Methodenentwicklung zur konsistenten Berücksichtigung gemeinsam verursachter Ausfallereignisse (GVA) in PSA

GRS - A - 3552

Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH

**Technischer Bericht/
Technical Report**

Reaktorsicherheitsforschung-
Vorhabens Nr.:/
Reactor Safety Research-Project No.:
RS1180

Vorhabenstitel / Project Title:
Weiterentwicklung und Erprobung von Methoden und Werkzeugen für probabilistische Sicherheitsanalysen

Development and Test Applications of Methods and Tools for Probabilistic Safety Analyses

Berichtstitel:
Methodenentwicklung zur konsistenten Berücksichtigung gemeinsam verursachter Ausfallereignisse (GVA) in PSA

Autoren / Authors:
Ludwig Gallner,
Dr. Albert Kreuser,
Moritz Leberecht,
Dr. Jan-Christoph Stiller

Berichtszeitraum / Publication Date:
August 2010

Anmerkung:
Das diesem Bericht zugrunde liegende F&E-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Kennzeichen RS1180 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

GRS - A - 3552

Kurzfassung

Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) moderner Kernkraftwerke haben gezeigt, dass gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA) einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben können, obwohl GVA-Ereignisse in der Betriebserfahrung relativ selten auftreten. Wegen der geringen Anzahl von beobachteten GVA-Ereignissen müssen für eine Quantifizierung von GVA-Wahrscheinlichkeiten ähnliche Gruppen von Komponenten zu Populationen zusammengefasst werden. Um Unterschiede zwischen verschiedenen Komponenten einer Population, die zum Beispiel durch unterschiedlichen technischen Aufbau oder unterschiedliche Betriebsweise entstehen, quantitativ berücksichtigen zu können, wurden Bewertungsrandbedingungen eingeführt. Durch Expertenbewertungen wird eingeschätzt, mit welcher relativen Häufigkeit GVA-Phänomene unter verschiedenen Randbedingungen zu erwarten sind und wie stark die Komponenten dadurch geschädigt werden.

Mit den vorliegenden Arbeiten wurde zum einen das Ziel verfolgt, die ingenieurmäßige Bewertung der Übertragbarkeit beobachteter GVA-Ereignisse auf andere Komponentengruppen zu systematisieren. Dazu wurden zunächst alle Randbedingungen gesichtet und die Formulierung inhaltlich identischer Randbedingungen vereinheitlicht, um eine bessere, automatisierte Verarbeitung zu ermöglichen. Es wurden sechs unterschiedliche Kategorien von Randbedingungen identifiziert. Je nach Kategorie ist ein unterschiedliches Vorgehen bei der Durchführung der Expertenbewertungen oder eine unterschiedliche mathematisch-statistische Behandlung erforderlich.

Bei den Untersuchungen wurde erkannt, dass das bisher vorhandene System von Randbedingungen weiterentwickelt werden muss. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Zur statistisch korrekten Schätzung von Zuverlässigkeitskenngrößen ist es erforderlich, die zu jeder definierten Randbedingung gehörenden Beobachtungszeiten zu ermitteln bzw. festzustellen, wie häufig die Komponenten angefordert wurden. Bei dem vorliegenden System ist dies wegen der sehr großen Anzahl von 209 verschiedenen Randbedingungen, die vielfach aus logischen Verknüpfungen von mehreren Einzelbedingungen bestehen und meist nur bei einem einzelnen Ereignis verwendet wurden, nicht praktikabel. Deshalb wurde bisher die Gesamtbeobachtungszeit aller Komponentengruppen verwendet. Weiterhin wurde festgestellt, dass im bisherigen Vorgehen zwar systematisch überprüft wurde, ob unter bestimmten Randbedingungen GVA-Phänomene seltener zu erwarten sind oder schwächere Auswirkungen haben würden. Eine umfassende

systematische Bewertung, für welche in der PSA modellierten Komponentengruppen Bedingungen vorliegen, die ein häufigeres Auftreten bzw. stärkere Auswirkungen erwarten lassen, wurde nicht vorgenommen. Diese Gründe könnten zu einer systematischen Unterschätzung von GVA-Wahrscheinlichkeiten bei bestimmten Komponentengruppen führen.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden Kriterien und Anforderungen für ein allgemeines Konzept für zur Ableitung von Randbedingungen entwickelt. Dies umfasst Kriterien zur Einführung von Randbedingungen und zur Aufteilung von Populationen, eine qualitative und quantitative Skala für die Bewertung der Übertragbarkeit von Ereignissen, sowie die Verwendung von Randbedingungen bei der Ermittlung für Zuverlässigkeitskenngrößen für die PSA. Für die verschieden Kategorien von Randbedingungen wurden weitere spezifische Anforderungen entwickelt sowie Verbesserungsmöglichkeiten bei der bisherigen Vorgehensweise identifiziert. Weiterhin wurden konkrete Weiterentwicklungsvorschläge in Bezug auf einzelne Randbedingungen erarbeitet. Diese Ergebnisse stellen eine Grundlage für eine zukünftige Überarbeitung der Vorgehensweise zur Definition und Bewertung von Randbedingungen dar.

Ein weiteres Ziel der Arbeiten war die Entwicklung eines geschlossenen Programmsystems zur Verknüpfung der einzelnen Auswerte- und Bewertungsschritte sowie zur Übergabe und Dokumentation der zur Berechnung der GVA-Wahrscheinlichkeiten verwendeten Parameter. Das dazu entwickelte POOL-Programm dokumentiert und verwaltet die Parameter und Bewertungsrandbedingungen intern und gibt sie an die in nachfolgenden Arbeitsschritten verwendeten Programme weiter. Dabei werden alle erforderlichen Arbeitsschritte im Programm abgebildet. Parameter-Datensätze sind mit Hilfe von Auswahlkriterien individuell zusammenstellbar und an die Randbedingungen der in der PSA modellierten GVA-Komponentengruppen anpassbar.

Das POOL-Programm wurde durch einen umfassenden Vergleich mit älteren Rechnungen verifiziert. Die Anwendung von POOL ist wesentlich effizienter als die bisherige Vorgehensweise und trägt durch die weitgehende Automatisierung und die umfassende Benutzerführung zur Qualitätssicherung der Ergebnisse bei.

Abstract

Probabilistic Risk Analyses (PRA) of modern nuclear power plants show that common-cause failures (CCF) have a substantial impact on PRA results although CCF events are infrequent in the operational experience. As the number of CCF events is small, for the estimation of CCF probabilities similar groups of components have to be combined to populations. Boundary conditions have been introduced to quantitatively account for differences between different component groups belonging to the same population. These differences may occur, e.g. due to different technical features or different modes of operation. Expert judgement is used to estimate the relative frequency of CCF phenomena and to estimate the component impairments that may be expected if a CCF occurred under different boundary conditions.

The first objective of this project was to systemize the approach for assessing the applicability of observed CCF events to other component groups. As an initial step, the boundary conditions presently defined were screened. Six categories of boundary conditions were identified. Depending on the respective category, different methods for carrying out the expert judgement are necessary or a different statistical treatment is required.

In the course of the study it was recognized that the present system of boundary conditions has to be revised. Two major reasons were identified: For the correct statistical estimation of reliability parameters it is necessary to use the observation period or the number of requests specific to each boundary condition. For the present system of boundary conditions this is not feasible due to the large number of 209 different boundary conditions, most of which are conjunctions of up to four elementary conditions and many of which are only used for a single event. Therefore, the total observation time of all component groups – irrespectively of the boundary condition – was used. In addition, the following problem was identified: During the expert assessments, it was systematically considered if observed CCF phenomena are expected to be less frequent or would have less impact under specific boundary conditions. However, a comprehensive systematic assessment if observed CCF phenomena are expected to be more frequent or would have a more severe impact under specific boundary conditions has not generally been conducted. These problems both might potentially cause a systematic underestimation of CCF probabilities.

Based on those findings, requirements for a comprehensive concept for boundary conditions were developed. These comprise criteria for the introduction of boundary conditions and for the partitioning of populations, a qualitative and quantitative scale for the assessment of the applicability of events as well as the usage of boundary conditions in the calculation of reliability parameters for the PSA. For the different categories of boundary conditions, further requirements as well as potential improvements were identified. Moreover, concrete recommendations for specific boundary conditions were developed. These results provide a basis for the future revision of the procedures for establishing boundary conditions and carrying out expert judgement.

Another aim of the present project was to develop a comprehensive computer program system integrating the different steps necessary to calculate CCF probabilities. The program system POOL developed for this task covers all the necessary steps. It manages parameters and boundary conditions for the assessment, passes the required data to the programs used for the subsequent calculations and creates the necessary documentation. Parameter data sets can be set up individually by means of selection criteria, such that they reflect the boundary conditions present in specific component groups that are modelled in a PSA.

The program POOL was validated by carrying out extensive comparisons with previous results. Using the program POOL is much more efficient than the previous approach and – by extensive automation and user guidance – facilitates the quality assurance of the results.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung ... 1

2 Verfahrensrahmen für eine systematische Bewertung der Übertragbarkeit von GVA-Ereignissen ... 3

2.1 Quantitative Expertenbewertung von GVA-Ereignissen ... 5

2.2 Übersicht und Klassifikation vorhandener Randbedingungen ... 6

2.2.1 Kleine und große Redundanzgrade ... 7

2.2.2 Anforderungsdauern ... 8

2.2.3 Anlagenbetriebsphase ... 9

2.2.4 Ereignisablauf-spezifische Randbedingungen ... 10

2.2.5 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten ... 11

2.2.5.1 Technische Unterschiede der Aufbau der Systeme ... 12

2.2.5.2 Technische Unterschiede der Komponenten ... 14

2.2.6 Medien ... 19

2.2.7 Betriebshäufigkeit ... 20

2.2.8 Betriebsbedingungen ... 21

2.2.9 Instandhaltung ... 24

2.2.9.1 Verschieden aufwändige Überwachungen ... 24

2.2.9.2 Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen ... 26

2.2.9.3 Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen ... 28

2.2.9.4 Prüfintervall ... 31

2.2.9.5 Sonstige Aspekte der Instandhaltung ... 32

2.2.10 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten ... 33

2.2.10.1 Betriebliche Anforderungen/Anforderungen aus dem Reaktorschutz ... 33

2.2.10.2 Weitere Ausfallarten ... 34

2.2.11 Weitere Unterscheidungsmerkmale von Randbedingungen ... 35

2.2.12 Zusammenfassung ... 35

2.3 Quantitative Bewertung der Übertragbarkeit ... 37

2.3.1 Übersicht über die bisher vorgenommenen Expertenbewertungen bei Ereignissen, für die verschiedene Randbedingungen definiert wurden 37
2.3.2 Kleine und große Redundanzgrade 39
2.3.3 Anforderungsdauern 40
2.3.4 Anlagenbetriebsphase 41
2.3.5 Ereignisablauf- spezifische Randbedingungen 41
2.3.6 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten 41
2.3.6.1 Technische Unterschiede im Aufbau der Systeme 41
2.3.6.2 Technische Unterschiede der Komponenten 42
2.3.6.3 Medien 44
2.3.6.4 Betriebshäufigkeit 46
2.3.6.5 Betriebsbedingungen 47
2.3.6.6 Instandhaltung 47
2.3.7 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten 50
2.3.7.1 Betrieblich Anforderungen/Anforderungen aus dem Reaktorschutz 50
2.3.7.2 Weitere Ausfallarten 51
2.3.8 Zusammenfassung und Bewertung 51
2.4 Konzept für Randbedingungen 51
2.4.1 Identifizierung und Definition von Randbedingungen 52
2.4.2 Verwendung von Randbedingungen bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für die PSA 55
2.4.3 Extrapolation auf stark abweichende Redundanzgrade 56
2.4.4 Ausblick 58
2.5 Weiterentwicklung des Systems von Randbedingungen 58
2.5.1 Kleine und große Redundanzgrade 58
2.5.2 Anforderungsdauern 60
2.5.3 Anlagenbetriebsphase 61
2.5.4 Ereignisablauf- spezifische Randbedingungen 62
2.5.5 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten 62
2.5.5.1 Technische Unterschiede der Aufbau der Systeme 62

2.5.5.2 Technische Unterschiede der Komponenten 65
2.5.6 Medien 69
2.5.7 Betriebshäufigkeit 70
2.5.8 Betriebsbedingungen 71
2.5.9 Instandhaltung 73
2.5.9.1 Verschieden aufwändige Überwachungen, so dass sich entwickelnde Schäden verschieden frühzeitig erkannt werden können 73
2.5.9.2 Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen 73
2.5.9.3 Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen 74
2.5.9.4 Prüfintervall 74
2.5.9.5 Sonstige Aspekte der Instandhaltung 75
2.5.10 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten 75
2.6 Zusammenfassung 76

3 Entwicklung eines geschlossenen Programmsystems zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten (Programm POOL) 76
3.1 Programm POOL 78
3.1.1 Verwendete Technik 78
3.1.2 Datenbankstruktur 79
3.1.2.1 Tabellen mit Komponentenpopulationen und Ereignisbewertungen 79
3.1.2.2 Tabellen mit Beobachtungszeiten 83
3.1.2.3 Tabellen zur Dokumentation 83
3.1.3 Erstellung der Auswahltabellen und Angleichung der Wertelisten 88
3.2 Berechnung der Beobachtungszeit mit dem POOL-Programm 93
3.2.1 Aufbau der der Berechnung zu Grunde liegenden Tabellen 93
3.2.2 Berechnung der Beobachtungszeit 94
3.2.3 Definition des Gewichtungsfaktors 101
3.2.4 Eingabe der Grenzen und Berechnung im Programm POOL 101
3.3 Erstellung von PEAK-Datensätzen mit dem Programm POOL 103
3.3.1 Erstellung eines Datensatzes 104
3.3.2 Übersicht über alle erstellten Parameter-Datensätze 108
3.3.3 Eingabe von Anlagendatensätzen für die Zielanlage 110

3.3.4 Dokumentationsfunktion des Programms POOL 112
3.4 Berechnung von GVA Wahrscheinlichkeiten mit PEAK 115
3.4.1 Einlesen eines Parametersatzes aus POOL 115
3.4.2 Ausgabe der Ergebnisverteilung 116
3.4.3 Qualitätssicherung: Abgleich mit Datensätzen aus dem Datenband zum PSA-Leitfaden 118
3.5 Zusammenfassung 131

4 Zusammenfassung und Ausblick 132

5 Literaturverzeichnis 135

6 Verteiler 139

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: Datenfluss im Programmsystem POOL 78
Abb. 3-2: Die Ausgabetabellen des POOL-Programms.....84
Abb. 3-3: Berechnung der Beobachtungszeit mit dem Programm POOL: Notstromdiesel startet nicht 102
Abb. 3-4: Der Reiter ‘Projekte‘ im Programm POOL.....103
Abb. 3-5: Erstellung eines Datensatzes: Definition der Population 105
Abb. 3-6: Erstellung eines Datensatzes: Auswahl der Quellen 106
Abb. 3-7: Erstellung eines Datensatzes, Auswahl der Randbedingungen 107
Abb. 3-8: Erstellung eines Datensatzes; Auswahl der Experten 108
Abb. 3-9: Übersicht über die vorhandenen GVA-Datensätze 110
Abb. 3-10: Eingabe von Anlagendatensätzen 111
Abb. 3-11: Menu zum Erstellen einer Dokumentationsdatei 115
Abb. 3-12: Einige berechnete GVA-Wahrscheinlichkeiten in ihrer Darstellung im Programm PEAK 116

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Randbedingungen für kleine und große Redundanzgrade 7
Tab. 2-2: Randbedingungen, die Anforderungsdauern beschreiben 8
Tab. 2-3: Randbedingungen für Anlagenbetriebsphasen 9
Tab. 2-4: Ereignisablauf-spezifische Randbedingungen 10
Tab. 2-5: Randbedingungen zur Beschreibung der Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen 12
Tab. 2-6: Randbedingungen zur Beschreibung von Ausfallerkennungsmöglichkeiten.....13
Tab. 2-7: Randbedingungen für Redundanztrennung 14
Tab. 2-8: Randbedingungen zur Beschreibung der Absteuerung von Ventilen 15
Tab. 2-9: Randbedingungen für sonstige spezielle technische Eigenschaften 16
Tab. 2-10: Randbedingungen für Medien.....19
Tab. 2-11: Randbedingungen für die Betriebshäufigkeit 20
Tab. 2-12: Randbedingungen für sonstige Betriebsbedingungen.....21
Tab. 2-13: Randbedingungen für verschieden aufwändige Überwachungen.....24
Tab. 2-14: Randbedingungen für die Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen 26
Tab. 2-15: Randbedingungen für Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen.....29
Tab. 2-16: Randbedingungen für Prüfintervalle.....32
Tab. 2-17: Randbedingungen für sonstige Aspekte der Instandhaltung 32
Tab. 2-18: Randbedingungen zur Unterscheidung zwischen betrieblichen Anforderungen und Anforderungen aus dem Reaktorschutz.....33
Tab. 2-19: Randbedingungen für weitere Ausfallarten 34
Tab. 2-20: Häufigkeiten der verschiedenen Werte des Übertragbarkeitsfaktors für alle Bewertungen von GRS-Experten.....38
Tab. 2-21: Einzelvorschläge für Randbedingungen zur Beschreibung kleiner und großer Redundanzgrade 60
Tab. 2-22: Einzelvorschläge für Randbedingungen, die Anforderungsdauern beschreiben.....61
Tab. 2-23: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Anlagenbetriebsphasen 62
Tab. 2-24: Einzelvorschläge für Randbedingungen zur Beschreibung der Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen 63
Tab. 2-25: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Medien.....64

Tab. 2-26: Einzelvorschläge für Randbedingungen für sonstige spezielle technische Eigenschaften 65
Tab. 2-27: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Medien 70
Tab. 2-28: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für die Betriebshäufigkeit 70
Tab. 2-29: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für sonstige Betriebsbedingungen 71
Tab. 2-30: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für verschieden aufwändige Überwachungen 73
Tab. 2-31: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für Prüfintervalle 75
Tab. 3-1: Inhalte der Tabelle ‘Pool_Ereignisse‘, importiert aus der Experten-Tabelle der GVA-Datenbank 80
Tab. 3-2: Inhalte der Tab. "Pool_Ereignisse“, importiert aus der Ereignis-Tabelle der GVA-Datenbank 82
Tab. 3-3: Sonstige Felder der Tab. "Pool_Ereignisse" 83
Tab. 3-4: Auflistung der im POOL-Programm vorhandenen Komponentenpopulationen und Ausfallarten 89
Tab. 3-5: Quellentabelle für Notstromdiesel; ‘startet nicht‘ 96
Tab. 3-6: Komponentengruppenliste für Notstromdiesel 98
Tab. 3-7: In dem PSA-Datenband verwendete Beobachtungszeiten 119
Tab. 3-8: Geprüfte Anlagendatensätze 122
Tab. 3-9: Im Rahmen der Prüfung verwendete Randbedingungen 130

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Sicherheit von Kernkraftwerken kann durch Ereignisse erheblich beeinflusst werden, bei denen aufgrund einer gemeinsamen Ursache Nichtverfügbarkeiten 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. Wegen dieser relativ geringen Anzahl von in der Betriebserfahrung beobachteten GVA-Ereignissen muss für eine Quantifizierung von GVA-Wahrscheinlichkeiten die Betriebserfahrung für ähnliche Gruppen redundanter Komponenten zusammengefasst werden. Die Gesamtheit dieser Komponentengruppen wird als Population bezeichnet. Für eine sachgerechte Bewertung werden die Unterschiede in technischem Aufbau, Betriebsweise etc. für die zu einer Population zusammengefasten Komponentengruppen durch eine Bewertung der Übertragbarkeit von beobachteten GVA-Ereignissen berücksichtigt. Somit kommt der Bewertung der Übertragbarkeit beobachteter GVA-Ereignisse auf die in der PSA zu bewertenden Komponentengruppen eine hohe Bedeutung zu.

Mit den in Kapitel 2 beschriebenen Arbeiten wurde das Ziel verfolgt, das Vorgehen bei der ingenieurmäßigen Bewertung der Übertragbarkeit beobachteter GVA-Ereignisse auf die in der PSA zu bewertenden Komponentengruppen durch die Entwicklung eines Verfahrensrahmens weiterzuentwickeln und zu systematisieren, um die damit verknüpften Unsicherheiten zu reduzieren.

Außerdem sollten potentielle Fehlerquellen minimiert werden, die dadurch entstehen, dass die Ermittlung von GVA-Daten die Zusammenführung von Ergebnissen aus verschiedenen Auswerte- und Bewertungsschritten erfordert. Bei jedem Schritt sind Parameter zu ermitteln, die in die Berechnung der GVA-Daten einfließen.

Ein weiteres Ziel der Arbeiten war deshalb die Entwicklung eines geschlossenen Programmsystems zur Verknüpfung der einzelnen Auswerte- und Bewertungsschritte sowie zur qualitätsgesicherten Übergabe und Dokumentation der zur Berechnung der GVA-Wahrscheinlichkeiten verwendeten Parameter. Das dazu entwickelte POOL-

Programm soll die Parameter und Bewertungsrandbedingungen dokumentieren, intern verwalten und an die nachfolgenden Arbeitsschritte weitergeben. Dabei werden alle Arbeitsschritte erfasst, die bei der GVA-Bewertung erforderlich sind. Parameter-Datensätze sollen mit Hilfe von Auswahlkriterien individuell zusammenstellbar und an die Randbedingungen der zu bewertenden GVA-Komponentengruppen anpassbar sein. Die Anwendung des im Kapiteln 3 beschriebenen Programms POOL führt insgesamt zu einer rationellen Bearbeitung und zu qualitätsgesicherten Ergebnissen.

2 Verfahrensrahmen für eine systematische Bewertung der Übertragbarkeit von GVA-Ereignissen

Die Bewertung der Übertragbarkeit eines Ereignisses auf eine bestimmte Komponentengruppe der Zielanlage beruht auf einem Vergleich der Randbedingungen in der Komponentengruppe der Anlage, in der das Ereignis aufgetreten ist mit der Komponentengruppe der Zielanlage, für die eine GVA-Wahrscheinlichkeit im PSA-Fehlerbaum ermittelt werden soll. Zu betrachtende Aspekte umfassen u. a. technische Unterschiede, verschiedene Medien und unterschiedliche Betriebsbedingungen. Welche Randbedingungen jeweils relevant sind, hängt von den beobachteten GVA-Phänomen ab. Die quantitative Bewertung der Übertragbarkeit erfolgt durch Expertenurteil. Bereits bei den im Rahmen des BMFT-Vorhabens RS872 durchgeführten Arbeiten zur Entwicklung eines Verfahrensrahmens zur Aufdeckung und Einordnung von GVA /HAU 95/ wurde erkannt, dass die Entwicklung eines Verfahrens zur Systematisierung der Bewertung der Übertragbarkeit notwendig ist. Allerdings reichte der damalige Bestand an ausgewerteter Betriebserfahrung mit GVA nicht aus, um ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln. Das gleiche Problem hinsichtlich der Bewertung der Übertragbarkeit beobachteter GVA-Ereignisse wurde auch in den USA erkannt /NRC 98/.

