteller als Nachfolger eines anderen Modells empfohlen worden, beim Ersatz der alten Hilfsschütze fiel nicht auf, dass Abweichungen im Schaltverhalten existierten. Es wurde parallel ein zweites Hilfsschütz eingebaut, welches die erforderliche Schaltcharakteristik besaß. Die Dokumentation wurde entsprechend ergänzt, um bei zukünftigen Änderungsmaßnahmen die Schaltzeiten adäquat bei der Auswahl von Ersatzgeräten zu berücksichtigen. Betroffen waren insgesamt je 30 Schalter im konventionellen Eigenbedarf und in sicherheitstechnisch relevanten Funktionen, daher war der Ausfall übergreifend. Allerdings verhinderte der Defekt lediglich die Rückmeldung der Auslösung, das eigentliche Schaltverhalten der Schalter blieb unberührt. In der anderen Anlage waren die Schütze auch in schaltrelevanter Funktion verbaut.

SCH5:

Im Rahmen von Inspektions- und Wartungsarbeiten während der Anlagenrevision wurden an den Lasttrennschaltern zweier Unterverteilungen der 380 V-Notstandsschienen gebrochene Gegendruckfedern entdeckt. Insgesamt waren sechs von 108 Federn beschädigt. Die Brüche wurden durch wasserstoffinduzierte Rissbildung verursacht. Der

Wasserstoffeintrag erfolgte im Herstellungsprozess während des Beizens und galvanischen Verzinkens. Die Federn wurden daraufhin gegen mechanisch verzinkte Federn getauscht, die gegenüber Federn mit durch galvanische Verfahren hergestellten Verzinkungen eine geringere Wasserstoffversprödung aufweisen. Betroffen waren alle Schalter dieses Typs, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

SCH6:

Während Schaltversuchen an einem Gleichrichter löste der Leistungsschalter auf der Einspeisung aus. Er konnte im Folgenden nicht wieder zugeschaltet werden, da die Langzeitauslösung des Kurzschluss-Überstromrelais angesprochen hatte. Dies geschah, da die Zeitverzögerung dieser Auslösung nicht auslegungsgemäß funktionierte. Die Zeitverzögerung funktionierte pneumatisch, dabei kam eine Membran zum Einsatz, die als Rückschlagventil fungierte. In der vorherigen Schalterrevision wurde die Schaltermechanik geschmiert, dabei wurde irrtümlich und ohne dass dies in der Arbeitsanweisung vermerkt gewesen wäre, auch die Membran mit Sprayöl behandelt. Dadurch wurde die Haftreibung vermindert, die Rückschlagfunktion der Membran war nicht mehr gegeben und es konnte zur Fehlauflösung vor Erreichen der Sollauslösestromstärke kommen. Die Kurzschlussausröser aller Niederspannungsschalter in sicherheitstechnisch relevanten Positionen mussten daraufhin getauscht werden. Der GVA ist daher komponentengruppenübergreifend.

B.11 Stromrichter

Stromrichter kommen in Kraftwerken üblicherweise an den Einspeisungen der unterbrechungsfreien Schienen vor. An den Gleichspannungsschienen existieren Gleichrichter. Diese werden je nach zugehöriger Spannungsebene in unterschiedliche Komponentengruppen eingeteilt. Sofern vorhanden wird bei den 24 V-Gleichrichtern auch zwischen den Gleichrichtern des D1- und des D2-Netzes unterschieden. Die rotierenden Umformer oder in einigen Anlagen Wechselrichter, die die gesicherten Wechselspannungsschienen bespeisen, sind eine eigene Komponentengruppe. Da es nur diese eine Komponentengruppe dieser Komponentenart im Kraftwerk gibt, ist ein übergreifender GVA ausgeschlossen, außer es handelt sich gleichzeitig auch um einen komponentenartübergreifenden Ausfall. Ein solcher wurde allerdings bisher nicht beobachtet.