In der Zwischenzeit ist aber die zur Verfügung stehende Informationsbasis zu GVA erheblich erweitert worden. Insbesondere hat dazu die Mitarbeit im international von der OECD/NEA/CSNI durchgeführten GVA-Daten-Austauschprojekt ICDE (*I*nternational *C*ommon Cause Failure *D*ata *E*xchange) beigetragen (siehe u. a. /WER 99/, /WIE 00/, /KRE 01/, /JON 02/, /THE 03/, /NEA 03/, /BAR 04/, /NEA 08/). Daneben sind im Rahmen eines Projekts der VGB von der GRS alle GVA-Ereignisse, die bisher in GVA-Datensätze für deutsche Anlagen eingeflossen sind, bewertet und der Auswertezeitraum bis zum Jahr 2002 erweitert worden. Dabei wurden insbesondere unterschiedliche Fehlererkennungsmöglichkeiten bei unterschiedlichen Komponentengruppen berücksichtigt.

Bei diesen Arbeiten ist mittlerweile eine große Anzahl von Randbedingungen zur Bewertung von Übertragbarkeit identifiziert und quantitativ bewertet worden. Es liegt allerdings bisher noch kein geschlossenes Verfahren vor, das eine systematische und nachvollziehbare Bewertung der Übertragbarkeit gewährleistet. Auf der jetzt vorliegenden breiten Informationsbasis wurde ein solcher Verfahrensrahmen für eine systematische und abgesicherte ingenieurmäßige Bewertung der Übertragbarkeit entwickelt.

Dazu wurden zunächst die vorliegenden Randbedingungen und Expertenbewertungen analysiert. Zunächst wurde untersucht, welche Bewertungsaspekte durch Randbedingungen berücksichtigt wurden. Es wurden sechs Klassen von Bewertungsaspekten identifiziert, die teilweise noch in Unterklassen differenziert werden können. Die Zugehörigkeit zu diesen Klassen hat weitreichende Folgen für die mathematische Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten aus den Expertenbewertungen, da durch sie bestimmt wird, ob für verschiedene Randbedingungen spezifische Beobachtungszeiten zu erfassen sind (siehe Abschnitt 2.1.11). Alle Randbedingungen wurden den Klassen zugeordnet, wobei Mehrfachzuordnungen erforderlich waren, da Randbedingungen mehrere (bis zu vier) Einzelaspekte beschreiben können (Abschnitt 2.1.). Die Auswertung der vorhandenen Randbedingung zeigte, dass die in der Datenbasis definierten Randbedingungen sehr detailliert sind und bisher keiner allgemeinen Systematik genügen. Aus der sehr großen Vielfalt und hohen Detaillierung wurde abgeleitet, dass die bisherige Menge von Randbedingung überarbeitet werden muss, um zu einem System zu kommen, dass eine statistisch korrekte Behandlung der Beobachtungszeiten mit vertretbarem Aufwand zulässt.

Dann wurden die für die verschieden Randbedingungen vergebenen quantitativen Bewertungen der Übertragbarkeit näher untersucht (Abschnitt 2.2). Es zeigte sich, dass in den allermeisten Fällen die Experten bei den Bewertungen der Übertragbarkeit eine relativ grobe Skala der Übertragbarkeit verwendet haben. Aufgrund der sehr großen Vielfalt der Randbedingungen, die in den allermeisten Fällen nur bei einem einzigen Ereignis benutzt wurden, erwies sich eine randbedingungsspezifische Auswertung der Expertenbewertungen zur Ermittlung einer Bewertungsbandbreite nur in Einzelfällen als sinnvoll. Es wurden jedoch für die verschiedenen Klassen von Randbedingungen Regelmäßigkeiten der quantitativen Bewertungen identifiziert und diskutiert.

Aus den so gewonnen Erkenntnissen wurde ein allgemeines Konzept für ein System von Randbedingungen entwickelt (Abschnitt 2.3). Dies beinhaltet auch die Vorgehensweise bei der Übertragung von GVA-Ereignissen auf Komponentengruppen mit abweichenden, insbesondere sehr hohen Redundanzgraden (Abschnitt 2.3.3).

Darauf und auf den vorher gewonnenen Erkenntnissen basierend wurden für alle vorhandene Randbedingungen Vorschläge zur Weiterentwicklung erarbeitet. Diese sind in Abschnitt 2.4 dargestellt. Insbesondere wurden zahlreiche Randbedingungen identifiziert, die zukünftig entfallen sollten, sowie Randbedingungen, bei denen geprüft werden sollte, ob sie durch eine Aufteilung der Population zu ersetzen sind. Weiterhin

wurden Hinweise zu einer nötigen Umbenennung oder möglichen Vereinheitlichung von Randbedingungen gegeben sowie für einige Randbedingung die Notwendigkeit einer quantitativen Neubewertung durch die Experten dargestellt.

2.1 Quantitative Expertenbewertung von GVA-Ereignissen

Aspekte der quantitativen Bewertung von GVA-Ereignissen, die auch für die Bewertung der Übertragbarkeit wesentlich sind, werden im Folgenden kurz dargestellt. Umfassende Darstellungen der Bewertung von GVA-Ereignissen sind z. B. in /NEA 04/ oder /FAK 05/ zu finden.

Basis der Quantifizierung von GVA sind neben den Beobachtungszeiten bzw. beobachteten Anforderungszahlen die bei den GVA-Ereignissen aufgetretenen Komponentenschädigungen. Die Schwere der Komponentenschädigungen wird durch einen Wert zwischen 0 und 1 quantifiziert, wobei 1 einer ausgefallenen Komponente entspricht. Die bei den verschiedenen Komponenten einer GVA-Komponentengruppe beobachteten Schädigungen werden zu einem sogenannten Schädigungsvektor zusammengefasst.

Zur quantitativen Einschätzung der Übertragbarkeit von GVA-Ereignissen durch Expertenbewertungen werden folgende Größen verwandt:

- **Übertragbarkeitsfaktor**
  Wenn erwartet wird, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit des GVA-Phänomens in der zu bewertenden Komponentengruppe (Zielkomponentengruppe) verschieden ist von der Eintrittswahrscheinlichkeit in der Komponentengruppe, in der das GVA-Ereignis beobachtet wurde, wird ein von 1 abweichender Übertragbarkeitsfaktor vergeben. Der Übertragbarkeitsfaktor gibt an, um welchen Faktor die erwartete Rate in der Zielkomponentengruppe von derjenigen, in der das GVA-Ereignis beobachtet wurde, abweicht. Zum Beispiel gibt ein Übertragbarkeitsfaktor von 0,1 an, dass in der Zielkomponentengruppe ein entsprechendes GVA-Phänomen 10 mal seltener erwartet wird.

- **Schädigungsvektor**
  Wenn erwartet werden kann, dass das Ausmaß des bei einem beobachteten GVA-Ereignis vorgefundenen Schadens in der Zielkomponentengruppe geringer oder höher wäre, wird ein Schädigungsvektor angegeben, der von den bei dem aufge-

tretenen GVA-Ereignis aufgetretenen Komponentenschädigungen abweicht und die in der Zielkomponentengruppe erwarteten Schädigungen angibt.

2.2 Übersicht und Klassifikation vorhandener Randbedingungen

Am Stichtag der Auswertung (26.01.2010) waren in der GVA-Datenbank 430 GVA-Datensätze mit Ereignissen aus deutschen Anlagen vorhanden, wovon 174 Ereignisse verschiedene Randbedingungen für Expertenbewertungen aufwiesen.

Als Vorarbeit wurden alle Randbedingungen gesichtet und die Formulierung inhaltlich identischer Randbedingung vereinheitlich, um eine bessere automatisierte Verarbeitung in Datenbanken zu ermöglichen.

Nach dieser Vereinheitlichung gab es 209 verschiedene Randbedingungen. Viele dieser Randbedingungen sind Kombinationen verschiedener Einzelbedingungen. Kombinationen von bis zu vier Einzelbedingungen kommen vor, z. B. ‘Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen‘.

In den meisten Fällen werden die Einzelbedingungen mit ‘und‘ verbunden, d. h. zum Vorliegen der Randbedingung müssen alle Einzelbedingungen erfüllt sein. Vereinzelt werden Einzelbedingungen auch mit ‘oder‘ verknüpft, um für nach Auffassung der Experten gleich zu bewertende Bedingungen einheitlich zu bewerten.

Derzeit werden Randbedingungen zur Berücksichtigung verschiedener Arten von Bewertungsaspekten verwendet. Dabei handelt es sich um:

- kleine und große Redundanzgrade,
- Anforderungsdauern,
- Anlagenbetriebsphasen,
- Ereignisablauf- spezifische Randbedingungen,
- technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb, in der Überwachung und Instandhaltung der Systeme und Komponenten,
- Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten.

Wie oben erwähnt, können Randbedingungen aus Einzelbedingungen zusammengesetzt sein. Auf die damit verbundenen Probleme der Bewertung wird unten eingegangen. Zunächst werden die verschiedenen Bewertungsaspekte der Einzelbedingungen betrachtet. Diese lassen sich wie folgt in Klassen einteilen. Nach der Beschreibung der jeweiligen Klasse werden die ihr zugeordneten Randbedingungen tabellarisch aufgeführt; dabei ist die Einzelrandbedingung, auf die sich die Klassifikation bezieht, jeweils durch Fettdruck hervorgehoben. Es ist weiterhin eine der Komponentenarten angegeben, für die diese Randbedingung verwendet wird.

Zunächst werden die verschiedenen Bewertungsaspekte der Einzelbedingungen betrachtet. Diese lassen sich wie folgt in Klassen einteilen. Nach der Beschreibung der jeweiligen Klasse werden die ihr zugeordneten Randbedingungen tabellarisch aufgeführt; dabei ist die Einzelrandbedingung, auf die sich die Klassifikation bezieht, jeweils durch Fettdruck hervorgehoben. Es ist weiterhin eine der Komponentenarten angegeben, für die diese Randbedingung verwendet wird.

2.2.1 Kleine und große Redundanzgrade

Diese Klasse von Randbedingungen wird zur Erfassung von Expertenbewertungen benutzt, wie sich ein beobachtetes GVA-Phänomen auf Komponentengruppen erheblich abweichender Größe (z. B. acht statt zwei redundante Komponenten) auswirken würde. Diese Art von Randbedingung wird definiert, wenn den Experten die durch das GVA-Modell bestimmte Übertragung in einzelnen Fällen nicht sachgerecht erscheint.

Tab. 2-1: Randbedingungen für kleine und große Redundanzgrade

Randbedingung	Komponentenart
Bewertung für 2-strängige Systeme	FD-Absperrarmaturen (eigenmediumgesteuert), FSA
Expertenschätzung für mehr als 2-strängige Systeme	FD-Absperrarmaturen (eigenmediumgesteuert), FSA
Jährlich geprüft, **sehr hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, **hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, **sehr hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)

Randbedingung	Komponentenart
Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - **Bewertung für 2 strängige Systeme**	Regelventile
Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - **Expertenschätzung für mehr als 2-strängige Systeme**	Regelventile
Regelventile ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - **Bewertung für 2-strängige Systeme**	Regelventile
Regelventile ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - **Expertenschätzung für mehr als 2-strängige Systeme**	Regelventile

2.2.2 Anforderungsdauern

Aus der Betriebserfahrung sind Fehler an Standby-Komponenten bekannt, die nicht unmittelbar, sondern erst nach einer gewissen Anforderungsdauer zum Ausfall führen können. Um dies in der PSA besonders modellieren zu können, sind für zwei Komponentenarten (Kreiselpumpen und Notstromdiesel) kurze bzw. lange Anforderungsdauern als Bewertungsrandbedingungen definiert. Diese Randbedingung ermöglicht eine gegenüber der automatischen Berücksichtigung von Anforderungsdauern durch die stochastische Modellierung in der PSA eine verfeinerte Behandlung.

Tab. 2-2: Randbedingungen, die Anforderungsdauern beschreiben

Randbedingung	Komponentenart
Anforderungsdauer < 24 h	Kreiselpumpen
Anforderungsdauer > 24 h	Kreiselpumpen
Kurzfristige Anforderung < 2 h	Notstromdiesel
Langfristige Anforderung > 2 h	Notstromdiesel

2.2.3 Anlagenbetriebsphase

Hier werden Bewertungen, die für gegenüber dem Auftreten des Ereignisses abweichende Betriebsphasen gültig sind, erfasst (z. B. Bewertung von Ereignissen für den Leistungsbetrieb, die vor der Anfahrprüfung auftraten).

Tab. 2-3: Randbedingungen für Anlagenbetriebsphasen

Randbedingung	Komponentenart
Anlagenzustand: Anfahren bis Erreichen von Volllast	Behälter[1]
Anlagenzustand: Leistungsbetrieb	Behälter[1]
Anlagenzustand: Nach Erreichen von Volllast	Behälter[1]
Anlagenzustände vor Erreichen des Leistungsbetriebs	Behälter[1]
Übertragbarkeit für Leistungsbetrieb nach der 2. WKP der Notkühlkette, wenn die PSA eine entsprechende Unterteilung der Betriebsphasen berücksichtigt	Behälter[2]
Anlagenzustand Leistungsbetrieb oder Anlagenzustand 'Revision' und für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet	Dieselbelastungsprogrammstufe
Anlagenzustand 'Revision' und gleichzeitige Revisionsarbeiten in mehreren Redundanzen sind nicht durch Verriegelung im BFS ausgeschlossen	Dieselbelastungsprogrammstufe
Anlagenzustand: Revision	Dieselbelastungsprogrammstufe
Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	Druckmessungen: Messrohrleitung
Anlagenzustände nach Anfahrprüfung oder für vergleicherüberwachte Messstellen	Druckmessungen: Messrohrleitung

[1] Bewertet wurde ein zu geringer Füllstand.

[2] Bewertet wurde ein unzureichender Borgehalt.

Randbedingung	Komponentenart
Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	Druckmessungen: Messrohrleitung
Anlagenzustände vor Anfahrprüfung und nicht vergleicherüberwachte Messstellen	Druckmessungen: Messrohrleitung
Betriebliche Anforderung **beim Anfahren**	Kreiselpumpen
Betriebliche Anforderung **beim Leistungsbetrieb und in der Revision bis zum Beginn des Wiederanfahrens**	Kreiselpumpen
Anlagenzustand: An- oder Abfahren (wenn Detektoren eingefahren werden)	Neutronenflussmessungen
Anlagenzustand: Leistungsbetrieb oder wenn Detektoren bereits eingefahren sind	Neutronenflussmessungen
Anlagenzustand 'Revision' und für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet	Notstromdiesel
Anlagenzustand 'Revision' und gleichzeitige Revisionsarbeiten in mehreren Redundanzen sind nicht durch Verriegelung im BFS ausgeschlossen	Notstromdiesel

2.2.4 Ereignisablauf-spezifische Randbedingungen

Diese Randbedingungen werden definiert, um für bestimmte (Störfall-)Ereignisabläufe spezifische Randbedingungen zu erfassen, z. B. Störfallatmosphäre und Notstromfall.

Tab. 2-4: Ereignisablauf-spezifische Randbedingungen

Randbedingung	Komponentenart
Keine EVA	Batterien
Nur für EVA relevant	Batterien
Bei Auftreten von Überspannungstransienten (z. B. EVI/EVA)	Baugruppen
Ohne Überspannung	Baugruppen

Randbedingung	Komponentenart
Kein KMV, bei dem Messumformer der Störfallatmosphäre ausgesetzt ist	Druckmessungen: Messumformer
Messumformer der Störfallatmosphäre bei KMV ausgesetzt	Druckmessungen: Messumformer
Eigenbedarfsanlage nicht von der Notstromanlage abgekuppelt (kein Notstromfall)	Gleichrichter
Eigenbedarfsanlage von der Notstromanlage abgekuppelt (z. B. Notstromfall)	Gleichrichter
Kein Notstromfall	Leistungsschalter, mit Federantrieb (zwischen Unterverteilungen)
Wiederzuschalten nach Notstromfall	Leistungsschalter, mit Federantrieb (zwischen Unterverteilungen)
Bei ATWS	Neutronenflussmessungen
Kein ATWS	Neutronenflussmessungen
Kein Notstromfall	Ventilatoren
Notstromfall	Ventilatoren
Keine Magnetansteuerung von Vorsteuerventilen in Störfallatmosphäre bei KMV	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Magnetansteuerung von Vorsteuerventilen in Störfallatmosphäre bei KMV	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)

2.2.5 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten

Diese Gruppe von Randbedingungen stellt mit 154 verschiedenen Randbedingungen die größte Gruppe dar. Sie kann wie folgt weiter unterteilt werden:

- Technische Unterschiede im Aufbau der Systeme
    - Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen
    - Möglichkeit der Ausfallerkennung
    - Redundanztrennung

- Technische Unterschiede der Komponenten
  - Absteuerung
  - Sonstige spezielle technische Eigenschaften

2.2.5.1 Technische Unterschiede der Aufbau der Systeme

2.2.5.1.1 Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen

Diese Randbedingungen dienen zur Bewertung, ob die Möglichkeit besteht, dass besondere, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen auftreten. Beispiele für solche Belastungen sind Turbulenzen oder Gaseintrag.

Tab. 2-5: Randbedingungen zur Beschreibung der Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen

Randbedingung	Komponentenart
Schwingungen oder Turbulenzen möglich	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Schwingungen oder Turbulenzen nicht möglich	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Gaseintrag möglich	Kreiselpumpen
Gaseintrag nicht möglich	Kreiselpumpen
Pumpen mit einer Saugeleitung in der eine Gasansammlung möglich ist	Kreiselpumpen
Pumpen mit einer Saugeleitung in der keine Gasansammlung möglich ist	Kreiselpumpen
Keine Überwachung auf H2-Ansammlungen oder **Ventil nicht auf H2-Abblasen ausgelegt**	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)
Überwachung auf H2-Ansammlung und **Ventil ausgelegt auf H2-Abblasen**	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)

2.2.5.1.2 Möglichkeit der Ausfallerkennung

Durch diese Randbedingungen wird bewertet, ob ein Ausfall in anderen Komponentengruppen durch Betriebsbedingungen oder systemtechnische Gegebenheiten erheblich besser erkennbar ist. Ein Beispiel dafür sind Füllstandsmessungen, die normalerweise Vollausschlag haben, gegenüber sonstigen Füllstandsmessungen. Bei Füllstandsmessungen mit Vollausschlag ist z. B. nicht erkennbar, wenn durch falsch gestellte Absperr- und Ausgleichsarmaturen ein Ausfall in Richtung Vollausschlag auftritt, während ein solcher Ausfall bei anderen Füllstandsmessungen unmittelbar erkannt werden kann. Auch bei Komponenten, die ständig betrieben werden, ist in den meisten Fällen ein Ausfall unmittelbar erkennbar.

Tab. 2-6: Randbedingungen zur Beschreibung von Ausfallerkennungsmöglichkeiten

Randbedingung	Komponentenart
Ohne Selbstüberwachung	Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen
Selbstüberwachung	Brandmeldelinien Eingangsbaugruppen
Reaktorschutzgrenzwertgeber	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Ständig überwachte Reaktorschutz-Messstellen (z. B. über Vergleicher)	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Stille betriebliche Messstellen ohne Überwachung	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Messungen, die nicht ständig Vollausschlag haben und an die ein Grenzwert "Hoch" angeschlossen ist	Druckmessungen: Messrohrleitung
Ohne sofortige verfahrenstechnische Erkennungsmöglichkeit	Druckmessungen: Messumformer
Systeme, an die Grenzwertgeber oder Regelungen angeschlossen sind, die zu einem sofortigen Erkennen eines invertierten Signals führen	Druckmessungen: Messumformer
Regelventile in Betriebssystemen	Regelventile
Regelventile in Sicherheitssystemen	Regelventile
Keine Überwachung auf H_2-Ansammlungen oder Ventil nicht auf H_2-Abblasen ausgelegt	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)

Randbedingung	Komponentenart
Überwachung auf H_2-Ansammlung und Ventil ausgelegt auf H_2-Abblasen	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und **Differenzdruckmessung** und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen[3]	Wärmetauscher
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser), selten geprüft, **ohne Überwachung** und Reinigung	Wärmetauscher

2.2.5.1.3 Redundanztrennung

Durch diese Randbedingungen wird bewertet, ob eine hinreichende Redundanztrennung einen gemeinsamen Ausfall durch eine auf die Komponenten wirkende Schadensursache (z. B. Überflutung, bestimmte Instandhaltungsfehler) unmöglich macht.

Tab. 2-7: Randbedingungen für Redundanztrennung

Randbedingung	Komponentenart
Aufstellung in einem Raum	Kreiselpumpen
Aufstellung in getrennten Räumen	Kreiselpumpen
Anschlusskabel von mehreren Armaturen in einem Raum nebeneinander	Vorsteuerventile (motorbetätigt)
Vollständige örtliche Trennung der Anschlusskabel	Vorsteuerventile (motorbetätigt)

2.2.5.2 Technische Unterschiede der Komponenten

Mit diesen Randbedingungen sollen spezielle technische Eigenschaften der Komponenten berücksichtigt werden. Beispiele sind Armaturen mit oder ohne Rutschkupp-

[3] Diese Randbedingung ist so zu verstehen, dass sich ‘äquivalente Maßnahme‘ auf das Zusammenwirken von Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage bezieht. Wird die Hierarchie der logischen Verknüpfungen der Einzelbedingungen mit eckigen Klammern dargestellt, so lautet die Randbedingung „Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und [[Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage] oder äquivalente Maßnahmen]“

lung, Messumformer mit oder ohne Teflonbeschichtung, Vorsteuerventile nach dem Ruhestrom- oder Arbeitsstromprinzip.

Unter diesen Unterschieden sind verschiedene Ausführungen der Absteuerung von Ventilen mit 18 Randbedingungen am häufigsten.

2.2.5.2.1 Absteuerung

Tab. 2-8: Randbedingungen zur Beschreibung der Absteuerung von Ventilen

Randbedingung	Komponentenart
Absteuerung über Wegendschalter in Schließrichtung und Anlaufüberbrückung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Wegendschalter in Schließrichtung und keine Anlaufüberbrückung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Drehmoment in Offenstellung und Anfahrüberbrückung und verbessertes Prüfkonzept	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Drehmoment in Offenstellung und keine Anfahrüberbrückung	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Wegendschalter in Offenstellung und Anfahrüberbrückung und verbessertes Prüfkonzept	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Wegendschalter in Offenstellung und keine Anfahrüberbrückung und verbessertes Prüfkonzept	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und **Drehmoment nicht überbrückt**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und **Drehmoment überbrückt**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Mit Anfahrüberbrückung	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Anfahrüberbrückung	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und **Drehmoment nicht überbrückt**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und **Drehmoment überbrückt**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Absteuerung über Drehmomentschalter in Schließrichtung und Anlaufüberbrückung	Regelventile
Absteuerung über Drehmomentschalter in Schließrichtung und keine Anlaufüberbrü-ckung	Regelventile

2.2.5.2.2 Sonstige spezielle technische Eigenschaften

Tab. 2-9: Randbedingungen für sonstige spezielle technische Eigenschaften

Randbedingung	Komponentenart
Armaturen mit Rutschkupplung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Armaturen ohne Rutschkupplung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Mit Handantrieb kann nachweislich nicht so viel Kraft aufgebracht werden, dass Spindel-mutter beschädigt werden kann	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ältere Anlagen mit vergleichbaren Verlege-richtlinien	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Neuere Anlagen: bessere Verlegerichtlinien	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Selbsthemmung	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Selbsthemmung von Armatur oder Antrieb nachgewiesen für gesamtes Instandhaltungs-intervall	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Brandschutzklappe mit Bowdenzug	Brandschutzklappen
Brandschutzklappe ohne Bowdenzug	Brandschutzklappen
Geschweißte Messleitung plus Prüfung der Verschraubung am MU beim Anfahren	Differenzdruckmessungen (Lüftung)
Verschraubte Messleitung	Differenzdruckmessungen (Lüftung)

Randbedingung	Komponentenart
Betriebliche Anforderungen (bei **Tantal Kondensatoren mit deutlich längerer Lebensdauer**)	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Betriebliche Anforderungen (**ohne Berücksichtigung des technischen Details "Kondensator Typ"**)	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Grenzwertgeber in direkter Ansteuerung von Leistungsschützen	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Grenzwertgeber nicht in direkter Ansteuerung von Leistungsschützen	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Außenliegende Messleitung (nicht frostfrei)	Druckmessungen: Messrohrleitung
Nicht außenliegende Messleitung (frostfrei)	Druckmessungen: Messrohrleitung
Messumformer (allgemein) oder Bartonzelle	Druckmessungen: Messumformer
Rohrfeder oder Membran	Druckmessungen: Messumformer
Nicht teflonbeschichtete Messumformer	Kapazitive Füllstandsmessungen
Teflonbeschichtete Messumformer	Kapazitive Füllstandsmessungen
Keine Tauchpumpen	Kreiselpumpen
Keine Spaltrohrpumpen	Kreiselpumpen
Spaltrohrpumpen	Kreiselpumpen
Tauchpumpen	Kreiselpumpen
Diesel mit nach außen führenden Ölleitungen	Notstromdiesel
Diesel ohne nach außen führende Ölleitungen	Notstromdiesel
Gleitlager mit Ölvorwärmung am Generator	Notstromdiesel
Wälzlager am Generator	Notstromdiesel
Signal "Öldruck tief" ist im vorrangigen Aggregateschutz	Notstromdiesel

Randbedingung	Komponentenart
Signal "Öldruck tief" ist nicht im vorrangigen Aggregateschutz	Notstromdiesel
Bewertung für Hauptarmaturen, wenn externe Steuerleitungen mit Kugelrückschlagventilen vorhanden sind	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)
Bewertung für Hauptarmaturen, wenn keine externen Steuerleitungen mit Kugelrückschlagventilen vorhanden sind	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)
Bei Vorrangbaugruppen Iskamatic: startet nicht aus Reaktorschutz	Ventilatoren
Mit Chrombeschichtung	Vorsteuerventile (federbelastet)
Ohne Chrombeschichtung	Vorsteuerventile (federbelastet)
Arbeitsstrom	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Ruhestrom	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
federbelastete Vorsteuerventile ohne magnetische Zusatzbelastung	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Hauptventil arbeitet im Belastungsprinzip	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Hauptventil arbeitet im Entlastungsprinzip	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Magnetventil wird in Arbeitsstromschaltung betrieben	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Magnetventil wird in Ruhestromschaltung betrieben	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und Differenzdruckmessung und WKP und **Taproggeanlage** oder äquivalente Maßnahmen[4]	Wärmetauscher

[4] Zur Hierarchie der logischen Verknüpfungen siehe Fußnote 3 auf Seite 12

Randbedingung	Komponentenart
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser), selten geprüft, **ohne** Überwachung und **Reinigung**	Wärmetauscher

2.2.6 Medien

Mit diesen Randbedingungen soll eine Auswirkung der Medien auf das Ausfallverhalten von Komponenten bewertet werden, z. B. Deionat im Gegensatz zu Flusswasser.

Tab. 2-10: Randbedingungen für Medien

Randbedingung	Komponentenart
Kein Schmutz- bzw. Rohwassersystem (z. B. Feuerlöschwasser), das nicht regelmäßig (z. B. jährlich versetzt) gespült wird	Druckmessungen: Messrohrleitung
Sauberwasser	Druckmessungen: Messrohrleitung
Schmutz- bzw. Rohwassersysteme (z. B. Feuerlöschwasser), die nicht regelmäßig (z. B. jährlich versetzt) gespült werden	Druckmessungen: Messrohrleitung
Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser)	Druckmessungen: Messrohrleitung
Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), mit WKP auf Durchlässigkeit der Messleitungen	Druckmessungen: Messrohrleitung
Einsatz in Deionatsystemen	Kapazitive Füllstandsmessungen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb mit Ansaugung von **Sauberwasser** oder kontinuierlicher Pumpenbetrieb mit beliebiger Wasserqualität	Kreiselpumpen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von **Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser),** mit angemessener (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen

Randbedingung	Komponentenart
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von **Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser)**, ohne angemessene (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen
Medium Deionat	Kreiselpumpen
Medium Fluss- oder Meerwasser	Kreiselpumpen
Medium ist kein Fluss- oder Meerwasser	Kreiselpumpen
Systeme mit einem Medium, das ablagerungsfähige bzw. ausfällbare Substanzen enthält	Sicherheitsventile (federbelastet - zur Druckabsicherung von Rohrleitungen etc.)
Systeme mit einem Medium, das keine ablagerungsfähigen bzw. ausfällbaren Substanzen enthält	Sicherheitsventile (federbelastet - zur Druckabsicherung von Rohrleitungen etc.)
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen	Wärmetauscher
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser), selten geprüft, ohne Überwachung und Reinigung	Wärmetauscher

2.2.7 Betriebshäufigkeit

Mit diesen Randbedingungen soll eine Auswirkung der Häufigkeit des Betriebes von Komponenten, z. B. die Häufigkeit von Betätigungen von Schaltern, auf das Ausfallverhalten berücksichtigt werden. Da eine Prüfung mit einer Betätigung verbunden ist, überschneidet sich diese Klasse mit der Klasse ‘Prüfintervall‘ (siehe 2.2.9.4).

Tab. 2-11: Randbedingungen für die Betriebshäufigkeit

Randbedingung	Komponentenart
Jährlich geprüft	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)

Randbedingung	Komponentenart
Jährlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Selten durchströmt (Klappenteller ist immer in definierten Betriebsstellungen)	Rückschlagklappen
Ständig durchströmt (Betriebsbedingte ständige Klappenbewegung)	Rückschlagklappen
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

2.2.8 Betriebsbedingungen

Mit diesen Randbedingungen soll eine Auswirkung der sonstigen Betriebsbedingungen, denen Komponenten ausgesetzt werden, auf ihr Ausfallverhalten bewertet werden, z. B. heißgehende Systeme im Gegensatz zu kaltgehenden.

Tab. 2-12: Randbedingungen für sonstige Betriebsbedingungen

Randbedingung	Komponentenart
Heißgehende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Kaltgehende Systeme und Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kein Schmutz- bzw. Rohwassersystem (z. B. Feuerlöschwasser), das **nicht regelmäßig (z. B. jährlich versetzt) gespült wird**	Druckmessungen: Messrohrleitung
Druckmessung in einem Medium, das seinen Druckinhalt schlagartig verändern kann (z. B. durch Druckstöße bei Abblasevorgängen)	Druckmessungen: Messumformer
Keine Druckmessung in einem Medium, das seinen Druckinhalt schlagartig verändern kann (z. B. durch Druckstöße bei Abblasevorgängen)	Druckmessungen: Messumformer
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb mit Ansaugung von Sauberwasser oder **kontinuierlicher Pumpenbetrieb** mit beliebiger Wasserqualität	Kreiselpumpen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), mit angemessener (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), ohne angemessene (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben aber redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und r edundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Mit Wirkleistungsmessung über Strom- und Spannungsmessung bei allen Armaturenfahrten sowie Auswertung bzgl. Wirkleistungsaufnahme, Drehmoment und Reibbeiwert (z. B. durch Vergleich mit regelmäßigen Prüfstandsmessungen) und Trendauswertung	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessung bei allen Armaturenfahrten	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Wirkleistungsmessprogramm mit größeren Prüfintervallen als die WKP	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltungsanweisung schreibt Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vor	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme **ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme und **Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Instandhaltungsanweisung, die Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vorschreibt	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen aber gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen und Möglichkeit zur gleichzeitigen Instandhaltung in mehreren Redundanzen in einer Revision	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Absteuerung über Drehmoment in Offenstellung und Anfahrüberbrückung und **verbessertes Prüfkonzept**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

2.2.9 Instandhaltung

Randbedingungen, die die Instandhaltung betreffen, kommen 69-mal vor. Sie können weiter untergliedert werden in:

- Verschieden aufwändige Überwachungen,
- Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen,
- Qualität und Umfang der Wiederkehrenden Prüfungen,
- verschiedene Prüfintervalle und
- sonstige Aspekte der Instandhaltung.

2.2.9.1 Verschieden aufwändige Überwachungen

Diese Randbedingungen beschreiben verschieden aufwändige Überwachungen, so dass sich entwickelnde Schäden verschieden frühzeitig erkannt werden können (z. B. Wirkleistungsmessung bei jeder Betätigung einer Armatur und Trendauswertung).

Tab. 2-13: Randbedingungen für verschieden aufwändige Überwachungen

Randbedingung	Komponentenart
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben aber redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Mit Wirkleistungsmessung über Strom- und Spannungsmessung bei allen Armaturenfahrten sowie Auswertung bzgl. Wirkleistungsaufnahme, Drehmoment und Reibbeiwert (z. B. durch Vergleich mit regelmäßigen Prüfstandsmessungen) und Trendauswertung	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessung bei allen Armaturenfahrten	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Wirkleistungsmessprogramm mit größeren Prüfintervallen als die WKP	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltungsanweisung schreibt Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vor	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme **ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Kaltgehende Systeme und **Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Instandhaltungsanweisung, die Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vorschreibt	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen aber gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen und Möglichkeit zur gleichzeitigen Instandhaltung in mehreren Redundanzen in einer Revision	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

Randbedingung	Komponentenart
Absteuerung über Drehmoment in Offenstellung und Anfahrüberbrückung und **verbessertes Prüfkonzept**	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Nach einer Instandhaltung findet keine zusätzliche Wirkleistungsmessung statt	Regelventile
Nach jeder Instandhaltung findet eine zusätzliche Wirkleistungsmessung statt	Regelventile
Nach Instandhaltungsmaßnahmen auf Prüfstand ist eine direkte Funktionsprüfung vorgeschrieben	Vorsteuerventile (federbelastet)
Nach Instandhaltungsmaßnahmen auf Prüfstand ist keine direkte Funktionsprüfung vorgeschrieben	Vorsteuerventile (federbelastet)
Häufigere Prüfung (z. B. monatlich) mit **Überwachung des Losbrechmoments des Hubmagneten**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)

2.2.9.2 Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen

Wenn Instandhaltungsvorgänge gleichzeitig redundanzübergreifend durchgeführt werden dürfen, wird dadurch die Möglichkeit herbeigeführt, gleichzeitig Instandhaltungsfehler in mehrere redundante Komponenten einzubringen.

Tab. 2-14: Randbedingungen für die Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen

Randbedingung	Komponentenart
Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturenkennkarten und **redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturenkennkarten, **redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung ohne komponentenspezifische Armaturenkennkarten aber **redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung ohne komponentenspezifische	Absperrklappen (motorbetätigt),

Randbedingung	Komponentenart
Armaturenkennkarten und **redundanz-übergreifende Instandhaltung zulässig**	Wasser führende Systeme
Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und **redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und **redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben aber **redundanz-übergreifende Instandhaltung nicht zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und **redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig**	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
In einer Revision ist gleichzeitige Instand-haltung in mehreren Redundanzen möglich	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen aber **gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen und **Möglichkeit zur gleich-zeitigen Instandhaltung in mehreren Redundanzen in einer Revision**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Anlagenzustand Leistungsbetrieb oder Anlagenzustand ‘Revision‘ und **für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann** und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet	Dieselbelastungsprogrammstufe
Anlagenzustand ‘Revision‘ und **gleichzeitige Revisionsarbeiten in mehreren Redundanzen sind nicht durch Verriegelung im BFS ausgeschlossen**	Dieselbelastungsprogrammstufe
Anlagenzustand ‘Revision‘ und **für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden**	Notstromdiesel

Randbedingung	Komponentenart
kann und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet	
Anlagenzustand ‘Revision‘ und **für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann** und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet	Notstromdiesel

2.2.9.3 Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen

Mit dieser Klasse werden Qualität und Umfang der Wiederkehrenden Prüfungen beschrieben. So wird z. B. zwischen anforderungsgerechten und nur teilweise anforderungsgerechten Prüfungen unterschieden.

Tab. 2-15: Randbedingungen für Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen

Randbedingung	Komponentenart
Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Nicht wiederkehrend mit Differenzdruck geprüfte Klappen	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Wiederkehrend mit Differenzdruck geprüfte Klappen	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Nach jeder Instandhaltungsmaßnahme findet eine anforderungsgerechte Prüfung statt (Anforderung mit Differenzdruck)	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Nicht anforderungsgerechte Prüfung (Anforderung mit Differenzdruck)	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Nicht nach jeder Instandhaltungsmaßnahme findet eine anforderungsgerechte Prüfung statt (Anforderung mit Differenzdruck)	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
In der Sicherheitsspezifikation ist ein Haltepunkt beim Wiederanfahren festgelegt, der fordert, dass Flutbehälter erst verfügbar gemeldet werden, wenn nach dem Wiederauffüllen ein ausreichend langer Umwälzbetrieb gefahren wird und **in unterschiedlichen Höhen eine ausreichende Borkonzentration gemessen wird**	Behälter[5]

[5] Bewertet wurde ein unzureichender Borgehalt.

Randbedingung	Komponentenart
In der Sicherheitsspezifikation ist kein Haltepunkt beim Wiederanfahren festgelegt, der fordert, dass Flutbehälter erst verfügbar gemeldet werden, wenn nach dem Wiederauffüllen ein ausreichend langer Umwälzbetrieb gefahren wird und **in unterschiedlichen Höhen eine ausreichende Borkonzentration gemessen wird**	Behälter[5]
Anlagenzustand Leistungsbetrieb oder Anlagenzustand 'Revision' und für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann und **immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet**	Dieselbelastungsprogrammstufe
Geschweißte Messleitung plus **Prüfung der Verschraubung am MU beim Anfahren**	Differenzdruckmessungen (Lüftung)
Nach Sicherheitsspezifikation geprüfte Reaktorschutzmessstellen	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Erkennungsmöglichkeit vorhanden durch anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung	Druckmessungen: Messrohrleitung
Keine anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung	Druckmessungen: Messrohrleitung
Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), **mit WKP auf Durchlässigkeit der Messleitungen**	Druckmessungen: Messrohrleitung
Durchflussmessungen ohne Möglichkeiten zur unabhängigen Kontrolle der absoluten Mengen	Druckmessungen: Messumformer
Durchflussmessungen, die unter realen Anforderungsbedingungen betrieben oder **geprüft werden** oder für die andere Messgrößen zur unabhängigen Kontrolle der absoluten Durchflussmenge existieren	Druckmessungen: Messumformer
Betriebssysteme	Luftkühler
Sicherheitssysteme mit entsprechendem Prüfkonzept	Luftkühler

Randbedingung	Komponentenart
Anlagenzustand ‘Revision‘ und für alle Revisionsarbeiten ist durch Verriegelung im BFS sichergestellt, dass nicht in 2 Redundanzen gleichzeitig gearbeitet werden kann **und immer eine Funktionsprüfung mit Bestätigung der Betriebsbereitschaft zum Abschluss der Arbeiten stattfindet**	Notstromdiesel
Anlagenzustand ‘Revision‘ und gleichzeitige Revisionsarbeiten in mehreren Redundanzen sind nicht durch Verriegelung im BFS ausgeschlossen	Notstromdiesel
Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - Bewertung für 2-strängige Systeme	Regelventile
Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - Expertenschätzung für mehr als 2-strängige Systeme	Regelventile
Regelventile ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - Bewertung für 2-strängige Systeme	Regelventile
Regelventile ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb (nur für betriebliche Regelung übertragbar) - Expertenschätzung für mehr als 2-strängige Systeme	Regelventile

2.2.9.4 Prüfintervall

In der PSA wird die Abhängigkeit der mittleren Nichtverfügbarkeiten durch GVA von Testintervall und Testschema durch eine mathematisch-stochastische Modellierung berücksichtigt. Randbedingungen dieser Kategorie wurden eingeführt, um eine davon abweichende Bewertung der Auswirkung eines in der Zielkomponentengruppe abweichenden Testintervalls bzw. Testschemas durch Experten zu ermöglichen.

Bei der derzeitigen statistischen Modellierung in der PSA führt ein kürzeres Prüfintervall zu einer proportional geringeren berechneten Nichtverfügbarkeit durch GVA. Die erwartete Anzahl ausgefallener Komponenten, wenn ein GVA-Phänomen aufgetreten ist, ist vom Testintervall nicht abhängig. Für sehr langsam ablaufende Schädigungsmechanismen kann jedoch bei kürzerem Prüfintervall eventuell eine Schädigung er-

kannt werden, bevor mehrere Komponenten ausfallen. Für GVA-Ereignisse, bei denen erwartet werden kann, dass die Komponentenschädigungen bei kürzerem Prüfintervall deutlich schwächer gewesen wären, soll durch Expertenschätzungen die zu erwartenden Schädigungen in Komponentengruppen mit kürzerem Prüfintervall abgeschätzt werden. Prinzipiell ist eine entsprechende Vorgehensweise auch in umgekehrter Richtung möglich, wurde jedoch bisher nicht angewandt.

Tab. 2-16: Randbedingungen für Prüfintervalle

Randbedingung	Komponentenart
Häufigere Prüfung (z. B. monatlich) mit Überwachung des Losbrechmoments des Hubmagneten	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Jährlich geprüft	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Jährlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)
Monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)

2.2.9.5 Sonstige Aspekte der Instandhaltung

Tab. 2-17: Randbedingungen für sonstige Aspekte der Instandhaltung

Randbedingung	Komponentenart
Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturenkennkarten und redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturenkennkarten, redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung ohne komponentenspezifische Armaturenkennkarten aber redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Instandhaltung ohne komponentenspezifische Armaturenkennkarten und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme

2.2.10 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten

Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten stellen keine Randbedingungen im eigentlichen Sinne dar. Sie wurden definiert, um Bewertungen für spezielle Ausfallarten vorzunehmen, die in der GVA-Datenbank nicht vorgesehen sind, da sie in der PSA nur für Sonderfälle verwendet werden wie zum Beispiel langfristige Maßnahmen über betriebliche Einrichtungen nach Rücksetzen der Reaktorschutzsignale. Die häufigste Unterscheidung betrifft Betriebliche Anforderungen im Gegensatz zu Anforderungen aus dem Reaktorschutz.

2.2.10.1 Betriebliche Anforderungen/Anforderungen aus dem Reaktorschutz

Diese Randbedingungen werden definiert, um verschiedenes Verhalten derselben Komponenten bei betrieblichen Anforderungen und Anforderungen aus dem Reaktorschutz zu erfassen. Dies betrifft insbesondere die Wirksamkeit von Aggregateschutzsignalen.

Tab. 2-18: Randbedingungen zur Unterscheidung zwischen betrieblichen Anforderungen und Anforderungen aus dem Reaktorschutz

Randbedingung	Komponentenart
Betriebliche Anforderungen (bei Tantal-Kondensatoren mit deutlich längerer Lebensdauer)	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Betriebliche Anforderungen (ohne Berücksichtigung des technischen Details ‘Kondensator Typ‘)	Druckmessungen: Grenzwertgeber
Anforderung aus Reaktorschutz	Kältemaschinen
Anforderung nicht aus Reaktorschutz	Kältemaschinen
Betriebliche Anforderung	Kältemaschinen
Betriebliche Anforderung beim Anfahren	Kreiselpumpen
Betriebliche Anforderung beim Leistungsbetrieb und in der Revision bis zum Beginn des Wiederanfahrens	Kreiselpumpen
Anforderung mit scharfem betrieblichen Aggregateschutz	Notstromdiesel

Randbedingung	Komponentenart
Betriebliche Regelung	Regelventile
Startet nicht betrieblich oder **aus Reaktorschutz** bei Geamatic, Simatic	Ventilatoren

2.2.10.2 Weitere Ausfallarten

Weitere Ausfallarten betreffen u. a. Klappen, bei denen zwischen absoluter Dichtheit und Vermeidung einer Strömungsumkehr unterschieden werden soll, Fernauslösung und Schmelzlotauslösung von Brandschutzklappen, sowie die Offenhaltungsfunktion von eigenmediumgesteuerten Sicherheits- und Entlastungsventilen.

Tab. 2-19: Randbedingungen für weitere Ausfallarten

Randbedingung	Komponentenart
‘Normale‘ Schließfunktion (z. B. zur Vermeidung einer Strömungsumkehr)	Rückschlagventile
‘Normale‘ Schließfunktion (z. B. zur Vermeidung einer Strömungsumkehr)	Rückschlagventile (absperrbar)
Absolute Dichtheitsanforderung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Keine 100 %-Dichtheitsanforderung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Schnellschlussfunktion von Radialschiebern	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Schließfunktion über Motorantrieb	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme
Auslösung über Schmelzlot	Brandschutzklappen
Fernauslösung	Brandschutzklappen
Fernauslösung	Feuerlöschventile
Handauslösung	Feuerlöschventile
Schließt nicht dicht zur Vermeidung eines Druckaufbaus in angeschlossenen Systemen oder einer Leckage	Rückschlagventile

Randbedingung	Komponentenart
Druckentlastung mit Offenhalteeinrichtung	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)
Schließt nicht nach Öffnen	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)

2.2.11 Weitere Unterscheidungsmerkmale von Randbedingungen

Die Randbedingungen können auch danach unterschieden werden danach, ob sie

- Unterschiede in fehlererzeugenden Mechanismen,
- Unterschiede in den Möglichkeiten, Fehler, Schäden und Ausfälle zeitnah zu erkennen,

beschreiben. Eine damit verknüpfte Unterscheidung betrifft die in Expertenbewertungen zu beantwortende Frage, ob bei verschieden Randbedingungen GVA-Ereignisse

- mit abweichender Rate bzw. Wahrscheinlichkeit oder
- mit abweichenden Auswirkungen (Stärke der Funktionsbeeinflussungen, Anzahl betroffener Komponenten)

auftreten würden. Hierbei sind natürlich auch Kombinationen möglich.

2.2.12 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die in der Datenbasis definierten Randbedingungen bisher keiner allgemeinen Systematik genügen. Bei der Durchführung der Ereignisbewertungen sahen die Experten immer wieder die Notwendigkeit, Randbedingungen neu zu definieren, um möglichst realistische Bewertungen zu ermöglichen. Die mit der daraus resultierenden großen Anzahl von Randbedingungen verknüpften Probleme wurden noch nicht gesehen. Randbedingungen wurden also bei der Bewertung einzelner Ereignisse definiert, ohne dass ein generelles Konzept darüber vorlag, wann die Einführung neuer Randbedingungen zulässig und erforderlich ist. Dies führte dazu, dass vielfach Randbedingungen

- sich auf sehr spezifische Gegebenheiten der aufgetretenen GVA-Ereignisse bzw. der betroffenen Einrichtungen beziehen (z. B. technische Details wie Verwendung

von Tantalkondensatoren auf elektronischen Baugruppen oder Teflonbeschichtungen von Messumformern),

- sehr spezifische Gegebenheiten in Anlagen, für die GVA-Daten zu ermitteln waren, berücksichtigen (z. B. „Mit Wirkleistungsmessung über Strom- und Spannungsmessung bei allen Armaturenfahrten sowie Auswertung bzgl. Wirkleistungsaufnahme, Drehmoment und Reibbeiwert (z. B. durch Vergleich mit regelmäßigen Prüfstandsmessungen) und Trendauswertung“).