GLR1:

Auf Grund eines defekten Relais wurde fehlerhaft eine Hauptkühlmittelpumpe abgeschaltet. Die Reaktor- und Generatorleistung wurde automatisch auf 42 bzw. 45 % gesenkt. Die Spannung auf den Eigenbedarfsschienen stieg an, wodurch es auslegungsgemäß zur Abschaltung aller Gleichrichter kam. Auf Grund der abgeschalteten Hauptkühlmittelpumpe war die Last in einer Redundanz erheblich geringer, so dass sich im 660 V/380 V-Bereich dieser Redundanz eine erhöhte Schienenspannung einstellte. Auf Grund dieser störungsbedingten Erhöhung der Schienenspannung in Kombination mit einer unter Normalbedingungen bereits hohen Schienenspannung konnten die Gleichrichter dieser Redundanz nicht mehr automatisch zurückschalten, da die Schienenspannung über dem gewählten Rückschaltwert lag (Rückschaltwert 1,1 x Nennspannung, Abschaltwert 1,15 x Nennspannung, Normalwert bis zu 1,09 x Nennspannung). Der ungünstig gewählte Rückschaltwert lag an allen Gleichrichtern vor, hinderte in den übrigen Redundanzen auf Grund der ungeänderten Verbraucherlast allerdings die Gleichrichter nicht am Zuschalten. Der Rückschaltwert wurde daraufhin erhöht. Betroffen waren alle Gleichrichter (verschiedene Hersteller) der Anlage unabhängig von der Spannungsebene und Zugehörigkeit zu D1- oder D2-Netz, daher ist der Ausfall komponentengruppenübergreifend.

GLR2:

Während eines Unwetters kam es im 400 kV-Hochspannungsnetz wiederholt zu kraftwerksnahen Kurzschlüssen durch Seiltanzen. Zwei dieser Kurzschlüsse lösten jeweils eine Abschaltung einer Leitungstrasse und Generatorleistungspendelungen aus, dabei kam es beim ersten Mal zur Abschaltung dreier 24 V-Gleichrichter des D2-Netzes, beim zweiten Mal zur Abschaltung eines 24 V-Gleichrichters des D1-Netzes. Die Netzstörungen hatten jeweils die Überwachung auf gleichspannungsseitige Überspannung ausgelöst. Die Gleichrichter wurden wieder zugeschaltet, mittelfristig wurden die Gleichspannungsüberwachungsbaugruppen gegen neuere Modelle getauscht, die auf einzelne Spannungsspitzen im Netz weniger empfindlich reagieren. Betroffen waren 24 V-Gleichrichter des D1- und D2-Netzes, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend.

GLR3:

Bei den in den Gleichrichteranlagen eines Kernkraftwerks eingesetzten Wechselspannungswächtern kam es über einen Zeitraum von vier Jahren gehäuft zu Ausfällen. Von 52 Wechselspannungswächtern waren innerhalb dieses Zeitraums 25 ausgefallen. Die Kenndaten der Wächter drifteten dabei. Erkannt wurde dies entweder während WKP

oder durch die selbstmeldende Charakteristik der Ausfälle. Der Wächter wurde daher durch einen Nachfolgetyp mit geänderter Beschaltung ersetzt. Der Wächter kam an den 220 V-Gleichrichtern zum Einsatz. Auf Grund der vorliegenden Dokumentation ist nicht klar, ob er auch in den 24 V-Gleichrichteranlagen Verwendung fand, so dass ein komponentengruppenübergreifender GVA nicht ausgeschlossen werden kann. Da sich die Ausfälle aber auf mehrere Jahre verteilen und zumindest teilweise auch selbstmeldend waren, ist die Gleichzeitigkeit auf alle Fälle reduziert.