Im Ergebnis führte dies dazu, dass

- die meisten Randbedingungen nur in einer einzigen Ereignisbewertung verwendet wurden,
- die meisten Randbedingungen die Kombination von mehreren (bis zu vier) Einzelbedingungen sind,
- es vielfach sehr ähnliche, aber nicht vollständig identische Randbedingung gibt.

Zur statistisch korrekten Schätzung von Zuverlässigkeitskenngrößen ist es erforderlich, die zu jeder definierten Randbedingung entsprechenden Beobachtungszeiten bzw. Anzahl der Anforderungen zu ermitteln[6]. Bei dem vorliegenden System ist dies nicht praktikabel.

Deshalb ist es erforderlich, das vorhandene System der Randbedingungen zu überarbeiten, mit dem Ziel eine wesentlich geringere Anzahl von verschiedenen Randbedingungen zu erhalten, so dass für alle Randbedingungen bzw. alle möglichen Kombinationen die Bezugsgrößen ermittelbar sind. Dazu sollte

- auf zu detaillierte Randbedingungen verzichtet werden,
- wenn technisch sinnvoll und bei der vorliegenden Menge an Betriebserfahrung möglich, Populationen aufgeteilt werden, und

---

[6] Die Notwendigkeit dazu kann man sich an einem einfachen Beispiel verdeutlichen: Bei Messumformern können bestimmte GVA-Phänomene wie Festklemmen des Gestänges nur bei Messumformern, die ein solches Gestänge aufweisen (Bartonzellen) auftreten. Diese Ereignisse sind nur auf Bartonzellen übertragbar. Zur Bestimmung der Rate dieser Ereignisse darf nur die Beobachtungszeit der Komponentengruppen mit Bartonzellen verwendet werden. Wird demgegenüber die Gesamtbeobachtungszeit aller Messumformerkomponentengruppen als Bezugszeit verwendet, so führt dies zu einer systematischen Unterschätzung der Nichtverfügbarkeit von Bartonzellen durch GVA.

- die verbleibenden Randbedingungen vereinheitlicht werden.

Bei der Überarbeitung des Systems der Randbedingungen ist auch zu berücksichtigen, dass in den letzten Jahren die Datenbasis durch Auswertung zusätzlicher jüngerer Betriebserfahrung erheblich erweitert wurde. Deshalb könnte es möglich sein, bestimmte ältere Betriebserfahrung nicht mehr einzubeziehen und auf Randbedingungen, die zur Übertragung der damals beobachteten Ereignisse auf heute vorliegende Verhältnisse dienen, zu verzichten. Mögliche Beispiele dafür könnten Randbedingungen zur Berücksichtigung der Überwachung, z. B. Wirkleistungsmessungen, sein.

Im Abschnitt 2.3 werden Grundsätze zur Aufstellung eines verbesserten Systems von Randbedingungen dargestellt.

Zunächst wird jedoch untersucht, welche quantitativen Bewertungen die Experten bisher bei Ereignissen, für die verschiedene Randbedingungen definiert wurden, vorgenommen haben.

2.3 Quantitative Bewertung der Übertragbarkeit

Allgemein muss eine Bewertung der Übertragbarkeit von GVA-Phänomenen in Abhängigkeit von den verschiedenen möglichen Randbedingungen unter Verwendung der Informationen aus dem betreffenden Ereignis erfolgen. Es ist nicht nur der eigentliche Übertragbarkeitsfaktor zu bestimmen, sondern auch zu bewerten, ob unter den verschiedenen Randbedingungen ein zu dem tatsächlich beobachteten Schädigungsvektor abweichender Schädigungsvektor auftreten würde.

2.3.1 Übersicht über die bisher vorgenommenen Expertenbewertungen bei Ereignissen, für die verschiedene Randbedingungen definiert wurden

Zunächst wird allgemein dargestellt, welche Übertragbarkeitsfaktoren von den Experten für ihre Bewertungen verwendet wurden.

Dabei ist einerseits zu beachten, dass in der Datenbank der eigentliche Übertragbarkeitsfaktor (‘applicability factor‘) vielfach nicht einzeln abgespeichert wurde; vielmehr wurde in den meisten Fällen das Produkt aus Übertragbarkeitsfaktor, Zeitfaktor (‘time factor‘) und Ursachengleichheitsfaktor (‘shared cause factor‘) eingegeben. Der Zeitfak-

tor wird bei eingeschränkter Gleichzeitigkeit der beobachteten Ausfälle in einer Komponentengruppe mit einem Wert kleiner 1 bewertet. Der Ursachengleichheitsfaktor wird mit einem Wert kleiner 1 bewertet, wenn Experten unsicher sind, ob die Ausfälle tatsächlich eine gemeinsame Ursache haben /NEA 04/. Es lag jedoch nur in einer sehr geringen Anzahl von Ereignissen eine eingeschränkte Gleichzeitigkeit oder ein von 1 abweichender Ursachengleichheitsfaktor vor, so dass die im Folgenden dargestellten Ergebnisse qualitativ auch für die eigentliche Übertragbarkeit gültig sind.

Andererseits ist zu beachten, dass zu den verschiedenen Ereignissen/Randbedingungen eine unterschiedliche Anzahl von Expertenbewertungen vorliegt (zwischen 1 und 6).

In Tabelle 2.19 ist dargestellt, wie häufig die einzelnen numerischen Werte des Übertragbarkeitsfaktors in einzelnen Expertenbewertungen von GRS-Experten gewählt wurden.

Tab. 2-20: Häufigkeiten der verschiedenen Werte des Übertragbarkeitsfaktors für alle Bewertungen von GRS-Experten

Übertragbarkeits-faktor f	Anzahl Bewertungen	Anteil in %
0	399	14,76
0,003	10	0,37
0,01	65	2,40
0,02	7	0,26
0,05	36	1,33
0,1	353	13,06
0,2	40	1,48
0,25	1	0,04
0,3	14	0,52
0,5	98	3,63
0,7	3	0,11
0,8	1	0,04

Übertragbarkeits-faktor f	Anzahl Bewertungen	Anteil in %
0,9	2	0,07
1	1674	61,93

Insgesamt sind 2703 Einzelbewertungen von GRS-Experten in der Datenbank enthalten. In den meisten Bewertungen wurde eine volle Übertragbarkeit gesehen, in 14 % der Fälle keine Übertragbarkeit.

In der überwiegenden Mehrheit von Bewertungen wurden f = 1, f = 0,5, f = 0,1, f = 0,01 oder f = 0 verwendet. Nur in weniger als 5% der Bewertungen wählten die Experten einen anderen Wert. Der Bereich um 0,1 ist der am meisten verwendete, wenn man von voller Übertragbarkeit (f = 1) und keiner Übertragbarkeit (f = 0) absieht. Somit wird in den allermeisten Fällen eine relativ grobe Skala der Übertragbarkeit verwendet. Dies ist verständlich, da nur sehr selten Informationen zur Verfügung stehen, die eine sehr genaue quantitative Bestimmung des Übertragbarkeitsfaktors erlauben.

Ein weiteres auffälliges Merkmal ist, dass Übertragbarkeitsfaktoren f > 1 niemals vergeben wurden. Sie wären eigentlich immer dann erforderlich, wenn in in der PSA zu betrachtenden Zielkomponentengruppen Randbedingungen gegeben sind, die eine erheblich erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer GVA-Phänomenklasse bedingen. Ein Beispiel hierfür wäre ein GVA-Ereignis, das trotz einer vorhandenen Überwachungsmaßnahme aufgetreten ist, weil diese Maßnahme versagt hat. Für eine Komponentengruppe, bei der keinerlei Überwachungsmaßnahme vorhanden ist, wäre eine Randbedingung ‘ohne Überwachung‘ zu definieren; die Übertragbarkeit auf Komponentengruppen mit dieser Randbedingung wäre mit einer Übertragbarkeit > 1 zu bewerten (siehe dazu auch Abschnitt 2.3).

Im Folgenden werden die quantitativen Bewertungen für die in Abschnitt 2.1 definierten Kategorien von Randbedingungen näher diskutiert.

2.3.2 Kleine und große Redundanzgrade

Die Rate von GVA-Phänomenen hängt im Allgemeinen nicht von der Gruppengröße einer Komponentengruppe ab. Deshalb ist der Übertragbarkeitsfaktor im Allgemeinen f = 1. Bei den zwei vorhandenen Randbedingungen dieser Kategorie, die nur aus einer

Einzelbedingung bestehen, wurde entsprechend von allen Experten f = 1 gewählt. Der Schädigungsvektor ist von der aufgetretenen Phänomenart, den Prüfungen und Überwachungsmaßnahmen abhängig; für ihn können keine allgemeinen Angaben gemacht werden. Wesentliche zu betrachtende Aspekte sind, mit welcher Geschwindigkeit sich die Verschlechterung der Komponentenzustände vollzieht und durch welche Prüfungen und Überwachungsmaßnahmen die Komponentenschädigungen erkannt werden.

2.3.3 Anforderungsdauern

Um in der PSA speziell bestimmte Arten von GVA-Phänomen modellieren zu können, die nicht unmittelbar, sondern erst nach einer gewissen Betriebszeit zum Ausfall von Komponentenführen können, sind für zwei Komponentenarten (Kreiselpumpen und Notstromdiesel) kurze bzw. lange Anforderungsdauern als Bewertungsrandbedingungen definiert. Bei der Bewertung kommen sowohl ein von 1 abweichende Übertragbarkeitsfaktor als auch ein zu dem beobachteten Schädigungsvektor abweichender Schädigungsvektor in Frage. Die genauen Werte sind nur anhand der aufgetretenen Phänomenart zu bestimmen.

Bei den drei an Notstromdieseln aufgetretenen Fällen wurde der Schädigungsvektor in der Bewertung für kurzfristige Anforderungen nicht modifiziert; als Übertragbarkeitsfaktor wurde f = 0,5 bzw. f = 0,1 oder f = 0,2 gewählt. Nach der Ereignisbeschreibung wäre aber auch eine Bewertung durch einen modifizierten Schädigungsvektor plausibel gewesen. Diese Vorgehensweise wurde bei dem Kreiselpumpen betreffenden Fall gewählt, wo für kurze Anforderungsdauern die Komponenten als schwächer geschädigt angesehen wurden.

Bei der Bewertung müsste einbezogen werden, dass Anforderungsdauern durch die stochastische Modellierung in der PSA bei der Ausfallart „Betriebsversagen“, der alle hier bewerteten Fälle zugeordnet wurden, bereits automatisch berücksichtigt werden; es ist durch den Experten nur die Abweichung von dieser Modellierung zu bewerten, um eine doppelte Berücksichtigung der Anforderungsdauern zu vermeiden. Eine Berücksichtigung ist auch nur möglich, wenn man die Anforderungsdauern, die in der PSA verwendet werden, kennt (siehe dazu auch Abschnitt 2.3).

2.3.4 Anlagenbetriebsphase

Bei dieser Kategorie von Randbedingungen war in den meisten vorliegenden Fällen zu bewerten, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine zu einem bestimmten Zeitpunkt durchgeführte Prüfung einen Ausfall entdeckt hätte. Bei einer solchen Bewertung ist insbesondere zu berücksichtigen, inwieweit die Prüfung anforderungsgerecht ist, dass heißt mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Komponentenzustand, der im Anforderungsfall zu einem Ausfall führt, entdeckt wird. Es wurden Übertragbarkeitsfaktoren von f = 0, f = 0,01, f = 0,1, f = 0,5, und f = 1 vergeben, während keine Modifikationen des Schädigungsvektors vorgenommen wurde.

2.3.5 Ereignisablauf- spezifische Randbedingungen

Diese Randbedingungen werden definiert, um spezifische Randbedingungen für bestimmte (Störfall-)Ereignisabläufe wie z. B. Kühlmittelverluststörfälle (KMV) oder ATWS (*A*nticipated *T*ransient *W*ithout *S*cram) zu erfassen. Da die in den Randbedingungen abgefragten Bedingungen, wie z. B. Kühlmittelverluststörfallatmosphäre in der PSA, entweder vorliegen oder nicht vorliegen, werden in allen Fällen die Ereignisse als voll übertragbar (f = 1) oder als nicht übertragbar (f = 0) angesehen[7]

2.3.6 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten

2.3.6.1 Technische Unterschiede im Aufbau der Systeme

2.3.6.1.1 Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen

Nach Auffassung der GRS ist das Vorliegen der Randbedingungen zu diesem Themenbereich teilweise nicht nachweisbar. Deshalb sollten diese Randbedingungen zum

---

[7] Hinweis: In einzelnen Fällen ist in den Datensätzen ein Faktor f = 0,1 abgelegt. Dieser resultiert hier aber nicht aus einer eingeschränkten Übertragbarkeit, sondern aus einer eingeschränkten Gleichzeitigkeit der Komponentenschädigungen. In der deutschen GVA-Datenbank wird nur ein Gesamtwert (Produkt aus Übertragbarkeitsfaktor, Gleichzeitigkeitsfaktor (time factor) und Ursachengleichheitsfaktor (shared cause factor)) festgehalten.

Teil entfallen. Die Randbedingungen ‘Überwachung auf H_2-Ansammlung und Ventil ausgelegt auf H_2-Abblasen‘ und ‘Keine Überwachung auf H_2-Ansammlungen oder Ventil nicht auf H_2-Abblasen ausgelegt‘, die bestehen bleiben sollte, stellen jeweils Kombinationen mehrerer Bewertungsaspekte dar. Das entsprechende Ereignis wurde von allen Experten als nicht übertragbar bzw. voll übertragbar eingestuft.

2.3.6.1.2 Möglichkeit der Ausfallerkennung

Durch diese Randbedingungen wird bewertet, ob ein Ausfall in anderen Komponentengruppen durch Betriebsbedingungen oder systemtechnische Gegebenheiten besser erkennbar ist als in derjenigen, in der das GVA-Ereignis beobachtet wurde oder weil Komponenten ständig betrieben werden und ein Ausfall unmittelbar erkannt werden kann. Mit diesen Randbedingungen wurde in den meisten Fällen das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von (Selbst-)Überwachungseinrichtungen, aber auch unmittelbare verfahrenstechnische Erkennbarkeit berücksichtigt. Es wurde praktisch nur die Bewertungen ‘voll übertragbar‘ und ‘nicht übertragbar‘ angewandt; nur in einem Fall wurde von einem Experten das mögliche Versagen einer vorhandenen Selbstüberwachung in Form einer eingeschränkten Übertragbarkeit (f = 0,01) berücksichtigt.

2.3.6.1.3 Redundanztrennung

Durch diese Randbedingungen wird bewertet, ob eine hinreichende Redundanztrennung einen gemeinsamen Ausfall durch eine auf die Komponenten wirkende Schadensursache (z. B. Überflutung, bestimmte Instandhaltungsfehler) unmöglich macht. Dementsprechend wurden ausschließlich die Bewertungen ‘voll übertragbar‘ und ‘nicht übertragbar‘ angewandt

2.3.6.2 Technische Unterschiede der Komponenten

Mit diesen Randbedingungen sollen spezielle technische Eigenschaften der Komponenten berücksichtigt werden. Häufigster bewerteter Einzelaspekt sind, wie oben bereits dargestellt, verschiedene Arten der Absteuerung von Armaturen.

2.3.6.2.1 Absteuerung von Armaturen

Bei diesen Randbedingungen wurde eine sehr differenzierte Bewertung der Übertragbarkeit vorgenommen. Das volle Spektrum von Übertragbarkeitswerten zwischen 0 und 1 wurde benutzt.

Da bei Randbedingungen, die die Absteuerung von Armaturen betreffen, mehrere Fälle mit Randbedingungen vorliegen, die nur aus einer Einzelbedingung bestehen, kann für diese Art von Randbedingung eine detailliertere Analyse durchgeführt werden. In drei Ereignissen waren Ausfälle von Armaturen dadurch aufgetreten, dass Drehmomentschalter nicht für das Anfahren des Antriebs überbrückt waren.

Für Komponentengruppen ohne überbrückten Drehmomentschalter sind diese Ereignisse nach Meinung aller Experten voll übertragbar.

Ist eine Drehmomentüberbrückung vorhanden, so wurde von einem Teil der Experten eine eingeschränkte Übertragbarkeit gesehen (f = 0,1), während andere Experten keinen Einfluss auf die Übertragbarkeit sahen (f = 1). Der mittlere Übertragbarkeitsfaktor betrug 0,4.

2.3.6.2.2 Sonstige spezielle technische Eigenschaften

Es wurde eine Vielzahl von Randbedingungen eingeführt, die sich auf spezielle technische Eigenschaften der Einrichtungen beziehen. Beispiele sind Armaturen mit oder ohne Rutschkupplung, Messumformer mit oder ohne Teflonbeschichtung, Vorsteuerventile nach dem Ruhestrom- oder Arbeitsstromprinzip.

Diese Randbedingungen betreffen sehr spezielle Eigenschaften, die nur für einzelne GVA-Phänomene relevant sind, nicht jedoch für ganze Phänomenklassen. Deshalb wurden bereits einige Randbedingungen von GRS-Experten in ihren Bewertungen nicht berücksichtigt, sondern für verschiedene Randbedingung identische Bewertungen vergeben.

Es ist erforderlich, diese Randbedingung einer kritischen Überprüfung zu unterziehen, ob sie den in Abschnitt 2.3 diskutierten an Randbedingung zu stellenden Anforderungen genügen. Es ist davon auszugehen, dass die meisten entfallen können. Deshalb, und da diese Bewertungen jeweils sehr spezielle technische Eigenschaften und damit

nur einzelne Ereignisse betreffen, ist hier keine weitere quantitative Untersuchung sinnvoll.

2.3.6.3 Medien

Mit diesen Randbedingungen soll, wie oben dargestellt, eine Auswirkung der Medien auf das Ausfallverhalten von Komponenten bewertet werden, z. B. Deionat anstatt Flusswasser. Es ist auffällig, dass Randbedingungen für verschiedene Ereignisse häufig sehr ähnlich sind, aber in der Formulierung etwas abweichen. Betrachtet man zunächst die Randbedingungen, die ausschließlich die prinzipielle Unterscheidung Schmutzwasser/Sauberwasser beschreiben, so kann man sie wie folgt zuordnen:

Schmutzwasser:

- Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser)
- Medium Fluss- oder Meerwasser
- Systeme mit einem Medium, das ablagerungsfähige bzw. ausfällbare Substanzen enthält

Sauberwasser:

- Sauberwasser
- Einsatz in Deionatsystemen
- Medium Deionat
- Medium ist kein Fluss- oder Meerwasser
- Systeme mit einem Medium, das keine ablagerungsfähigen bzw. ausfällbaren Substanzen enthält

Für die folgende Auswertung wird nur nach den zwei Kategorien ‘Sauberwasser‘ und ‘Schmutzwasser‘ entschieden. Alle mit den Randbedingungen bewerteten Ereignisse sind in Systemen mit Schmutzwasser aufgetreten.

Bei den Kreiselpumpen, Wärmetauscher und Sicherheitsventile betreffenden Ereignisse waren Korrosion, Hydroabrasion, Verklebung durch Ablagerungen auf Dichtflächen,

und Verstopfung durch Schmutz die Ausfallursachen. Von den Experten wurde für Sauberwasser keine Übertragbarkeit gesehen, während die Ereignisse für Schmutzwasser voll übertragbar waren, d. h. f = 1 (Aufgrund von eingeschränkter Gleichzeitigkeit wählten in einem Ereignis mehrere Experten f = 0,02).

Bei einem Ereignis an kapazitiven Füllstandsmessungen fielen Messungen durch Ablagerungen von Korrosionsschutzmitteln aus. Hier waren die Experten in der Einschätzung der Übertragbarkeit auf Sauberwasser (Deionat) uneinig; es wurden Bewertungen zwischen f = 0,3 und f = 0 (keine Übertragbarkeit) gewählt.

Bei einem Ereignis an Druckmessungen fielen die Messungen durch Verstopfung der Impulsleitungen aus. Hier sahen die Experten nur eine stark eingeschränkte Übertragbarkeit auf Sauberwasser (Bewertungen zwischen f = 0,01 und f = 0,05).

Der Aspekt des Mediums wird in mehreren Fällen noch mit weiteren Unterscheidungsmerkmalen verknüpft. Dies sind Aspekte

- des Betriebs (z. B. „kontinuierlicher Pumpenbetrieb“),
- der Überwachung und Prüfung (z. B. „ohne angemessene (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte“) und
- der technischer Eigenschaften, hier Vorhandensein von Einrichtungen zur Reinigung (‘Taproggeanlage‘).

Da die so definierten Randbedingungen jeweils nur für einzelne Ereignisse verwendet wurden, ist keine allgemeine Auswertung der Expertenbewertungen aller Ereignisse sinnvoll.

Jedoch werden die Abstufungen beispielhaft dargestellt anhand eines Ereignisses, bei dem aufgrund von Sedimentation von Flusssand in der Einlauftrompete und der Saugleitung von Feuerlöschpumpen die spezifizierten Solldruckwerte nicht erreicht wurden. Die Experten sahen das Ereignis nur als voll übertragbar an, wenn wie beim betroffenen System Schmutzwasser angesaugt wird, kein kontinuierlicher Betrieb und keine häufige Prüfung stattfinden (Randbedingung „Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), ohne angemessene (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte“). Wenn demgegenüber häufiger geprüft wird, ob die spezifizierten Pumpenkennwerte erreicht

werden, so sehen die Experten nur eine eingeschränkte Übertragbarkeit (Übertragbarkeitsfaktor f = 0,1, während der Schädigungsvektor nicht modifiziert wurde.) Angesichts der Tatsache, dass es sich bei der Sedimentation um einen langsameren Prozess handelt, der bei entsprechender Überwachung erkannt werden kann, bevor eine wesentliche Beeinträchtigung eintritt, hätte auch eine Modifikation der Schädigungen (‘schwach geschädigt‘ statt der beobachteten Schädigungsstufe ‘geschädigt‘) nahegelegen. Für Systeme, in denen ein kontinuierlicher Pumpenbetrieb erfolgt, oder die Sauberwasser beinhalten, wird keine Übertragbarkeit gesehen (Randbedingung ‘Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb mit Ansaugung von Sauberwasser oder kontinuierlicher Pumpenbetrieb mit beliebiger Wasserqualität‘).

2.3.6.4 Betriebshäufigkeit

Mit diesen Randbedingungen wird die Auswirkung der Häufigkeit des Betriebes von Komponenten auf das Ausfallverhalten berücksichtigt. Diese Art für Randbedingungen wurde für Absperrventile, magnetbetätigte Vorsteuerventile und Rückschlagklappen verwendet. Wie oben bereits erwähnt, entspricht bei Standby-Komponenten in vielen Fällen die Anzahl der Prüfungen der Anzahl der Betätigungen.

Für Absperrventile wurden die Randbedingungen dieser Kategorie nur bei einem Ereignis verwendet; die Bewertung wurde mit einer Bewertung der Absteuerung verbunden.

Bei magnetbetätigte Vorsteuerventilen wurden in den meisten Fällen die Auswirkungen der häufigeren Betätigung durch einen modifizierten Schädigungsvektor berücksichtigt (z. B. zwei ausgefallene und vier geschädigte Komponenten bei monatlicher Prüfung statt der aufgetretenen sechs Ausfälle, die bei jährlicher Prüfung aufgetreten waren), während der Übertragbarkeitsfaktor 1 gewählt wurde. Nur bei einem Ereignis, bei der der Schütz zur Ansteuerung der Vorsteuerventil durch verharztes Fett nur verzögert schaltete, wurde teilweise auch ein Übertragbarkeitsfaktor kleiner 1 gewählt.

Bei Rückschlagklappen wurde unterschieden in ‘Selten durchströmt (Klappenteller ist immer in definierten Betriebsstellungen)‘ und ‘Ständig durchströmt (Betriebsbedingte ständige Klappenbewegung)‘. In den bewerteten Fällen waren durch eine ständige Klappenbewegung Schäden aufgetreten. Dementsprechend wurden die Ereignisse für die Randbedingung ‘Ständig durchströmt (Betriebsbedingte ständige Klappenbewe-

gung)‘ als voll übertragbar angesehen[8], während für ‘Selten durchströmt (Klappenteller ist immer in definierten Betriebsstellungen)‘ nur eine eingeschränkte Übertragbarkeit gesehen wurde (Übertragbarkeitsfaktor 0,1 bis 0,5). Der Schädigungsvektor wurde nicht modifiziert.

2.3.6.5 Betriebsbedingungen

Bei Randbedingungen dieser Kategorie, mit denen die Auswirkung der sonstigen Betriebsbedingungen der Komponenten auf ihr Ausfallverhalten bewertet werden, ist dieser Aspekt immer mit weiteren Aspekten wie Medien oder verschieden aufwändigen Überwachungen verknüpft. Nur für die Unterscheidung in heißgehende und kaltgehende Systeme ist dies nicht der Fall. Da sich aber gezeigt hat, dass eine Unterscheidung von heißgehenden und kaltgehenden Systemen nicht zielführend ist, weil ähnliche GVA-Phänomene bei beiden mit vergleichbarer Häufigkeit beobachtet wurden, und diese Randbedingungen deshalb in Zukunft entfallen sollten (siehe Abschnitt 2.5.8), ist eine quantitative Auswertung der Expertenbewertung dieses Aspektes nicht sinnvoll.

2.3.6.6 Instandhaltung

2.3.6.6.1 Verschieden aufwändige Überwachungen

Diese Klasse umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen. Die Bewertungen sind in fast allen Fällen mit Aspekten der Betriebsbedingungen, der anforderungsgerechten Prüfungen, der Redundanzübergreifenden Instandhaltung und sonstigen Instandhaltungsaspekten verknüpft. Die meisten Randbedingungen wurden nur für ein einziges Ereignis verwendet. Ein Vergleich der Bewertungen von Randbedingungen, die verbesserte Überwachungsmaßnahmen beinhalten, mit Randbedingungen ohne verbesserte Überwachungsmaßnahmen zeigt, dass in fast allen Fällen die Experten ein um den Faktor 10 verringerte Wahrscheinlichkeit des Auftretens des GVA-Phänomens sahen (Übertragbarkeitsfaktor f = 0,1), während der Schädigungsvektor nicht modifiziert wurde.

---

[8] Ein Ereignis fand während der Inbetriebsetzung statt. Dies wurde durch um den Faktor 10 kleinere Werte für die Übertragbarkeit berücksichtigt. Es wurde der Übertragbarkeitsfaktor f = 0,1 gewählt für ‘Ständig durchströmt (Betriebsbedingte ständige Klappenbewegung)‘ und 0,01 bzw. 0,02 für ‘Selten durchströmt (Klappenteller ist immer in definierten Betriebsstellungen)‘.

2.3.6.6.2 Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen

Dieser Aspekt wurde in fast allen Fällen verknüpft mit Aspekten der Überwachung bzw. der Anforderungsgerechtheit von Prüfungen. Zur Quantifizierung des Einflusses der Möglichkeit, Instandhaltungsmaßnahmen redundanzübergreifend durchzuführen, wurde teilweise der Übertragbarkeitsfaktor, teilweise der Schädigungsvektor modifiziert. Es wurden Übertragbarkeitsfaktoren zwischen 0,5 und 0,1 vergeben.

Beim einzigen Fall, bei dem Randbedingungen nur zur Beschreibung der Möglichkeit, Instandhaltungsmaßnahmen redundanzübergreifend durchzuführen, eingeführt wurden, war ein Montagefehler die Ausfallursache. Hier sahen die Experten für den Fall, dass gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben ist, gegenüber der Komponentengruppe, bei der das Ereignis aufgetreten war und bei der in einer Revision gleichzeitige Instandhaltung in mehreren Redundanzen möglich war, eine eingeschränkte Übertragbarkeit (Übertragbarkeitsfaktor f = 0,1). Diese Abschätzung wurde damit begründet, dass trotz der vorgesehenen gestaffelten Instandhaltung über mehrere Revisionen es trotzdem in besonderen Situationen zu gleichzeitiger Instandhaltung in Sicherheitssystemen kommen kann. Dies wurde aber als wesentlich weniger wahrscheinlich angesehen.

2.3.6.6.3 Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen

Auch diese Randbedingungen sind in den meisten Fällen mit weiteren Aspekten verknüpft. Bei motorbetätigten Absperrklappen und Absperrschiebern sind Randbedingungen definiert, die eine anforderungsgerechte Prüfung mit Differenzdruck beschreiben. Alle Experten haben bei den Ereignissen, bei denen bei Differenzdruck Armaturen nicht öffneten, eine eingeschränkte Übertragbarkeit auf Komponentengruppen gesehen, die anforderungsgerecht mit Differenzdruck geprüft werden. Sie wählten in allen Fällen einen Übertragbarkeitsfaktor von f = 0,1, während der Schädigungsvektor nicht modifiziert wurde.

Für die Komponentenart ‘Druckmessungen:Messrohrleitungen‘ wurde eine sehr ähnliche Randbedingung „Anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung“ definiert. Auch hier wurde von allen Experten die eingeschränkte Übertragbarkeit mit einem Übertragbarkeitsfaktor von f = 0,1 quantifiziert. Der Schädigungsvektor wurde nicht modifiziert.

Bei der Komponentenart ‘Druckmessungen:Grenzwertgeber‘ wurde für die Randbedingung ‘Nach Sicherheitsspezifikation geprüfte Reaktorschutzmessstellen‘ die Übertragbarkeit von den Experten unterschiedlich beurteilt. Es wurden für ein Ereignis Übertragbarkeitsfaktoren zwischen 0,1 und 0,5, für ein anderes zwischen 0,1 und 0,2 vergeben. Der Schädigungsvektor wurde auch bei dieser Komponentenart nicht modifiziert.

2.3.6.6.4 Prüfintervall

Diese Randbedingungen sind in vielen Fällen mit Bedingungen für den Redundanzgrad bzw. anderen Bedingungen verknüpft. Näher betrachtet werden hier die Randbedingungen, die sich ausschließlich auf das Prüfintervall beziehen. Hier wird zwischen monatlicher und jährlicher Prüfung unterschieden. Die Komponentengruppen, wo die Ereignis auftraten, wurden jährlich geprüft. Zur Übertragung auf Komponentengruppen mit monatlicher Prüfung wurde sehr uneinheitlich vorgegangen. Teilweise wurde der Schädigungsvektor modifiziert, teilweise der Übertragbarkeitsfaktor. Manche Experten wählten eine Kombination von beiden.

Dies kann beispielhaft an einem Ereignis illustriert werden, bei dem die drei Experten der GRS bei der Randbedingung ‘jährlich geprüft‘ in der Einschätzung übereinstimmten, dass eine Komponente als ausgefallen und eine weitere als geschädigt anzusehen ist und das Ereignis voll übertragbar ist. Für die Randbedingung „monatlich geprüft“ weichen die Schätzungen jedoch erheblich ab: Ein Experte schätzte ein, dass unter dieser Randbedingung kein Ausfall, sondern nur zwei Schädigungen zu erwartenden seien, und wählte zusätzlich den Übertragbarkeitsfaktor f = 0,1. Ein andere Experte erwartete nur zwei sehr schwache Schädigungen, aber wählte den Übertragbarkeitsfaktor f = 1, während der dritte Experte die Schädigungen wie im aufgetretenen Ereignis beobachtet bewertete (ein Ausfall und eine Schädigung), aber die Übertragbarkeit zu f = 0,01 einschätzte. Die deutlich abweichenden Bewertungen zeigen, dass es für die Experten schwer einzuschätzen ist, wie sich ein abweichendes Prüfintervall tatsächlich auswirken würde. Ein weiteres Problem bei diesen Randbedingungen, das in der eigentlich bei den Expertenbewertungen einzubeziehenden ‘automatischen‘ Berücksichtigung durch die mathematische Modellierung besteht, wird in Abschnitt 2.5.9.4 diskutiert.

2.3.6.6.5 Sonstige Aspekte der Instandhaltung

Randbedingungen dieser Unterkategorie betreffen die Unterscheidung, ob komponentenspezifische Armaturenkennkarten bei der Instandhaltung verwendet werden. Weiterhin wird in den Randbedingungen nach der Möglichkeit, Instandhaltungsmaßnahmen redundanzübergreifend durchzuführen, unterschieden (siehe Abschnitt 2.3.6.6.2). Die Randbedingungen wurden nur für ein einziges Ereignis definiert. Auch bei diesen Randbedingungen traten deutlich abweichende Expertenbewertungen auf. So wurde für den Fall, dass wie in der betroffenen Komponentengruppe redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig ist, die Übertragbarkeit bei Verwendung komponentenspezifischer Armaturenkennkarten mit Werten zwischen 0,1 und 1 bewertet. Für den Fall, dass redundanzübergreifende Instandhaltung unzulässig ist, machten die meisten Experten keine Unterscheidung, ob komponentenspezifische Armaturenkennkarten benutzt werden oder nicht, während andere Experten bei komponentenspezifische Armaturenkennkarten eine um den Faktor 2,5 bzw. 5 weiter reduzierte Wahrscheinlichkeit sahen. Der Schädigungsvektor wurde in keinem Fall modifiziert.

2.3.7 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten

Diese Randbedingungen sind, wie oben dargestellt, keine Randbedingungen im eigentlichen Sinne und wurden definiert, um Bewertungen für Ausfälle vornehmen zu können, die nur in bestimmten Ausfallarten oder bei bestimmten Arten der Anforderung auftreten.

2.3.7.1 Betrieblich Anforderungen/Anforderungen aus dem Reaktorschutz

Häufig wird nach betrieblichen Anforderungen und Anforderungen aus dem Reaktorschutz unterschieden. In den vorliegenden Fällen war der zu bewertende Aspekt, ob der Aggregatschutz wirksam geworden wäre. Demzufolge ergibt sich keine Übertragbarkeit (f = 0) oder eine volle Übertragbarkeit (f = 1), während der Schädigungsvektor nicht modifiziert wurde.

2.3.7.2 Weitere Ausfallarten

Auch bei den weiteren Ausfallarten wurde bewertet, ob bei dem Ereignis die in der Randbedingung beschriebene Ausfallart vorliegt oder nicht vorliegt. Es wurden deshalb von den Experten nur f = 0 (keine Übertragbarkeit) bzw. f = 1(volle Übertragbarkeit) gewählt. Schädigungsvektoren wurden nicht modifiziert.

2.3.8 Zusammenfassung und Bewertung

Bei Randbedingungen, die eine ‘binäre‘ Entscheidung erlauben, ob ein bestimmtes Phänomen bzw. eine Phänomenklasse übertragbar ist oder nicht, erscheinen die Bewertungen ‘übertragbar‘ (f = 1) bzw. „nicht übertragbar“ (f = 0) in den allermeisten Fällen zwingend.

Demgegenüber sind die Bewertungen in anderen Fällen stark vom Ermessen der Experten geprägt. Die in der Dokumentation der GVA-Datenbank enthaltenen Informationen erlauben es häufig nicht, nachzuvollziehen, wieso bestimmte Werte der Übertragbarkeit gewählt wurden bzw. bestimmte Modifikationen der Komponentenschädigungen für bestimmte Randbedingungen vorgenommen wurden. Durchgängig fehlt bei den Expertenbewertungen eine dokumentierte Einbeziehung der automatischen Berücksichtigung von Testintervallen und Anforderungsdauern durch die Modellierung der Komponentenverfügbarkeit in PSA-Rechnungen in die Expertenbewertungen. Andererseits ist bekannt, dass dieser Aspekt bei der Bewertung diskutiert wurde und bei der Entscheidungsfindung eine Rolle gespielt hat.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine standardisierte Vorgehensweise in Form eines Ablaufdiagramms bzw. Leitfadens eine verbesserte Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der qualitativen und quantitativen Expertenbewertungen bewirken könnte. Eine solche Vorgehensweise könnte auf dem allgemeinen Konzept für Randbedingungen basieren, das im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

2.4 Konzept für Randbedingungen

Nachfolgend wird ein Konzept zum Umgang mit Randbedingungen dargestellt, das es ermöglicht, eine technisch angemessene und statistisch einwandfreie Schätzung von Zuverlässsigkeitskenngrößen durchzuführen. Vor der Anwendung ist es noch im Detail

auszuarbeiten, an Beispielen zu testen sowie in der Fachöffentlichkeit ausführlich zu diskutieren.

Zunächst werden die grundlegenden Anforderungen an die Identifizierung und Definition von Randbedingungen dargestellt.

2.4.1 Identifizierung und Definition von Randbedingungen

An die Definition von Randbedingungen sollten bestimmte Anforderungen gestellt werden, um mithilfe der verschiedenen Expertenbewertungen eine technisch angemessene und statistisch korrekte Schätzung von Zuverlässsigkeitskenngrößen zu ermöglichen:

1. Randbedingungen werden nur eingeführt, wenn diejenigen Komponentengruppen, für die die Randbedingung zutrifft, erhebliche Unterschiede gegenüber derjenigen aufweisen, für die die Randbedingung nicht zutrifft und wenn deshalb ein signifikant verschiedenes Ausfallverhalten zu erwarten ist.
   Nicht zulässig sind Randbedingungen, die sich auf sehr spezielle Details beziehen, die zwar im beobachteten Meldepflichtigen Ereignis wesentlich für den Ereignisverlauf (d. h. das Auftreten, die Schwere, die Entdeckungsmöglichkeit des Schadens usw.) waren, von denen jedoch nicht allgemein angenommen werden kann, dass sie dass Ausfallverhalten wesentlich bestimmen. Die tatsächlich aufgetretenen Einzelphänomene sind als Repräsentanten aller möglichen Phänomene aufzufassen.
   Das heißt, dass in einem einzelnen Meldepflichtigen Ereignis ein bestimmter Schädigungsmechanismus oder Ereignisverlauf aufgetreten ist, der in anderen Komponentengruppen ausgeschlossen ist, rechtfertigt alleine die Einführung einer Randbedingung noch nicht.
   Nur wenn nach Auffassung der Experten davon auszugehen ist, dass sich eindeutig definierbare Untergruppen einer Population bzgl. ihres Ausfallverhaltens signifikant unterscheiden, kann von einer Eins-zu-eins-Übertragung von GVA-Ereignissen abgewichen werden und verschiedene Randbedingungen eingeführt werden.

2. Um statistisch korrekte Schätzungen zu erhalten, sind die Beobachtungszeiten (bzw. Anzahlen von Anforderungen) von allen in Randbedingungen bzw. Kombinationen von Randbedingungen, für die Zuverlässigkeitskenngrößen bestimmt wer-

den sollen, zu ermitteln. Um dies zu ermöglichen, sind folgende Aspekte zu beachten:

2.1. Die Randbedingung ist klar zu charakterisieren, so dass für alle in deutschen Kernkraftwerken während des Auswertezeitraumes vorhandenen Komponentengruppen eindeutig definiert ist, ob die Randbedingung für die Komponentengruppe zutrifft. Die Informationen, welche Randbedingung in einer Komponentengruppe jeweils vorliegt, muss mit vertretbarem Aufwand ermittelbar sein.

2.2. Um eine eindeutige Zuordnung der jeweils vorliegenden Randbedingung zu ermöglichen, ist zu allen Randbedingungen komplementäre Randbedingungen zu definieren. Es kann optional auch noch eine Randbedingung definiert werden, die den Bewertungen und den ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen zugeordnet wird, wenn keine Differenzierung erfolgen soll (sog. Allgemeine Randbedingung). Als einfaches Beispiel können die Messumformer genannt werden, bei denen die Randbedingungen ‘Bartonzelle‘, ‘keine Bartonzelle‘ und ‘Messumformer allgemein (keine Differenzierung nach „Bartonzelle/Nicht-Bartonzelle)‘ definiert werden können.

3. Es sollte systematisch überprüft werden, ob statt der Einführung einer Randbedingung eine Aufteilung der Populationen erfolgen sollte bzw. ob existierende Randbedingungen durch eine Aufteilung von Populationen ersetzt werden sollten. Kriterien hierzu sind:

   - Durch die Populationsaufteilung kann eine erhebliche Zahl von Randbedingungen entfallen.
   - Für jede der neu zu definierenden Populationen gibt es eine ausreichende statistische Basis zum Schätzen der GVA-Wahrscheinlichkeiten. Bei der Anwendung des aktuellen GVA-Modells, des Kopplungsmodells, ist die Schätzung von GVA-Wahrscheinlichkeiten nur möglich, wenn GVA-Ereignisse aufgetreten sind. Demzufolge sollten zu jeder der neuen Populationen mehrere GVA-Ereignisse vorhanden sein.

4. Im Normalfall soll eine vereinheitlichte Skala von Übertragbarkeitsfaktoren benutzt werden. Eine Abweichung von dieser Skala kann nur erfolgen, wenn eindeutige Informationen vorliegen, dass abweichende Werte eine deutlich differenzierte quantitative Bewertung der Übertragbarkeit ermöglichen. Die auf dieser Skala vorgese-

henen Bewertungsstufen sind – ähnlich wie die Stufen in der Bewertung der Komponentenschädigung nach der Vorgehensweise der ICDE /NEA 04/ – mit textlichen Beschreibungen zu versehen. Dies kann zu einer vereinheitlichten und besser reproduzierbaren Bewertung beitragen, indem es den Experten stärkere Anhaltspunkte für die Wahl des Übertragbarkeitsfaktors gibt.

Z. B. könnte eine Skala bestehen aus f = 0, f = 0,01, f = 0,1, f = 1, f = 10, f = 100. Diese Skala spiegelt die in den meisten Fällen bereits jetzt von den Experten gewählten Übertragbarkeitsfaktoren wider (siehe Abschnitt 2.2.1/Tab. 2-2), ergänzt um die erforderlichen Werte größer 1.

Die verschiedenen Werte sollten nach folgenden Kriterien festgelegt werden:

f = 0,1: Es kann dargelegt werden, dass eine GVA-Phänomenart mit ganz erheblich geringer Wahrscheinlichkeit auftreten bzw. wirksam werden wird.
Beispiel: In einer Komponentengruppe ohne Überwachungsmechanismus tritt ein GVA auf. In der Zielkomponentengruppe ist ein wirksamer Überwachungsmechanismus (z. B. eine Differenzdrucküberwachung bei Wärmetauschern) vorhanden, so dass Schäden erkannt werden können, bevor eine Nichtverfügbarkeit eintritt.

f = 0,01: Es sind mehrere unabhängige Mechanismen angebbar, warum eine GVA-Phänomenart mit deutlich geringer Wahrscheinlichkeit wirksam werden wird.
Beispiel: In einer Komponentengruppe ohne Überwachungsmechanismus tritt aufgrund bestimmter regelmäßig vorhandener Belastungen (z. B. korrosive Medien) ein GVA auf. In der Zielkomponentengruppe sind einerseits wesentlich schwächere Belastungen vorhanden, andererseits ist zusätzlich ein wirksamer Überwachungsmechanismus vorhanden, so dass Schäden erkannt werden können, bevor eine Nichtverfügbarkeit eintritt.

f = 0: Das Auftreten der GVA-Phänomenart ist in allen Zielkomponentengruppen, die der Bewertungsrandbedingung genügen, ausgeschlossen.

f = 10: Die GVA-Phänomenart ist in Komponentengruppen mit der betrachteten Randbedingung deutlich häufiger zu erwarten als in derjenigen, wo das Ereignis aufgetreten ist.
Beispiel: Trotz Vorhandenseins eines Überwachungsmechanismus tritt

ein GVA auf. In der Zielkomponentengruppe ist kein Überwachungsmechanismus vorhanden.

f = 100: Die GVA-Phänomenart ist in Komponentengruppen mit der betrachteten Randbedingung aus mehreren unabhängigen Gründen deutlich häufiger zu erwarten als in derjenigen, wo das Ereignis aufgetreten ist.
Beispiel: Trotz Vorhandenseins eines Überwachungsmechanismus und geringer Belastungen (nicht korrosives Medium) tritt ein GVA durch Korrosion auf. In der Zielkomponentengruppe sind deutlich höhere Belastungen (korrosives Medium), aber kein Überwachungsmechanismus vorhanden.

f = 1: sonst

5. Es ist eine standardisierte Vorgehensweise für die quantitativen Bewertungen zu entwickeln, z. B. in Form eines Flussdiagramms. Dies ermöglicht, die einzelnen Überlegungen und Einschätzungen, die am Ende zu bestimmten quantitativen Bewertungen führen, besser zu strukturieren, nachvollziehbar zu machen und zu dokumentieren. Es sollte ein einfaches Formblatt entwickelt werden, das dies unterstützt.

6. Ebenso sind standardisierte Vorgehensweisen zu entwickeln für die

   - Definition neuer Randbedingungen,
   - Aufteilung von Komponentenpopulationen.

Insgesamt erfordern diese Anforderungen, die heute vorhandene Definition von Randbedingungen anhand von Einzelereignissen aufzugeben und die Randbedingungen mehr an allgemein vorhandenen Unterschieden innerhalb der Populationen von Komponentengruppen zu orientieren.

2.4.2 Verwendung von Randbedingungen bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für die PSA

Hier werden die Vorschläge zu grundlegenden Anforderungen an die Verwendung von Randbedingungen bei der Ermittlung für Zuverlässigkeitskenngrößen für die PSA dargestellt.

1. Innerhalb verschiedener Komponentengruppen einer Population ist ein einheitlicher Detaillierungsgrad zu verwenden. Es ist allgemein festzulegen, ob bezüglich eines Aspektes differenziert werden soll oder nicht.
   Soll eine Differenzierung erfolgen, so sind immer die aus den unter den betreffenden Randbedingungen vorgenommenen Expertenbewertungen geschätzten Zuverlässigkeitskenngrößen zu verwenden. Eine Verwendung der zur ‘Allgemeinen Randbedingung‘ gehörenden Zuverlässigkeitskenngrößen ist für Komponentengruppen dieser Population nicht zulässig.
   Wenn keine Differenzierung erfolgen soll, werden die zur ‘Allgemeinen Randbedingung‘ gehörigen Zuverlässigkeitskenngrößen für alle Komponentengruppen verwendet.
   Zum Beispiel ist für Messumformer festzulegen, ob nach Bartonzellen/Nicht-Bartonzellen unterschieden werden soll oder nicht. Wird dies bejaht, so ist die Verwendung der ‘Allgemeinen Randbedingung‘ für Komponentengruppen mit Bartonzellen ausgeschlossen. Es muss für Komponentengruppen mit Bartonzellen die Randbedingung ‘Bartonzelle‘ verwendet werden.

2. Es ist festzulegen, welche Anlagenbetriebsphasen bezüglich der Bestimmung der Zuverlässigkeitskenngrößen in der PSA unterschieden werden sollen. Die in der PSA definierten Betriebsphasen sind den in Randbedingungen definierten Betriebsphasen eindeutig zuzuordnen. Für die PSA-Betriebsphase sind die mit diesen Randbedingungen geschätzten Zuverlässigkeitskenngrößen zu verwenden.
   Das heißt, im Nichtleistungsbetrieb können nicht allgemein die für den Leistungsbetrieb bestimmten Zuverlässigkeitskenngrößen verwendet werden, sondern es müssen Zuverlässigkeitskenngrößen verwendet werden, bei denen die zu der jeweiligen Betriebsphase gehörenden Randbedingungen berücksichtigt wurden.