B.12 Ventilatoren

VEN1:

Nach einem Lagerschaden durch Schmiermittelmangel an einem Motor eines der drei Lüfter der Fortluftanlage des nuklearen Lüftungssystems fiel auf, dass im defekten Motor ein Lagertyp zum Einsatz gekommen war, dessen Auslegungsdaten nicht vollständig den Betriebsbedingungen entsprachen (benötigt Öl- statt Fettschmierung, Auslegung für hohe Drehzahlen). Bei einem Zuluftventilator war ebenfalls dieser falsche Lagertyp eingesetzt, ohne dass es zu einem Ausfall gekommen war. Darüber hinaus stellte sich im Rahmen der Übertragbarkeitsprüfung heraus, dass in vier weiteren Lüftern der Zu-, Fort- und Umluftanlagen ebenfalls nicht spezifikationsgemäße Lager verbaut waren. Hier waren Lagerkäfige aus Stahl statt aus Messing im Einsatz. Auch diese Abweichung blieb bis zum Zeitpunkt der Korrektur folgenlos. Die falschen Lager waren bei einer vorangegangenen Revision eingebaut worden, dabei waren die Lagertypen verwechselt worden. Als den Ereigniseintritt begünstigend wirkte sich dabei aus, dass der Lagertyp an manchen Stellen, z. B. in den Wartungshinweisen des Motors und teilweise auf dem Lager selbst nicht vollständig, sondern nur gemäß DIN (z. B. 'NU324') bezeichnet war, so dass eine Unterscheidung an Hand dieser Beschriftung nicht möglich war und dies dem Instandhaltungspersonal wie auch dem Beschaffungspersonal die sicherheitstechnische Relevanz der Unterschiede der einzelnen Lagertypen nicht in ausreichendem Maße bewusst war. Die Lager wurden durch Lager des spezifizierten Typs ersetzt. Potentiell funktionseinschränkend betroffen waren Ventilatoren im Zu- und Fortluftsystem der nuklearen Lüftung, daher ist der GVA komponentengruppenübergreifend, obwohl angenommen wurde, dass zumindest das abweichende Lagerkäfigmaterial keinen Einfluss auf den Betrieb hat.

VEN2:

Bei einer Prüfung starteten die Ventilatoren parallel zu den in Betrieb befindlichen Ag-

gregaten der Belüftung des Ringraums und des Hilfsanlagegebäudes nicht. Es wurde vermutet, dass an den Simatic-Betätigungsbausteinen ein nicht näher identifizierter Defekt vorlag, der auch bei nachfolgender Prüfung aller Karten nicht reproduzierbar war. Da die Betätigungsbausteine bei Geomatic und Simatic vor den Vorrangbaugruppen liegen, besteht auch die Möglichkeit, dass eventuelle Anforderungen aus dem Reaktorschutz nicht störungsfrei ausgeführt werden konnten. Der GVA ist übergreifend, da die betroffenen Ventilatoren unterschiedliche Räume bzw. Gebäude belüfteten und daher nicht zueinander redundant sind.

C Beschreibung der identifizierten GVA-Phänomene mit teildiversitären Aspekten

Es folgt eine Auflistung aller gefundenen GVA-Ereignisse, die grundsätzlich teildiversitäre Aspekte aufweisen. Die Nomenklatur entspricht hinsichtlich der verwendeten Kürzel den in Anhang B und Kapitel 5 verwendeten Abkürzungen für die verschiedenen Komponentenarten. Mit einem vorangestellten 'DIV' werden Ereignisse gekennzeichnet, die ausschließlich teildiversitäre, nicht aber komponentengruppenübergreifende Aspekte aufweisen und daher in Anhang B nicht vorgestellt werden. Sofern auch komponentengruppenübergreifende Aspekte beobachtet wurden, wird in der Beschreibung lediglich kurz auf die entsprechende Beschreibung in Anhang B verwiesen und auch das in diesem Kapitel zugewiesene Kürzel verwendet.

C.1 Motorbetätigte und Rückschlagarmaturen

C.1.1 Rückschlagklappen

RSK1:

Betroffen waren bei diesem Ereignis die Klappen druckseitig der Speisewasserpumpen und vor der Einspeisung in den Dampferzeuger. Bei Letzteren kam es nicht zu Ausfällen, da unmittelbar vor den Klappen eine Rohrkrümmung liegt, durch die es zu einer Drallströmung kommt, was die betriebliche Belastung dieser Klappen verringert, so dass es hier nicht zu Ausfällen kam (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.1).