3. Bei Ereignisablauf-spezifischen Randbedingungen ist analog vorzugehen.

Wie oben bereits erwähnt, müssen die in Abschnitt 2.4.1 und 2.4.2 beschriebenen Anforderungen und Kriterien vor einer Anwendung noch im Detail ausgearbeitet, an Beispielen getestet sowie in der Fachöffentlichkeit ausführlich diskutiert werden.

2.4.3 Extrapolation auf stark abweichende Redundanzgrade

Bei der Extrapolation von GVA-Ereignissen auf Komponentengruppen, die eine stark abweichende Größe habe, stellt sich das Problem, dass die mithilfe des verwendeten

GVA-Modells (Kopplungsmodell) /FAK 05a/ vorgenommene Übertragung in einigen Fällen nicht sachgerecht erscheint. Insbesondere trifft dies für einige Fälle zu, bei denen Ereignisse aus kleinen Komponentengruppen auf größere Komponentengruppen übertragen werden sollen. Hintergrund ist, dass die mathematische Modellierung eine in manchen Fällen unangemessen starke Vereinfachung darstellt, da weder der zeitliche Verlauf von Komponentenschädigungen noch die Erkennung von GVA modelliert werden können. Ein typisches Beispiel dafür ist, wenn nach dem Auftreten der zweiten Funktionseinschränkung bei einer Wiederkehrenden Prüfung der GVA erkannt wird. In einer Komponentengruppe der Größe 2 sind dann beide Komponenten geschädigt. Es ist bei langsam und zwischen verschiedenen Komponenten uneinheitlich verlaufenden Schädigungen davon auszugehen, dass im Fall einer wesentlich größeren Komponentengruppe der GVA erkannt wird, bevor alle Komponenten in ihrer Funktion eingeschränkt sind. Das Kopplungsmodell würde jedoch sehr hohe Wahrscheinlichkeiten für einen Totalausfall liefern.

In anderen Fällen dagegen ist die Modellierung mit dem Kopplungsmodell vollständig angemessen. Wenn z. B. Ursache des GVA eine menschliche Fehlhandlung ist (z. B. im Betrieb nicht erkennbare Fehleinstellung von Absperrventilen an Messumformern nach Prüfungen) und alle Komponentengruppen gleichzeitig während der Revision getestet werden, so kann davon ausgegangen werden, dass unabhängig von der Komponentengröße ein bestimmter Anteil der Messumformer unverfügbar ist. Dies wird durch das Kopplungsmodell genau modelliert.

Deshalb ist es nicht möglich, eine allgemeine mathematische Vorgehensweise zu entwickeln, die automatisch in jeden Fall eine sachgerechte Extrapolation auf Komponentengruppen deutlich abweichender Größe ermöglicht. Vielmehr wird man auch weiterhin wie bisher Randbedingungen für diejenigen Fälle definieren müssen, bei denen die „automatische“ Extrapolation nicht sachgerecht ist, und eine angemessene Extrapolation durch Expertenschätzungen bestimmen müssen.

In Abschnitt 2.5.1 werden noch konkrete Hinweise zur Weiterentwicklung der Randbedingungen, die für die Extrapolation auf stark abweichende Redundanzgrade definiert wurden, gegeben.

2.4.4 Ausblick

Das vorgeschlagene allgemeine Konzept bedarf noch einer Konkretisierung und genauen Ausarbeitung. Insbesondere sind die genauen Definitionen und Abläufe festzulegen und geeignet darzustellen. Vor einer Anwendung sind auch eine umfassende testweise Durchführung von Expertenbewertungen sowie eine ausführliche Diskussion der Vorgehensweise in der Fachöffentlichkeit erforderlich. Dies führt wesentlich über die angebotenen Arbeiten hinaus und muss eventuellen weiteren Vorhaben vorbehalten bleiben.

2.5 Weiterentwicklung des Systems von Randbedingungen

Im Folgenden werden Vorschläge zur Weiterentwicklung des existierenden Systems von Randbedingungen dargestellt. Diese betreffen teilweise die oben genannten Kategorien, teilweise einzelne Randbedingungen. Die Vorschläge sollten die im Rahmen der Weiterentwicklung des Systems von Randbedingungen berücksichtigt werden. Die Randbedingungen sind wie oben nach den einzelnen Kategorien gegliedert. Wenn für einzelne Randbedingungen spezifische Vorschläge vorhanden sind, sind diese jeweils in einer Tabelle aufgeführt.

2.5.1 Kleine und große Redundanzgrade

Bei dieser Klasse von Randbedingungen sollten die jeweiligen Komponentengruppengrößen, auf die sie sich beziehen, exakt angegeben werden. Es sollten möglichst einheitliche Werte für den Redundanzgrad verwendet werden.

Für alle Ereignisse, die in einer großen Komponentengruppe aufgetreten sind, ist systematisch zu überprüfen, ob auch hier Randbedingungen zum Redundanzgrad aufgestellt werden müssen, weil anzunehmen ist, dass die mit einem GVA-Modell bestimmte Übertragung auf eine Komponentengruppe kleiner Größe nicht sachgerecht ist. Dies ist nach den gleichen Kriterien zu bewerten wie im umgekehrten Fall (Übertragung von kleiner auf große Komponentengruppe). Ein typisches Argument wäre, wenn bei einem langsam verlaufenden Prozess die Fehlererkennung wesentlich wird, indem z. B. die systematische Ursache nach dem zweiten Ausfall erkannt wird und daraufhin alle Komponenten untersucht werden. In einem solchen Fall würde die „automatische“

Übertragung mithilfe des Kopplungsmodells für kleine Komponentengruppengrößen zu einer Unterschätzung der Komponentenschädigungen führen.

Tab. 2-21: Einzelvorschläge für Randbedingungen zur Beschreibung kleiner und großer Redundanzgrade

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Jährlich geprüft, **sehr hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Genauen Redundanzgrad spezifizieren, ab dem Randbedingung anzuwenden ist; vereinheitlichen
Monatlich geprüft, **hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Genauen Redundanzgrad spezifizieren, ab dem Randbedingung anzuwenden ist; vereinheitlichen
Monatlich geprüft, **sehr hoher Redundanzgrad**	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Genauen Redundanzgrad spezifizieren, ab dem Randbedingung anzuwenden ist; vereinheitlichen

2.5.2 Anforderungsdauern

Aus der Betriebserfahrung sind Fehler an Standby-Komponenten bekannt, die nicht unmittelbar, sondern erst nach einer gewissen Zeit zum Ausfall führen können. Um dies in der PSA modellieren zu können, sind für zwei Komponentenarten (Kreiselpumpen und Notstromdiesel) kurze bzw. lange Anforderungsdauern als Bewertungsrandbedingungen definiert. Diese Randbedingung ermöglicht eine gegenüber der automatischen Berücksichtigung von Anforderungsdauern durch die stochastische Modellierung in der PSA abweichende Behandlung. Bei der Bewertung müsste, wie oben bereits erwähnt, einbezogen werden, dass Anforderungsdauern durch die stochastische Modellierung in der PSA bei der Ausfallart ‘Betriebsversagen‘“, der alle hier bewerteten Fälle zugeordnet wurden, bereits automatisch berücksichtigt werden; es ist durch den Experten nur die Abweichung von dieser Modellierung zu bewerten, um eine doppelte Berücksichtigung der Anforderungsdauern zu vermeiden. Aus der Dokumentation der Expertenbewertungen ist nicht zu entnehmen, dass systematische Überlegungen zur Berücksichtigung dieses Aspektes angestellt wurden. Grundlage der Berücksichtigung muss logischerweise auch die in der PSA verwendete Anforderungsdauer sein. Somit muss für diejenige Randbedingung, bei der von den tatsächlich beobachteten Komponentenschädigungen abgewichen wurde, eine genaue Anforderungsdauer spezifiziert werden.

Weiterhin wäre prinzipiell zu untersuchen, ob nicht bei Ereignissen, die bei einer kürzeren Betriebsdauer als der in der PSA zugrundegelegten Anforderungsdauer auftraten,

bei einer längeren Anforderungsdauer die automatischen Berücksichtigung von Anforderungsdauern durch die stochastische Modellierung zu einer Unterschätzung der Nichtverfügbarkeiten führen kann, weil bei längeren Betriebsdauern schwerere Schäden aufgetreten wären bzw. weil bei den kurzen Betriebsdauern überhaupt keine Schäden aufgetreten sind, so dass kein Ereignis aufgetreten ist und das GVA-Phänomen (lange) unentdeckt geblieben ist.

Wegen dem damit verbundenen großen Aufwand sollte geprüft werden, ob auf die mit diesen Randbedingungen verknüpfte verfeinerte Modellierung generell verzichtet werden kann.

Tab. 2-22: Einzelvorschläge für Randbedingungen, die Anforderungsdauern beschreiben

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Anforderungsdauer < 24 h	Kreiselpumpen	Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung der modellierten Anforderungsdauer
Anforderungsdauer > 24 h	Kreiselpumpen	Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung
Kurzfristige Anforderung < 2 h	Notstromdiesel	Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung der modellierten Anforderungsdauer
Langfristige Anforderung > 2 h	Notstromdiesel	Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung

2.5.3 Anlagenbetriebsphase

Die Randbedingungen zu den Anlagenbetriebsphasen sind so zu vereinheitlichen, dass sie weitestgehend den in der PSA definierten Phasen entsprechen. Es sollten klare Kriterien definiert werden, nach denen eindeutig bestimmt werden kann, welche Randbedingung zu jedem Zeitpunkt vorliegt.

Tab. 2-23: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Anlagenbetriebsphasen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Übertragbarkeit für Leistungsbetrieb nach der 2. WKP der Notkühlkette, wenn die PSA eine entsprechende Unterteilung der Betriebsphasen berücksichtigt	Behälter	Eine Entsprechende Unterteilung der Betriebsphasen wird in der PSA nicht vorgenommen und ist auch in Zukunft nicht zu erwarten; Randbedingung streichen

2.5.4 Ereignisablauf- spezifische Randbedingungen

Die Randbedingungen zu (Störfall-)Ereignisabläufe sollten allgemein vereinheitlicht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sie sich eindeutig den in der PSA definierten Ereignisabläufen zuordnen lassen.

2.5.5 Technische Unterschiede, Unterschiede im Betrieb und Unterschiede in der Überwachung der Systeme und Komponenten

2.5.5.1 Technische Unterschiede der Aufbau der Systeme

2.5.5.1.1 Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen

Diese Randbedingungen modellieren die Möglichkeit des Auftretens bestimmter, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen. Nach Auffassung der GRS ist das Vorliegen der Randbedingungen zu diesem Themenbereich teilweise nicht nachweisbar, da z. B. Schwingungen trotz Auslegung zur Vermeidung von Schwingungen auftreten können. Deshalb sollten diese Randbedingungen teilweise entfallen.

Tab. 2-24: Einzelvorschläge für Randbedingungen zur Beschreibung der Möglichkeit des Auftretens bestimmter besonderer, nicht in der Auslegung berücksichtigter Komponentenbelastungen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Schwingungen oder Turbulenzen möglich	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	streichen
Schwingungen oder Turbulenzen nicht möglich	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	streichen
Gaseintrag möglich	Kreiselpumpen	Vereinheitlichen mit 'Pumpen mit einer Saugeleitung in der eine Gasansammlung möglich ist'; Streichung prüfen
Gaseintrag nicht möglich	Kreiselpumpen	Vereinheitlichen mit 'Pumpen mit einer Saugeleitung in der keine Gasansammlung möglich ist'; Streichung prüfen
Pumpen mit einer Saugeleitung, in der eine Gasansammlung möglich ist	Kreiselpumpen	Streichung prüfen
Pumpen mit einer Saugeleitung, in der keine Gasansammlung möglich ist	Kreiselpumpen	Streichung prüfen

2.5.5.1.2 Möglichkeit der Ausfallerkennung

Durch diese Randbedingungen wird bewertet, ob ein Ausfall in anderen Komponentengruppen durch Betriebsbedingungen oder systemtechnische Gegebenheiten erheblich besser erkennbar ist.

Soll dieser Aspekt konsistent berücksichtigt werden, müsste überprüft werden, ob in der Betriebserfahrung Ereignisse vorliegen, die sich in bestimmten in der PSA modellierten Komponentengruppen stärker ausgewirkt hätten, da dort schlechtere Möglich-

keiten der Ausfallerkennung vorliegen als in der Komponentengruppe, wo die Ereignisse auftraten.

In diesem Fall sollte eine entsprechende Randbedingung eingeführt werden, mit der das zu erwartende häufigere Auftreten bzw. das gravierendere Schadensbild modelliert werden kann.

Tab. 2-25: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Medien

Randbedingung	Komponenten-art	Vorschlag
Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und **Differenzdruck-messung** und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen	Wärmetauscher	Die Formulierung sollte verbessert werden, um die Hierarchie der logischen Verknüpfungen der Einzelbedingungen klar darzustellen, wie sie im Folgenden mithilfe eckiger Klammern ausgedrückt ist: „Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und [[Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage] oder äquivalente Maßnahmen]“

2.5.5.1.3 Redundanztrennung

Bezüglich dieser Randbedingungen, bei denen bewertet wird, ob eine hinreichende Redundanztrennung einen gemeinsamen Ausfall durch eine auf die Komponenten wirkende Schadensursache unmöglich macht, sind die entsprechenden Bezugszeiten zu ermitteln. Weiterhin ist systematisch zu überprüfen, ob nicht auch Ereignisse vorhanden sind, bei denen wegen einer Redundanztrennung ein mehrere Komponenten betreffender Schaden nicht aufgetreten ist. Für diese Ereignisse wären dann ebenfalls Bewertungen unter der Randbedingung „keine Redundanztrennung“ zu erstellen. Wegen des damit verbundenen hohen Aufwandes und der geringen Anzahl der Ereignisse, für die Randbedingungen zur Berücksichtigung der Redundanztrennung definiert sind, sollte geprüft werden, ob auf diesen Bewertungsaspekt generell verzichtet werden kann.

2.5.5.2 Technische Unterschiede der Komponenten

Mit diesen Randbedingungen sollen spezielle technische Eigenschaften der Komponenten berücksichtigt werden.

2.5.5.2.1 Absteuerung

Um eine Erfassung der Betriebszeiten zu ermöglichen, sollten die Randbedingungen dieser Kategorie wesentlich vereinheitlicht werden. Es ist zu überprüfen, ob bestimmte Bewertungsrandbedingungen heute überhaupt noch bei in der PSA modellierten Komponenten vorliegen. Ist dies nicht der Fall, kann auf die entsprechenden Randbedingungen verzichtet werden.

2.5.5.2.2 Sonstige spezielle technische Eigenschaften

Die meisten dieser Randbedingungen betreffen sehr spezielle Eigenschaften, die nur für einzelne GVA-Phänomene relevant sind, nicht jedoch für ganze Klassen von Phänomenen. Weiterhin erscheint der Nachweis der Gültigkeit bei einigen dieser Randbedingungen sehr schwierig oder praktisch undurchführbar. Deshalb wurden bereits einige Randbedingungen von GRS-Experten in ihren Bewertungen nicht berücksichtigt, sondern für verschiedene Randbedingung identische Bewertungen vergeben. Es ist erforderlich, diese Randbedingung einer kritischen Überprüfung zu unterziehen, wobei die meisten Randbedingungen entfallen können. Vorschläge dafür sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tab. 2-26: Einzelvorschläge für Randbedingungen für sonstige spezielle technische Eigenschaften

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Armaturen mit Rutschkupplung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Randbedingung zu detailliert; streichen
Armaturen ohne Rutschkupplung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Randbedingung zu detailliert; streichen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Mit Handantrieb kann nachweislich nicht so viel Kraft aufgebracht werden, dass Spindelmutter beschädigt werden kann	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Unklar, wie Nachweis zu erbringen wäre; streichen
Ältere Anlagen mit vergleichbaren Verlegerichtlinien	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Unterscheidung nicht eindeutig definiert; Nachweis des wesentlich verschiedenen Ausfallverhaltens kaum zu erbringen; streichen
Neuere Anlagen: bessere Verlegerichtlinien	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Unterscheidung nicht eindeutig definiert; Nachweis des wesentlich verschiedenen Ausfallverhaltens kaum zu erbringen; streichen
Keine Selbsthemmung	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Nachweis nicht zu erbringen; streichen
Selbsthemmung von Armatur oder Antrieb nachgewiesen für gesamtes Instandhaltungsintervall	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Nachweis nicht zu erbringen; streichen
Brandschutzklappe mit Bowdenzug	Brandschutzklappen	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Brandschutzklappe ohne Bowdenzug	Brandschutzklappen	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Geschweißte Messleitung plus Prüfung der Verschraubung am MU beim Anfahren	Differenzdruckmessungen (Lüftung)	Randbedingung zu detailliert; streichen
Verschraubte Messleitung	Differenzdruckmessungen (Lüftung)	Randbedingung zu detailliert; streichen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Betriebliche Anforderungen (bei **Tantal-Kondensatoren mit deutlich längerer Lebensdauer**)	Druckmessungen: Grenzwertgeber	Randbedingung zu detailliert; streichen
Betriebliche Anforderungen (**ohne Berücksichtigung des technischen Details 'Kondensator Typ'**)	Druckmessungen: Grenzwertgeber	Randbedingung zu detailliert; streichen
Grenzwertgeber in direkter Ansteuerung von Leistungsschützen	Druckmessungen: Grenzwertgeber	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Grenzwertgeber nicht in direkter Ansteuerung von Leistungsschützen	Druckmessungen: Grenzwertgeber	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Außenliegende Messleitung (nicht frostfrei)	Druckmessungen: Messrohrleitung	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Nicht außenliegende Messleitung (frostfrei)	Druckmessungen: Messrohrleitung	Randbedingung sehr detailliert; Streichung oder Einführung einer eigenen Population prüfen
Messumformer (allgemein) oder Bartonzelle	Druckmessungen: Messumformer	Muss aufgeteilt werden in zwei Randbedingungen 1) Messumformer (allgemein) 2) Bartonzelle
Nicht teflonbeschichtete Messumformer	Kapazitive Füllstandsmessungen	Randbedingung zu detailliert; streichen
Teflonbeschichtete Messumformer	Kapazitive Füllstandsmessungen	Randbedingung zu detailliert; streichen
Diesel mit nach außen führenden Ölleitungen	Notstromdiesel	Randbedingung zu detailliert; streichen
Diesel ohne nach außen führende Ölleitungen	Notstromdiesel	Randbedingung zu detailliert; streichen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Signal ‘Öldruck tief‘ ist im vorrangigen Aggregate-schutz	Notstromdiesel	Randbedingung sehr detailliert; Streichung prüfen
Signal ‘Öldruck tief‘" ist nicht im vorrangigen Aggregateschutz	Notstromdiesel	Randbedingung sehr detailliert; Streichung prüfen
Gleitlager mit Ölvorwär-mung am Generator	Notstromdiesel	Randbedingung zu detailliert; streichen
Wälzlager am Generator	Notstromdiesel	Randbedingung zu detailliert; streichen
Bewertung für Haup-tarmaturen, wenn externe Steuerleitungen mit Kugelrückschlagventilen vorhanden sind	Sicherheitsventile (ei-genmediumgesteuert)	Randbedingung zu detailliert; streichen
Bewertung für Haupt-armaturen, wenn keine externen Steuerleitungen mit Kugelrückschlag-ventilen vorhanden sind	Sicherheitsventile (ei-genmediumgesteuert)	Randbedingung zu detailliert; streichen
Mit Chrombeschichtung	Vorsteuerventile (federbelastet)	Randbedingung zu detailliert; streichen
Ohne Chrombeschichtung	Vorsteuerventile (federbelastet)	Randbedingung zu detailliert; streichen
Arbeitsstrom	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss untersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungszeit ermittelt werden
Ruhestrom	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss un-tersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungs-zeit ermittelt werden

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
federbelastete Vorsteuer-ventile ohne magnetische Zusatzbelastung	Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Magnetfunktion betroffen: nur für magnetbetätigte Ventile und für Ventile mit magnetischer Zusatz-belastung übertragbar
Hauptventil arbeitet im Belastungsprinzip	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss untersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungszeit ermittelt werden
Hauptventil arbeitet im Entlastungsprinzip	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss untersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungszeit ermittelt werden
Magnetventil wird in Arbeitsstromschaltung betrieben	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss untersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungszeit ermittelt werden
Magnetventil wird in Ruhestromschaltung betrieben	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	statistische Auswirkung der Einführung der Randbedingung muss untersucht werden; in jedem Fall muss Beobachtungszeit ermittelt werden

2.5.6 Medien

Mit diesen Randbedingungen soll eine Auswirkung der Medien, denen Komponenten ausgesetzt werden, auf ihr Ausfallverhalten bewertet werden, z. B. Deionat im Gegensatz zu Flusswasser. Diese Randbedingungen sollten vereinheitlicht werden, um ein Erfassen der jeweiligen Bezugszeiten zu ermöglichen.

Tab. 2-27: Einzelvorschläge für Randbedingungen für Medien

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Kein Schmutz- bzw. Rohwassersystem (z. B. Feuerlöschwasser), das nicht regelmäßig (z. B. jährlich versetzt) gespült wird	Druckmessungen: Messrohrleitung	Doppelte Verneinung vermeiden, Rand-bedingung klarer formulieren

2.5.7 Betriebshäufigkeit

Mit diesen Randbedingungen soll die Auswirkungen der Häufigkeit des Betriebes von Komponenten, z. B. die Häufigkeit von Betätigungen von Schaltern, auf das Ausfallverhalten berücksichtigt werden. Da eine Prüfung mit einer Betätigung verbunden ist, überschneidet sich diese Klasse stark mit der Klasse ‘Prüfintervall‘. Wenn für das Schadensbild zum Zeitpunkt der Entdeckung nicht ausschließlich die Betriebshäufigkeit, sondern auch das Prüfintervall relevant ist, ist eine Neubewertung erforderlich (siehe Abschnitt 2.5.9.4 zum Prüfintervall).

Tab. 2-28: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für die Betriebshäufigkeit

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Formulierung sollte genauer sein: „monatlich betätigt“
Häufig (z. B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Formulierung sollte genauer sein: „monatlich betätigt“
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Formulierung sollte genauer und komplementär zur alternativen Rand-bedingung sein: „weniger als monatlich betätigt“
Selten (z. B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Formulierung sollte genauer und komplementär zur alternativen Rand-bedingung sein: „weniger als monatlich betätigt“

2.5.8 Betriebsbedingungen

Mit diesen Randbedingungen soll eine Auswirkung der sonstigen Betriebsbedingungen, denen Komponenten ausgesetzt werden, auf ihr Ausfallverhalten bewertet werden. Es hat sich gezeigt, dass die Unterscheidung von heißgehenden und kaltgehenden Systemen nicht zielführend ist, da ähnliche GVA-Phänomene bei beiden beobachtet wurden. Auch bei den anderen Randbedingungen ist zu überprüfen, ob sie verzichtbar sind. Andernfalls sind die entsprechenden Beobachtungszeiten zu erfassen. Weiterhin ist systematisch zu überprüfen, ob bei Ereignissen, die unter „günstigen“ Betriebsbedingungen aufgetreten sind, für ‘ungünstige‘ Randbedingungen ebenfalls Randbedingungen zu definieren sind, die eine Berücksichtigung einer höheren Wahrscheinlichkeit von GVA-Ereignissen bzw. eines stärker ausgeprägter Schadensbildes ermöglichen.

Tab. 2-29: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für sonstige Betriebsbedingungen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Heißgehende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	streichen
Kaltgehende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	streichen
Kaltgehende Systeme ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Unterscheidung von heißgehenden und kaltgehenden Systemen streichen
Kaltgehende Systeme und Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Unterscheidung von heißgehenden und kaltgehenden Systemen streichen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Kein Schmutz- bzw. Rohwassersystem (z. B. Feuerlöschwasser), das **nicht regelmäßig (z. B. jährlich versetzt) gespült wird**	Druckmessungen: Messrohrleitung	Formulierung verbessern durch Verzicht auf doppelte Verneinung; überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Erfassung der Betriebszeiten möglich; ggf. streichen
Druckmessung in einem Medium, das seinen Druckinhalt schlagartig verändern kann (z. B. durch Druckstöße bei Abblasevorgängen)	Druckmessungen: Messumformer	Überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Nachweis möglich; andernfalls streichen
Keine Druckmessung in einem Medium, das seinen Druckinhalt schlagartig verändern kann (z. B. durch Druckstöße bei Abblasevorgängen)	Druckmessungen: Messumformer	Überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Nachweis möglich; andernfalls streichen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb mit Ansaugung von Sauberwasser oder **kontinuierlicher Pumpenbetrieb** mit beliebiger Wasserqualität	Kreiselpumpen	Überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Erfassung der Betriebszeiten möglich; ggf. streichen oder Randbedingung aufteilen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), mit angemessener (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen	Überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Erfassung der Betriebszeiten möglich; ggf. streichen
Diskontinuierlicher Pumpenbetrieb, Ansaugung von Schmutzwasser (z. B. Nebenkühlwasser), ohne angemessene (z. B. monatliche) Überwachung auf Erreichen der spezifizierten Pumpenkennwerte	Kreiselpumpen	Überprüfen, ob trennscharfe Unterscheidung und Erfassung der Betriebszeiten möglich; ggf. streichen

2.5.9 Instandhaltung

2.5.9.1 Verschieden aufwändige Überwachungen, so dass sich entwickelnde Schäden verschieden frühzeitig erkannt werden können

Es sollte überprüft werden, ob eine Vereinheitlichung vorgenommen werden kann. Weiterhin ist die Betriebserfahrung dahingehend zu überprüfen, ob Ereignisse an Komponentengruppen mit einer aufwändigeren Überwachung aufgetreten sind, die in Komponentengruppen ohne entsprechende Überwachung zu einem abweichenden Schadensbild geführt hätten. In diesem Fall sind entsprechende Bewertungsrandbedingungen einzuführen.

Tab. 2-30: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für verschieden aufwändige Überwachungen

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Mit Wirkleistungsmessung über Strom- und Spannungsmessung bei allen Armaturenfahrten sowie Auswertung bzgl. Wirkleistungsaufnahme, Drehmoment und Reibbeiwert (z. B. durch Vergleich mit regelmäßigen Prüfstandsmessungen) und Trendauswertung	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Definition einer Trendauswertung sollte präzisiert werden
Kaltgehende Systeme und **Betätigungen bei WKP und Betrieb finden** unter realen Anforderungsbedingungen **statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung**	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Definition einer Trendauswertung sollte präzisiert werden
Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Definition einer Trendauswertung sollte präzisiert werden

2.5.9.2 Möglichkeit, Instandhaltung redundanzübergreifend durchzuführen

Es sollte überprüft werden, ob bestimmte Bewertungsrandbedingungen heute überhaupt noch bei in der PSA modellierten Komponenten vorliegen. Ist dies nicht der Fall, kann auf die entsprechenden Randbedingungen verzichtet werden. Es ist weiter zu

überprüfen, ob die Randbedingungen vereinheitlicht werden können. Die entsprechenden Bezugszeiten sind zu ermitteln. Es ist weiterhin zu überprüfen, ob bei Ereignissen, die aufgetreten sind, obwohl keine redundanzübergreifende Instandhaltung vorgesehen ist, für Komponentengruppen, bei denen dies erlaubt ist, entsprechende Randbedingungen zu definieren sind, um ein dann zu erwartendes abweichendes Schadensbild zu berücksichtigen.

2.5.9.3 Qualität und Umfang Wiederkehrender Prüfungen

Es ist zu überprüfen, ob die Randbedingungen vereinheitlicht werden können. Es ist weiterhin zu überprüfen, ob bei Ereignissen, die aufgetreten sind, obwohl anforderungsgerechte Prüfung durchgeführt wird, für Komponentengruppen, bei denen dies nicht der Fall ist, ein anderes Schadensbild auftreten würde bzw. GVA-Ereignisse häufiger zu erwarten sind. Dann sind für diese Ereignisse entsprechende Randbedingungen zu definieren.

2.5.9.4 Prüfintervall

In der PSA-Modellierung wird das Prüfintervall automatisch berücksichtigt. Diese automatische Berücksichtigung müsste in die Expertenbewertung einbezogen werden. Um dies möglich zu machen, muss ein bestimmtes Prüfintervall zugrunde gelegt werden. Die Randbedingungen und Expertenbewertungen sind entsprechend zu überarbeiten.

Weiterhin ist systematisch zu überprüfen, ob Ereignisse vorhanden sind, bei denen in bei der PSA modellierten Komponentengruppen die Prüfintervalle größer sind und bei denen abweichende Schadensbilder zu erwarten sind. Auch für diese Komponenten wären dann entsprechende Randbedingungen einzuführen.

Wegen des damit verbundenen Aufwandes sollte überprüft werden, ob aus eine gegenüber der normalen Modellierung des Prüfintervalls verfeinerte Berücksichtigung nicht generell verzichtet werden kann..

Tab. 2-31: Einzelvorschläge zu Randbedingungen für Prüfintervalle

Randbedingung	Komponentenart	Vorschlag
Häufigere Prüfung (z. B. monatlich) mit Überwachung des Losbrechmoments des Hubmagneten	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Randbedingung sollte exakt definiert werden; Untersuchung, ob ausschließlich die Betätigungshäufigkeit relevant ist, andernfalls Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung des modellierten Prüfintervalls
Monatlich geprüft	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Untersuchung, ob ausschließlich die Betätigungshäufigkeit relevant ist, andernfalls Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung des modellierten Prüfintervalls
Monatlich geprüft, hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Untersuchung, ob ausschließlich die Betätigungshäufigkeit relevant ist, andernfalls Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung des modellierten Prüfintervalls
Monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad	Vorsteuerventile (magnetbetätigt)	Untersuchung, ob ausschließlich die Betätigungshäufigkeit relevant ist, andernfalls Neubewertung unter Beachtung der mathematischen Modellierung; genaue Spezifizierung des modellierten Prüfintervalls

2.5.9.5 Sonstige Aspekte der Instandhaltung

Es ist zu überprüfen, ob heute nur noch bestimmte Randbedingungen vorliegen; dann kann ggf. auf eine Unterscheidung verzichtet werden und nur noch die heute vorliegende Randbedingung beibehalten werden. Anderenfalls sind die Bezugszeiten zu ermitteln.

2.5.10 Randbedingungen zur Darstellung von Ausfallarten

Diese stellen keine Randbedingungen im eigentlichen Sinne dar. Sie wurde definiert, um Bewertungen für spezielle Ausfallarten vorzunehmen, die in der GVA-Datenbank nicht vorgesehen sind, da sie in der PSA nur für Sonderfälle verwendet werden wie

zum Beispiel langfristige Maßnahmen über betriebliche Einrichtungen nach Rücksetzen der Reaktorschutzsignale.

Aus den Untersuchungsergebnissen ergaben sich keine speziellen Schlussfolgerungen für diese Art Randbedingung. Wenn solche speziellen Ausfallarten in der PSA verwendet werden, müssen die für sie spezifischen Beobachtungszeiten erfasst werden.

2.6 Zusammenfassung

Die in der Datenbasis heute definierten Randbedingungen genügen bisher keiner allgemeinen Systematik. Bei der Durchführung der Ereignisbewertungen sahen die Experten immer wieder die Notwendigkeit, neue Randbedingungen zu definieren, um möglichst realistische Bewertungen zu ermöglichen. Die mit der großen Anzahl von Randbedingungen verknüpften Probleme wurden noch nicht gesehen. Die Randbedingungen wurden also bei der Bewertung einzelner Ereignisse definiert, ohne dass ein generelles Konzept darüber vorlag, wann die Einführung neuer Randbedingungen zulässig und erforderlich ist. Dies führte dazu, dass vielfach Randbedingungen sich auf sehr spezifische Gegebenheiten der aufgetretenen GVA-Ereignisse bzw. der betroffenen Einrichtungen beziehen bzw. sehr spezifische Gegebenheiten in Anlagen, für die GVA-Daten zu ermitteln waren, berücksichtigen. Deshalb werden die meisten Randbedingungen nur in einer einzigen Ereignisbewertung verwendet. Es gibt vielfach sehr ähnliche, aber nicht vollständig identische Randbedingungen. Die meisten Randbedingungen sind die Kombination von mehreren (bis zu vier) Einzelbedingungen

Zur statistisch korrekten Schätzung von Zuverlässigkeitskenngrößen ist es allerding erforderlich, die zu jeder definierten Randbedingung entsprechenden Beobachtungszeiten bzw. Anzahl der Anforderungen zu ermitteln. Bei dem vorliegenden System ist dies nicht praktikabel.

Bisher wurde ausgehend von einzelnen Ereignissen bzw. GVA-Phänomenen überprüft, ob eine vollständige Übertragung auf andere Komponentengruppen nicht sachgerecht ist, weil z. B. bessere Überwachungsmethoden vorliegen, und dann eine Randbedingung zur Berücksichtigung dieses Aspektes eingeführt. Um aber insgesamt zu angemessenen und statistisch korrekten Bewertungen zu kommen, müsste immer auch die Umkehrung dieser Überlegung geprüft werden, d. h. für jede in der PSA zu modellierende Komponentengruppe ist zu prüfen, ob nicht einzubeziehende GVA-Phänomene

hier mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten bzw. zu stärkeren Schädigungen führen. Dies wäre praktisch kaum durchführbar.

Deshalb sollte das System der Randbedingungen grundlegend überarbeitet werden. Wesentliche Ziele dabei sind eine Vereinheitlichung und Vereinfachung. Randbedingungen sollten sich nicht an speziellen GVA-Phänomenen, wie sie in den einzelnen Ereignissen aufgetreten sind, und speziellen technischen oder administrativen Gegebenheiten, wie sie in einzelnen Komponentengruppen und Anlagen vorliegen, orientieren, sondern an Klassen von GVA-Phänomenen und allgemein vorhandenen technischen oder administrativen Gegebenheiten. Zum Beispiel könnte die Vielzahl der unterschiedlich definierten Medien auf ‘Schmutzwasser‘ und ‘Sauberwasser‘ reduziert werden.

Zwei Klassen von Randbedingungen (Anforderungsdauern und Testintervalle) betreffen Aspekte, die auch zusätzlich durch die mathematisch-statistische Modellierung berücksichtigt werden. Bisher wurde in den Expertenbewertungen diese „automatische“ Modellierung nicht erkennbar berücksichtigt, so dass es derzeit nicht nachvollziehbar ist, ob dieser Aspekt doppelt berücksichtigt wird. Wegen der Schwierigkeiten einer angemessenen Behandlung und der relativ geringen Anzahl der Ereignisse sollte geprüft werden, ob auf diese Randbedingungen nicht allgemein verzichtet werden kann. Dies erscheint insbesondere sinnvoll, da andernfalls, wie oben dargestellt, systematisch überprüft und bewertet werden müsste, wie sich in Umkehrung kürzere Betriebsdauern und längere Testintervalle quantitativ auswirken würden. Dies umfänglich durchzuführen, erscheint praktisch unmöglich.

Demgegenüber wird bei Randbedingungen, die kleine oder große Redundanzgrade beschreiben, die automatische Modellierung mit dem Kopplungsmodell durch Expertenschätzungen ersetzt, so dass hier keine Probleme durch eine doppelte Berücksichtigung entstehen können. Diese Randbedingungen sollten in vereinheitlichter und systematisierter Form erhalten bleiben, um eine sachlich angemessenen Übertragung auf Komponentengruppen deutlich unterschiedlicher Größe zu ermöglichen.

Insgesamt sollte das System aus Randbedingungen wesentlich vereinfacht werden. Als Grundlage sollte eine systematische Vorgehensweise zur Definition und Bewertung von Randbedingungen sowie zur Aufteilung von Populationen dienen, die im Detail noch zu entwickeln sein wird. Die entwickelten Anforderungen an eine solche Vorgehensweise sind in Abschnitt 2.3 dargestellt.

3 Entwicklung eines geschlossenen Programmsystems zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten (Programm POOL)

Die Ermittlung von GVA-Daten erfordert die Zusammenführung von Ergebnissen aus verschiedenen Auswertungs- und Bewertungsschritten. Es werden Informationen aus unterschiedlichen Datenbanken und Tabellen verwendet, Parameter durch ingenieurmäßige Bewertungen oder durch Rechenprogramme ermittelt und Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse in verschiedenen Datenbanken und Tabellen abgespeichert. Die Übergabe der Informationen zu den jeweils nächsten Arbeitsschritten erfolgte bisher überwiegend manuell.

Die einzelnen Arbeitsschritte und die daraus resultierenden Parameter sind im Folgenden erläutert:

- Identifizierung von GVA-Komponentengruppen in einer Referenzanlage, für welche GVA-Daten ermittelt werden sollen, und Ermittlung anlagenspezifischer Parameter zu diesen Gruppen, wie Testintervall und Zahl der Komponenten in der Gruppe.
- Auswertung von Betriebserfahrung mit GVA an vergleichbaren Komponenten aus vergleichbaren Anlagen über einen bekannten Beobachtungszeitraum. Die ausgewerteten GVA-Ereignisse werden derzeit in der Datenbank ‘GVA‘ der GRS gespeichert. Die ausgewerteten Beobachtungsjahre sind bisher als Zusatzinformation in einer separaten Datei abgelegt.
- Bildung von ‘ausreichend großen‘ Populationen mit ‘ausreichend großer‘ Beobachtungszeit, die technisch sinnvoll zusammenpassen. Daraus ergeben sich die jeder Population zugeordneten beobachteten GVA-Ereignisse aus der Auswertung der Betriebserfahrung, sowie der populationsspezifische Parameter ‘Gesamtbeobachtungszeit‘, der sich aus der Zahl der Komponentengruppen in der Population und den Beobachtungsjahren errechnet.
- Expertenbewertung der GVA-Ereignisse aus einer Population unter Berücksichtigung der speziellen Randbedingungen der in der PSA zu bewertenden Komponentengruppen der Zielanlage. Die Expertenbewertungen sind in der Datenbank ‘GVA‘ der GRS gespeichert. Aus den Expertenbewertungen ergeben sich die zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten notwendigen ereignisspezifischen Parameter ‘Schädigungsvektor‘ und ‘Übertragbarkeitsfaktor‘. Die für die Verwendung im

GVA-Rechenproramm aufbereiteten Parameter sind bisher in einer MS EXCEL®-Tabelle dokumentiert.

- Berechnung der im Fehlerbaum benötigten GVA-Wahrscheinlichkeiten mit dem Programm zur Ermittlung von GVA-Ausfallwahrscheinlichkeiten mit dem Kopplungsmodell (PEAK) /GRS 03/ auf Basis der in den vorigen Schritten ermittelten Parameter. Diese Parameter mussten bisher für jeden Datensatz einzeln aus den verschiedenen, in den vorherigen Schritten erstellten Tabellen, zusammengestellt werden.

- Übergabe der errechneten Verteilungen von GVA-Wahrscheinlichkeiten an den für das verwendete Fehlerbaumprogramm RiskSpectrum® erstellten Datensatz für die Zuverlässigkeitskenngrößen.

Zur Verknüpfung der einzelnen Auswerte- und Bewertungsschritte sowie zur qualitätsgesicherten Übergabe und Dokumentation der zur Berechnung der GVA-Wahrscheinlichkeiten verwendeten Parameter wurde jetzt das Programmsystem POOL entwickelt, welches die bei jedem Arbeitsschritt erfassten Parameter und Bewertungsrandbedingungen dokumentieren, intern verwalten und an die nachfolgenden Arbeitsschritte weitergeben kann.

POOL liest aus der Datenbank GVA die Expertenbewertungen ein und bietet in einem einheitlichen Bearbeitungsmenü die Möglichkeit, Datensätze mit Hilfe von Auswahlkriterien individuell zusammenzustellen und an die Randbedingungen der zu bewertenden GVA-Komponentengruppen anzupassen. Aus dem Programm POOL kann dann direkt das Programm PEAK /BUE 03/ zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten aufgerufen werden. Das Programm PEAK wurde so erweitert, dass jetzt die errechneten GVA-Wahrscheinlichkeiten so aufbereitet werden, dass sie in den für das Fehlerbaumprogramm RiskSpectrum® verwendeten Datensatz für die Zuverlässigkeitskenngrößen direkt eingelesen werden können.

Abb. 3-1 stellt eine Übersicht über den Datenfluss im Programmsystem POOL dar.

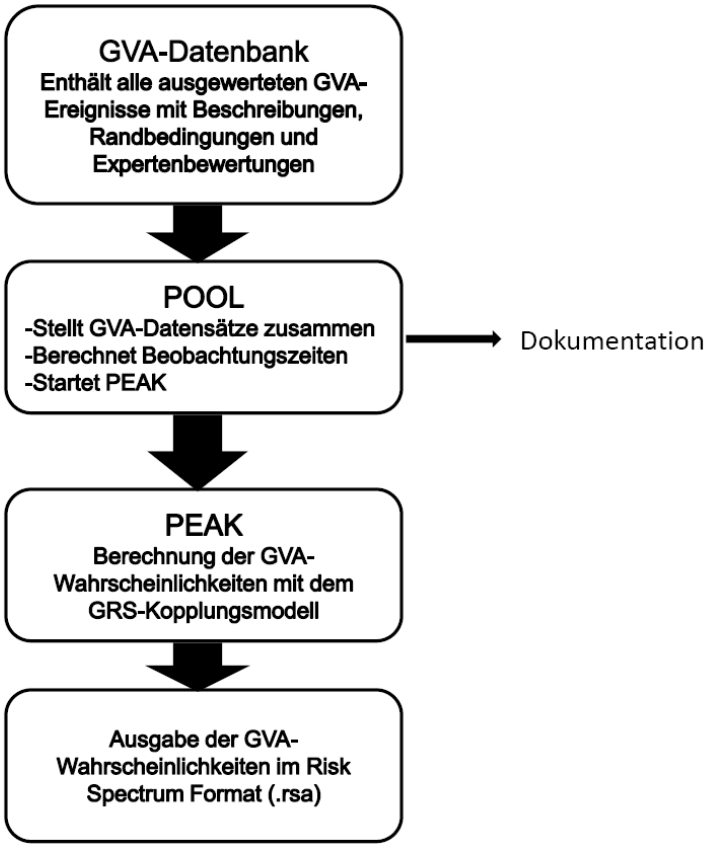

Abb. 3-1: Datenfluss im Programmsystem POOL

In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst die zur Programmierung von POOL verwendete Software und die Datenbankstruktur beschrieben. Anschließend werden die einzelnen Bearbeitungsschritte und die entsprechenden Bearbeitungsfenster von POOL vorgestellt.

3.1 Programm POOL

3.1.1 Verwendete Technik

Da die bisher in der GRS verwendete Entwicklungsplattform ‘Oracle Forms‘ von Oracle gemäß

/NRC 98/United States Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment, NUREG/CR-5485, Washington, DC, November 1998

/ORA 06/ nur noch in beschränktem Umfang weiterentwickelt wird, wurde die neue Entwicklungsumgebung JDeveloper von Oracle für Java Web- und Cliententwicklung eingesetzt. In der Entwicklungsumgebung ist das Application Development Framework (ADF) von Oracle integriert. ADF unterstützt eine geschichtete Architektur und folgt dem MVC (Model, View, Controller) Design Pattern. Die Modellschicht, die im Wesentlichen den Datenanschluss realisiert, wird getrennt von der View und Controllerschicht für die Darstellung und die Interaktionen entwickelt. Für die View und Controllerschicht wurde ADF Swing verwendet. ADF Swing bedeutet eine Java Programmierung mit der Swing Bibliothek. Das ausführbare Programm läuft auf dem Client Computer. Es wurden auch Versuche mit der ADF Faces Technik unternommen. Hier läuft das Programm auf einem Applikationsserver und wird auf dem Client Computer in einem Web-Browser dargestellt. Die Web Programmierung ist jedoch deutlich komplexer als die Client Programmierung und beinhaltet Einschränkungen in Bezug auf Darstellung und Interaktionen. Daher wurde die ADF Swing Client Programmierung gewählt.

3.1.2 Datenbankstruktur

Die Datenbank enthält zum einen Tabellen, die die GVA-Daten enthalten, im Wesentlichen die Expertenschätzungen zu den GVA-Ereignissen und die Beobachtungszeiten, Tabellen, die die Auswahl unterstützen und Tabellen, die die erzeugten Datensätze speichern.

3.1.2.1 Tabellen mit Komponentenpopulationen und Ereignisbewertungen

Die Datenbasis für die GVA-Ereignisbewertungen bildet die Tabelle „Pool_Ereignisse“. Zu bestimmten Zeitpunkten wird sie aus der GVA-Datenbank gefüllt. Es werden alle GVA-Ereignisse übertragen, die als GVA-Ereignis an einer PSA-relevanten Komponente klassifiziert wurden (Klassifizierung GD) und als Kriterium den Eintrag „in GVA Datenpool aufgenommen“ besitzen. Von den Expertenbewertungen dieser GVAs werden diejenigen Expertenbewertungen übertragen, die die Flagge POOL gesetzt haben. Die Flagge ‘POOL‘ wird bei allen qualitätsgesicherten Expertenbewertungen zu GVA-Ereignissen gesetzt.

Vor der Übertragung wird überprüft, ob genau eine Randbedingung als default besetzt ist. Die default-Randbedingung wird beim Anlegen eines neuen Datensatzes automatisch standardmäßig ausgewählt. Als default-Randbedingung wird in der Regel die

konservativste für den Leistungsbetrieb gültige Randbedingung für normalerweise in der PSA abgefragte Ausfallarten ausgewählt. Dabei wird der Bewertung von anlageninternen Ereignissen Vorrang gegenüber Einwirkungen von außen (EVA) gegeben. Beispielsweise wäre die Randbedingung ‘keine EVA‘ gegenüber der Randbedingung ‘EVA‘ als default zu wählen.

Bei unterschiedlichen Arten von Anforderungen wird die Anforderung aus dem Reaktorschutz als default-Randbedingung gewählt. Des Weiteren hat eine Fernauslösung gegenüber einer Handauslösung bezüglich der Wahl der default-Randbedingung Vorrang.

Bezieht sich die Randbedingung auf unterschiedliche Ausfallarten, so ist diejenige Randbedingung als default zu wählen, die den normalerweise in der PSA relevanten Ausfallart betrifft. Beispielsweise ist die Randbedingung ‘Schließfunktion über Motorantrieb‘ bei Absperrschiebern gegenüber der Randbedingung ‘Schnellschlussfunktion von Radialschiebern‘ als default zu wählen.