C.1.2 Armaturenartübergreifende Ereignisse

AAÜ4:

Die Ursache dieses Ereignisses waren unsachgemäß ausgeführte Instandhaltungsarbeiten. Daher waren Armaturen, an denen in der fraglichen Revision nicht das entsprechende Personal tätig war, nicht betroffen (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.1).

C.2 Batterien

DIV-BAT7:

In einer anderen Anlage und mit mehreren Jahren zeitlichem Abstand werden mit Er-

eignis BAT3 vergleichbare Befunde entdeckt (zu starke Verspannung führt zu Rissen im Batteriegehäuse). Betroffen waren hier nur D2-Batteriezellen, die kürzlich getauscht wurden. Daher ist das Ereignis erstens nicht komponentengruppenübergreifend, zweitens besteht eine Teildiversität: Das Material wird in den ersten Jahren seiner Standzeit fester, so dass ältere Batteriegehäuse den erhöhten Kräften standhielten.

C.3 Eigenmediumbetätigte Sicherheits- und Entlastungsventile

C.3.1 Druckabsicherung Primärkreis

DIV-DHS11:

Bei der Einstellung der Öffnungswerte der Vorsteuerventile mit Stickstoff bei 80 bar Systemdruck wurde beim Umrechnen der Druckverhältnisse nicht berücksichtigt, dass die Vorsteuerventile an ihrer engsten Stelle lediglich einen Strömungsquerschnitt von 18 mm statt der angenommenen 20 mm hatten. Dadurch wurde bei der Einstellung ein zu geringer Druck aufgeprägt, was wiederum ein Öffnen der Ventile bei zu niedrigen Drücken zur Folge gehabt hätte. Lediglich die Zusatzbelastung hielt die Hauptarmaturen nach dem Anfahren geschlossen, wobei es dennoch zu größeren Leckagen kam, wodurch die Fehleinstellung auffiel. Lediglich eines der sechs VSV der DH-SiV hatte tatsächlich einen Strömungsquerschnitt von 20 mm und war daher vom Umrechnungsfehler nicht betroffen, dieses war allerdings auf Grund eines Einzelfehlers ebenfalls nicht korrekt eingestellt.

DIV-DHS12:

Bei der Herstellung der Magnetspulen für die Zusatzbelastung der federbetätigten Vorsteuerventile der Druckhalter-Sicherheitsventile kam eine nicht vorgesehene Folie zum Einsatz. Diese schmolz durch die Temperaturentwicklung während des Betriebs und beschädigte die Isolierung der Spulen, wodurch es zu Wicklungsschlüssen und zum Ansprechen der Sicherungen kam. Dieser Herstellungsfehler lag nur in einer Charge vor, nicht alle eingebauten Vorsteuerventile hatten Zusatzbelastungen aus dieser Charge.

C.3.2 Druckabsicherung Dampferzeuger

FSA4:

Das temperaturinduzierte Schrumpfen der Lagerbuchsen der Magnetanker der magnetbetätigten Vorsteuerventile ist nur an im Ruhestromprinzip betriebenen VSV beo-

bachtet worden, da im Arbeitsstromprinzip betriebene Ventile keine ausreichende Eigenerwärmung aufwiesen. Zu Ausfällen kam es nur, wenn zudem noch die Wärmeabstrahlung des Hauptventils durch eine Montage in unmittelbarer räumlicher Nähe einen zusätzlichen Wärmeeintrag verursachte (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.4).

DIV-FSA9:

Während der Montage wird es unterlassen die Entlastungsdrosseln der Abblaseabsperrventile mit Körnerschlag gegen Verdrehen zu sichern. Das exakte Schwingungsverhalten der verschiedenen Abblaseabsperrventile unterscheidet sich voneinander, daher kam es nur an einem Ventil zu einem selbsttätigen Herausdrehen der Drossel im Kolben, was dann zum Nichtöffnen während einer WKP führte. Die Montagevorschrift wurde daraufhin angepasst und die Drosseln in den Ventilen gesichert.

C.4 Leittechnik

LSK1:

Betroffen waren jeweils lediglich die Federleisten eines bestimmten Herstellers, in der sicherheitsrelevanten Leittechnik waren auch Federleisten anderer Hersteller im Einsatz, diese waren nicht von dem Herstellungsfehler betroffen (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.6)

LSK4:

Betroffen waren nur Baugruppen, die in einem bestimmten Zeitrahmen gefertigt wurden, da nur diese im entsprechend kontaminierten Reinigungsbad behandelt wurden. Der Zeitraum ließ sich auf circa einen Monat eingrenzen. Baugruppen, die außerhalb dieses Zeitraums gefertigt wurden, waren nicht betroffen (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.6).

C.5 Messeinrichtungen (Druckmessungen)

MEP1:

Bei diesem Ereignis waren lediglich die Überdruckscheiben eines bestimmten Herstellers nicht maßhaltig. Druckmessumformer, die mit einer Überdruckscheibe eines anderen Herstellers bestückt waren, waren nicht beeinflusst (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.7).

DIV-MEP4:

Während des Anfahrens kommt es über das Kriterium 'HD-Vorwärmer-Füllstand hoch 2v3' zur TUSA. Für den HD-Vorwärmer gibt es pro Strang vier Füllstandsmessungen, davon je zwei analog und digital. Eine analoge Messung wird nur zur Ablaufregelung verwendet, die andere zusammen mit den digitalen zur Bildung des Schutzsignals. Die TUSA-Auslösung erfolgte berechtigt über die digitalen Messungen. Der Füllstandsanstieg blieb unbemerkt, da nur eine Analogmessung auf der Warte aufgelegt ist und es nach Revisionstätigkeiten unterlassen worden war, die Handabsperrarmaturen in den Wirkdruckleitungen der analogen Messungen wieder zu öffnen. Die digitalen Messungen haben keine Wirkdruckleitungen und waren daher nicht betroffen.

DIV-MEP5:

Beim Abfahren kommt es während des Absprühens des Primärkreisdrucks zum Ausdampfen der Wirkdruckleitungen in zwei Redundanzen der Druckhalterfüllstandmessung. Dadurch werden in einer Redundanz Reaktorschutzgrenzwerte angeregt. In den anderen beiden Redundanzen kommt es nicht zu einem Ausdampfen, da die geometrische Leitungsführung sich dort unterscheidet.

C.6 Notstromdiesel

NSD7:

Mit ursächlich für das Ereignis war eine geänderte Konstruktion der Stützklinke der betroffenen 380 V-Schalter. 380 V-Schalter des Typs, die vor 1980 gefertigt wurden, waren nicht kompatibel mit neueren Federn, die auf Grund eines anderen Ereignisses nachträglich eingebaut wurden (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.8).

C.7 Schalter

SCH3:

Das Ereignis SCH3 wurde durch eine fehlerhaft geplante Änderung der Anlage in der vorherigen Revision verursacht. Schalter, an denen während dieser Änderung nicht gearbeitet wurde, waren daher nicht betroffen (ausführliche Beschreibung: siehe Abschnitt B.10).

C.8 Ventilatoren

DIV-VEN3:

Einer von drei Ringraum-Abluftventilatoren der Ringraumabsaugung löste beim Anlaufen bedingt durch den Einschalttrush seine Schmelzsicherung aus. Die Sicherungen waren vorher kleiner dimensioniert worden, da die Kabel nicht auf die Stromstärken, die die alten Sicherungen erlaubt hätten, ausgelegt waren. Dabei war nicht bedacht worden, dass einer der Ventilatoren keine 90°-Bögen in der Ansaug- und Ausblase-strecke besaß. Durch diese unterschiedlichen Strömungsverhältnisse war der Anlaufstrom bei diesem Ventilator um 15 % höher und damit ausreichend um die Sicherung auszulösen.

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

Schwertnergasse 1
50667 Köln

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum

85748 Garching b. München

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

10719 Berlin

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

38122 Braunschweig

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de

ISBN 978-3-944161-08-2