Durch diese Auswahlregeln können an sich widersprüchliche Randbedingungen default-Randbedingungen werden, wenn an einer Komponentenart bei gleicher Ausfallart mehrere Ereignisse existieren, die unter unterschiedlichen Randbedingungen stattfanden. Beispielsweise können bei Brandschutzklappen, sofern es unterschiedliche Ereignisse mit Defekten in den verschiedenen Auslösemechanismen gab, gleichzeitig Schmelzlotauslösung und Fernauslösung default sein.

Existiert ‘Keine‘ als Randbedingung, wird sie als default-Randbedingung gewählt.

Der Datentransfer wird in der Tabelle ‘Pool_Transfer‘ protokolliert. Ein Datentransfer erfolgt immer dann, wenn im Rahmen eines Update-Projekts Betriebserfahrungen mit GVA für einen neuen Beobachtungszeitraum ausgewertet worden sind.

Die Tabelle ‘Pool_Ereignisse‘ enthält insgesamt 28 Spalten die aus verschiedenen Tabellen der VGBGVA-Datenbank befüllt werden. Tab. 3-1 gibt einen Überblick über die Spalten und Inhalte, die aus der Tabelle ‘Experten‘ der GVA-Datenbank übernommen werden. Schlüsselfelder sind mit einem (X) gekennzeichnet.

Tab. 3-1: Inhalte der Tabelle ‘Pool_Ereignisse‘, importiert aus der Experten-Tabelle der GVA-Datenbank

CMNR (X)	GVA-Ereignisnummer - von der GRS als Laufzahl vergebene Nummer mit der die einzelnen GVA-Ereignisse eindeutig identifiziert werden
EXPERTE (X)	Kürzel des bewertenden Experten, GRS-interne Experten werden mit GRS X abgekürzt, externe Experten mit ihrem Anlagen- oder Firmenkürzel und einer Ziffer
RANDBEDINGUNG (X)	Zu der Expertenbewertung gehörige Randbedingungen
BEW_AKEY (X)	Vom Experten bewertete Ausfallart in verschlüsselter Form
BEW_KOMPART (X)	Die Komponentenpopulation, der das GVA-Ereignis zugeordnet ist
AUSFALL	Anzahl der nach Schätzung des Experten in der betroffenen Komponentengruppe ausgefallenen Komponenten
STARK_SCH	Anzahl der nach Schätzung des Experten in der betroffenen Komponentengruppe stark geschädigten Komponenten
SCHWACH_SCH	Anzahl der nach Schätzung des Experten in der betroffenen Komponentengruppe schwach geschädigten Komponenten
SEHR_SCHWACH_SCH	Anzahl der nach Schätzung des Experten in der betroffenen Komponentengruppe sehr schwach geschädigten Komponenten
KOMPGR	Größe der betroffenen Komponentengruppe
UEBERTRAGFAKT	Vom Experten geschätzter Übertragbarkeitsfaktor – Ein Maß für die Übertragbarkeit des GVAs auf andere Komponentengruppe dieser Komponentenart
URSACHENGLEICHHEIT	Vom Experten geschätzter Ursachengleichheitsfaktor – Geht im Kopplungsmodell der GRS als multiplikativer Faktor in den Übertragbarkeitsfaktor ein und ist dort auch schon berücksichtigt. Kann in anderen Modellen als separater Faktor berücksichtigt werden. Der Faktor entspricht dem ‘shared cause factor‘ im internationalem GVA-Datenaustauschprojekt ICDE und ist in /NEA 04/ definiert.

GLEICHZEITIGKEITSFAKTOR	Vom Experten geschätzter Gleichzeitigkeitsfaktor – Geht im Kopplungsmodell der GRS als multiplikativer Faktor in den Übertragbarkeitsfaktor ein und ist dort auch schon berücksichtigt. Kann in anderen Modellen als separater Faktor berücksichtigt werden. Der Faktor entspricht dem ‘time factor‘ im internationalem GVA-Datenaustauschprojekt ICDE und ist in /NEA 04/ definiert.
SG_ST	Vom Experten geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass eine stark geschädigte Komponente versagt; Standardwert: 0,5
SG_SW	Vom Experten geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass eine schwach geschädigte Komponente versagt; Standardwert: 0,1
SG_GE	Vom Experten geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass eine sehr schwach geschädigte Komponente versagt; Standardwert: 0,01
PROJEKT	Name des PSA-Projekts, für das GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden
RANDNR	Fortlaufende Nummerierung der Randbedingungen zu einem Ereignis
RANDDEFAULT	Boolean – Kennzeichnet welche Bewertungen default-Bewertungen sind
BMA	Gibt die betroffene Komponentenart in BMA-Verschlüsselung an.
IND_FEZ	Fehlerentdeckungszeitindex, eine Beschreibung der Detektierbarkeit des GVA-Ereignisses bei WKPs von verschiedener Qualität (s. Abschnitt 3.3.3)

Die Datenfelder aus Tab. 3-2 werden aus der ‘Ereignis‘-Tabelle der GVA-Datenbank übertragen.

Tab. 3-2: Inhalte der Tab. "Pool_Ereignisse“, importiert aus der Ereignis-Tabelle der GVA-Datenbank

EREIGNISDATUM	Datum des Ereignisses
ANLAGE	Vom Ereignis betroffene Anlage
KOMPGRUPPE	Vom Ereignis betroffene Komponentengruppe
QUELLE	Quelle, der das Ereignis entnommen wurde

Zusätzlich gibt es noch zwei Felder:

Tab. 3-3: Sonstige Felder der Tab. "Pool_Ereignisse"

PEBENE1	Komponentenpopulation (Erste Gliederungsebene der Komponentenpopulation)
PEBENE2	Komponentenpopulation (Zweite Gliederungsebene der Komponentenpopulation)

Die beiden Felder für die Populationsebenen werden bei der Datenüberspielung aus dem Feld BEW_KOMPART gefüllt. Durch ein Komma wird die Unterteilung angegeben. Ist kein Komma vorhanden, bekommt PEBENE2 den Wert ‘Keine Unterteilung‘. Bewertungen können mehren Populationen zugeordnet werden. Sie werden dann mit dem Word ‘UND‘ verbunden eingegeben, z. B. „Vorsteuerventile (federbelastet) UND Vorsteuerventile (magnetbetätigt)‘.

Aus den übertragenen Daten wird die Tabelle ‘Pool_Populat‘ mit den in den Daten enthaltenen Komponentenpopulationen gefüllt. Die Felder PEBENE1, PEBENE2 und BEW_AKEY der Tabelle ‘Pool_Populat‘ werden direkt aus der Tabelle POOL_EREIGNISSE bezogen. Das Feld AUSFALLART ist der Klartext zum Schlüssel BEW_AKEY. Das Feld GRUPPIERUNG teilt die Populationen in Gruppen ein. Es dient der Übersichtlichkeit und wird aus der Werteliste des Feldes BEWKOMPART der GVA-Datenbank kopiert.

3.1.2.2 Tabellen mit Beobachtungszeiten

Die Tabellen ‘Pool_Quellen‘ und ‘Pool_Komp‘ enthalten die der Berechnung der Beobachtungszeit zugrunde liegende Quellen- und Komponenteninformation. Ihre Beschreibung erfolgt in Abschnitt 3.2.1.

3.1.2.3 Tabellen zur Dokumentation

Die Tabellen zum Speichern der Parameterdatensätze sind ein Abbild der Datenbank ‘WISBAS‘, in der die Ergebnisse der bisher von der GRS seit 1989 durchgeführten Berechnungen von GVA-Wahrscheinlichkeiten abgelegt sind.

Die folgende Graphik Abb. 3-2 zeigt die Ausgabetabellen und ihre Abhängigkeiten in der Übersicht. Die Rechtecke stehen für Tabellen, die die Informationen aus den abgerundeten Rechtecken den Identifikationsnummern in den Ellipsen zuordnen, die Tabelle 'Pool_Gvapoparam' verknüpft die beiden Identifikationsnummern (Ellipsen) miteinander:

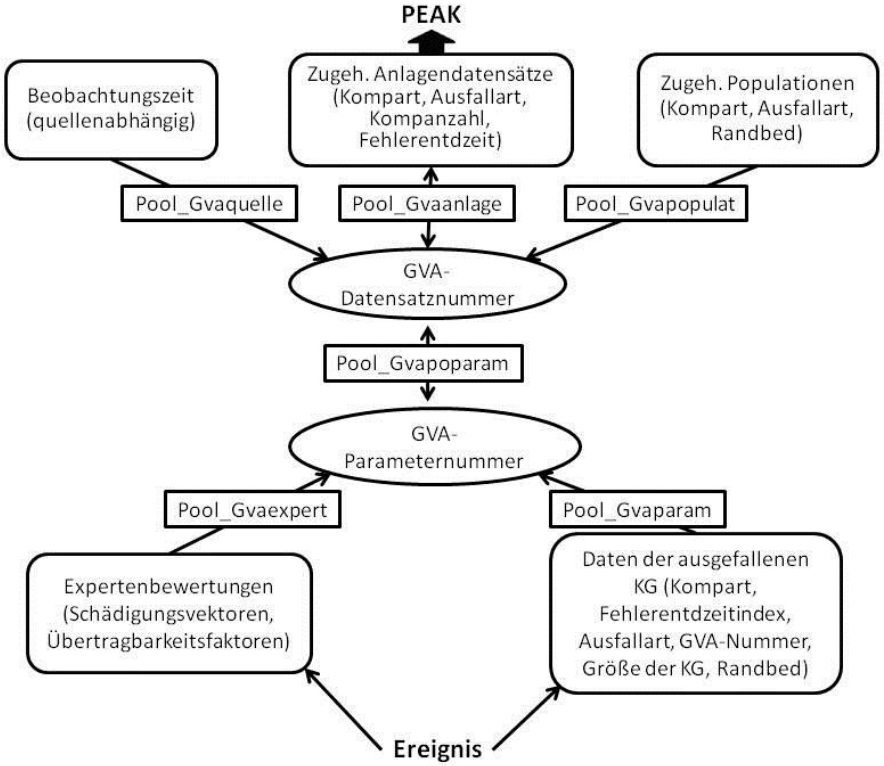

Abb. 3-2: Die Ausgabetabellen des POOL-Programms

Im Folgenden soll nochmals ausführlich erläutert werden, wie die Tabellen voneinander abhängen:

Tabelle 'Pool_Gvaparam'

Für ein GVA-Ereignis wurden im Rahmen des Bewertungsverfahrens die für die Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten relevanten Daten der ausgefallenen Komponentengruppe bestimmt. Es werden durch POOL automatisch nur Ereignisse berücksichtigt deren Ereignisdatum in den auszuwertenden Bereich fällt (siehe Kapitel 3.2). Über die Tabelle 'Pool_Gvaparam' werden diese relevanten Parameter der von dem GVA-Ereignis betroffenen Komponentengruppe einer GVA-Parameternummer („GVAPA_NR") zugeordnet. Die Tabelle 'Pool_Gvaparam' besteht aus den folgenden Spalten:

- Betroffene Komponentengruppe (‘Kompgruppe‘),
- Verschlüsselte betroffene Komponentenart (‘BMA‘),
- Fehlerentdeckungszeitindex (‘IND_FEZ‘), gibt an welche Fehlerentdeckungszeit verwendet werden muss (bisher nur bei FD-ARVs relevant, siehe Abschnitt 3.3.3),
- Verschlüsselte Ausfallart (‘AF“),
- GVA-Nummer (‘GVA_NR‘), eine von der GRS vergebene Laufnummer für GVAs,
- Größe der betroffenen Komponentengruppe (‘Anz_KE‘),
- Randbedingungen (‘Randbedingung‘) und
- GVA-Parameternummer (‘GVAPA_NR‘).

Die GVA-Parameternummer setzt sich zusammen aus dem BMA-Kürzel der von dem GVA-Ereignis betroffenen Komponentenart, der GVA-Nummer, der fortlaufenden Nummerierung der Randbedingungen zu einem Ereignis (siehe ‘RANDNR‘ in Tab. 3-1), einer Laufnummer und dem Buchstaben ‘P‘. Wird ein GVA-Ereignis unter verschiedenen Randbedingungen (oder anderen Parametern) bewertet, existiert folglich für jede Randbedingung ein eigener Eintrag mit einer eigenen GVA-Parameternummer (‘GVAPA_NR‘).

Tabelle ‘Pool_Gvaexpert‘

Die zu einem Ereignis gehörigen Expertenbewertungen werden über die Tabelle ‘Pool_Gvaexpert‘ mit den GVA-Parameternummern (‘GVAPA_NR‘) des Ereignisses verknüpft. Die Tabelle ‘Pool_Gvaexpert‘ besteht aus den folgenden Spalten:

- Anonymisierter Name des Experten (‘Name‘),
- Laufnummer für Experten innerhalb eines GVA-Ereignisses (‘Exp_Nr‘),
- Einschätzung des Experten bezüglich der Anzahl der bei diesem GVA ausgefallenen (‘AF‘), stark geschädigten (‘ST‘), schwach geschädigten (‘SW‘) und sehr schwach geschädigten (‘GE‘) Komponenten,
- Übertragbarkeitsfaktor (‘UEF‘) und
- Spezifische Ausfallwahrscheinlichkeiten für starke (‘SG_ST‘), schwache (‘SG_SW‘) und sehr schwache Schädigung (‘SG_GE‘).

Letztere sind nur ausgefüllt, sofern der Experte die Standardgewichtungen (siehe Tab. 3-1) für unangemessen hielt.

Tabelle ‘Pool_Gvapoparam‘

Eine GVA-Parameternummer steht für ein bewertetes Ereignis aus der Betriebserfahrung. Diese müssen den betrachteten statistischen Populationen zugeordnet werden. Dies geschieht indem in der Tabelle ‘Pool_Gvapoparam‘ die GVA-Parameternummern den passenden GVA-Datensatznummern zugeordnet werden. Werden Ereignisse aus unterschiedlichen Quellen behandelt, müssen für diese zunächst separate Ausfallwahrscheinlichkeiten berechnet werden, die erst zum Schluss logarithmisch gemittelt werden, weswegen auch die Nummer der Quelle mit aufgeführt wird. Die Tabelle ‘Pool_Gvapoparam‘ besteht also insgesamt aus den folgenden Spalten:

- GVA-Parameternummer (‘GVAPA_NR‘),
- Quelle (‘QU_NR‘) und
- GVA-Datensatznummer (‘GVADAT_NR‘).

Bei den GVA-Datensatznummern handelt es sich um eine Zeichenkombination, die für eine betrachtete Population, für die es sowohl in der Betriebserfahrung GVAs gab als auch in der Zielanlage vergleichbare Komponentengruppen existieren, für die dann GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden sollen, steht. Eine GVA-Datensatznummer besteht aus dem BMA-Kürzel der zugehörigen Komponentenart, einer vierstelligen bei der Erstellung der Population wählbaren Zeichenkombination (siehe Abschnitt 3.3.1) und einer Laufnummer sowie dem Buchstaben ‘D‘.

Jeder GVA-Datensatznummer (‘GVADAT_NR‘) werden normalerweise mehrere bewertete Ereignisse, also mehrere GVA-Parameternummern (‘GVAPA_NR‘ zugewiesen. Umgekehrt kann eine GVA-Parameternummer nicht zu mehreren Populationen gehören.

Tabelle ‘Pool_Gvapopulat‘

Es muss noch definiert werden, aus welchen Komponentengruppen eine Population besteht. Dies geschieht durch die Tabelle ‘Pool_Gvapopulat‘, sie besteht aus folgenden Spalten:

- GVA-Datensatznummern (‘GVADAT_NR‘) ,
- Komponentenart ausgeschrieben (‘Kompgruppe‘) und als BMA-Kürzel (‘BMA‘),
- Randbedingungen (‘Randbedingung‘) und
- Ausfallart (‘AF‘).

Damit wird für jede GVA-Datensatznummern (‘GVADAT_NR‘“) festgelegt, welche Komponentengruppen unter welchen Randbedingungen und mit welcher Ausfallart in ihrer Population zusammengefasst sind.

Tabelle ‘Pool_Gvaquelle‘

Zur Berechnung einer GVA-Ausfallwahrscheinlichkeit wird die Beobachtungszeit einer jeden relevanten Population benötigt. Diese wird in POOL berechnet (vgl. Abschnitt 3.2) und in der Tabelle ‘Pool_Gvaquelle‘ abgelegt. Sie besteht aus folgenden Spalten:

- GVA-Datensatznummern (‘GVADAT_NR‘),
- Berechnete Beobachtungszeit (‘BeobZ‘),
- Quelle (’Quelle’ bzw. ’QU_NR’) und
- Anfangs- und Enddatum der Auswertung (‘Beschreibung‘)

Unterschiedliche Quellen benötigen jeweils eine eigene Beobachtungszeit, weswegen auch hier die Quelle aufgeführt wird. Das Feld ‘Beschreibung‘ dient lediglich zur Information.

Tabelle ‘Pool_Gvaanlage‘

Zur Berechnung von GVA-Wahrscheinlichkeiten müssen noch verschiedene GVA-relevante Parameter der Komponentengruppe in der Zielanlage definiert werden. Dies erfolgt in POOL durch die Eingabe eines sogenannten Anlagendatensatzes (siehe Abschnitt 3.3.3). In der Tabelle ‘Pool_Gvaanlage‘ werden diese Parameter mit der statistischen Population, zu der die Komponentengruppe der Zielanlage gehört, über die GVA-Datensatznummer verknüpft. Die Tabelle ‘Pool_Gvaanlage‘ enthält folgende Spalten:

- Anlagendatensatznummer (‘ANLDAT_NR‘),

- in POOL eingegebene Beschreibung des Anlagendatensatzes (‘Kompgruppe‘),
- Verschlüsselte Komponenten- bzw. Betriebsmittelart (‘BMA‘),
- Verschlüsselte Ausfallart (‘AF‘),
- Komponentenanzahl des Anlagendatensatzes (‘Anz_K‘),
- Drei mögliche Fehlerentdeckungszeiten (‘FEZ1-3‘) und
- GVA-Datensatznummer (‘GVADAT_NR‘).

Eine Anlagendatensatznummer steht für eine in der Zielanlage vorkommende Komponentengruppe, für die mit PEAK GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden sollen. Sie besteht aus dem Namen der Anlage, dem BMA-Kürzel der Komponentengrupe, einer Laufnummer und dem Buchstaben ‘K‘.

Alle weiteren für die Berechnung der GVA-Wahrscheinlichkeit relevanten Informationen werden dem Anlagendatensatz über die GVA-Datensatznummer zugeordnet (‘GVADAT_NR‘).

Sonstiges

Zusätzlich gibt es noch die Tabelle ‘Pool_Gvaprojekt‘, die es erlaubt, die erzeugten Datensätze in übersichtlicher Weise Projekten zuzuordnen.

3.1.3 Erstellung der Auswahltabellen und Angleichung der Wertelisten

Die Auswahltabellen für die Komponentenpopulationen und Ausfallarten, für die Expertenbewertungen zur Verfügung stehen, werden direkt aus den Datensätzen der GVA-Datenbank generiert. Dazu mussten die Werte für die bewertete Komponentenart in der GVA-Datenbank so angepasst werden, dass sie nach dem oben beschriebenen Muster als zweistufige Auswahl dienen konnten. Mit Stand vom 01.06.2010 ergibt sich die in Tab. 3-4 angegebene Liste von Komponentenpopulationen und Ausfallarten.

Tab. 3-4: Auflistung der im POOL-Programm vorhandenen Komponentenpopulationen und Ausfallarten

Gruppierung	BEW_KOMPART	PEBENE1	PEBENE2	Ausfallart
Armaturen	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrklappen (motorbetätigt)	Wasser führende Systeme	öffnet nicht
Armaturen	Absperrklappen (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrklappen (motorbetätigt)	Wasser führende Systeme	schließt nicht
Armaturen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt)	Wasser führende Systeme	öffnet nicht
Armaturen	Absperrschieber (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrschieber (motorbetätigt)	Wasser führende Systeme	schließt nicht
Armaturen	Absperrventile (motorbetätigt), Dampf führende Systeme	Absperrventile (motorbetätigt)	Dampf führende Systeme	öffnet nicht
Armaturen	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrventile (motorbetätigt)	Wasser führende S ysteme	öffnet nicht
Armaturen	Absperrventile (motorbetätigt), Wasser führende Systeme	Absperrventile (motorbetätigt)	Wasser führende Systeme	schließt nicht
Armaturen	FD-Abblase-Regelventile	FD-Abblase-Regelventile	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	FD-Absperrarmaturen (eigenmediumge-steuert), FD-ISO-Ventile	FD-Absperrarmaturen (eigen-mediumgesteuert)	FD-ISO-Ventile	schließt nicht
Armaturen	FD-Absperrarmaturen (eigenmediumge-steuert), FSA	FD-Absperrarmaturen (eigen-mediumgesteuert)	FSA	schließt nicht
Armaturen	FD-Absperrarmaturen (eigenmediumge-steuert)	FD-Absperrarmaturen (eigen-mediumgesteuert)	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Regelventile	Regelventile	keine Unterteilung	regelt nicht
Armaturen	Regelventile	Regelventile	keine Unterteilung	regelt nicht/ öffnet oder schließt nicht

Gruppierung	BEW_KOMPART	PEBENE1	PEBENE2	Ausfallart
Armaturen	Rückschlagklappen	Rückschlagklappen	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Rückschlagventile	Rückschlagventile	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Rückschlagventile	Rückschlagventile	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Rückschlagventile (absperrbar)	Rückschlagventile (absperrbar)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Rückschlagventile (kolbenbetätigt aufziehbar)	Rückschlagventile (kolbenbetätigt aufziehbar)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)	Sicherheitsventile (eigenmediumgesteuert)	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (federbelastet)	Vorsteuerventile (federbelastet)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (federbelastet)	Vorsteuerventile (federbelastet)	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (federbelastet)	Vorsteuerventile (federbelastet)	keine Unterteilung	schließt verzögert
Armaturen	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	Vorsteuerventile (magnetbelastet)	keine Unterteilung	schließt verzögert
Armaturen	Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)	Vorsteuerventile (magnetbetätigte Pneumatik-Mehrwegeventile)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (motorbetätigt)	Vorsteuerventile (motorbetätigt)	keine Unterteilung	öffnet nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (motorbetätigt)	Vorsteuerventile (motorbetätigt)	keine Unterteilung	schließt nicht
Armaturen	Vorsteuerventile (Steuerleitung)	Vorsteuerventile (Steuerleitung)	keine Unterteilung	Leckage außen

Gruppierung	BEW_KOMPART	PEBENE1	PEBENE2	Ausfallart
Armaturen	Vorsteuerventile (Steuerleitung)	Vorsteuerventile (Steuerleitung)	keine Unterteilung	Verstopfung
Elektrische Einrichtungen	Batterien	Batterien	keine Unterteilung	Kapazität nicht ausreichend
Elektrische Einrichtungen	Batterien	Batterien	keine Unterteilung	Spannungszusammenbruch (Batterie etc.)
Elektrische Einrichtungen	Leistungsschalter	Leistungsschalter	keine Unterteilung	schließt nicht
Elektrische Einrichtungen	Leistungsschalter, Leistungsschütze (zwischen Unterverteilungen)	Leistungsschalter	Leistungsschütze (zwischen Unterverteilungen)	schließt nicht
Elektrische Einrichtungen	Notstromdiesel	Notstromdiesel	keine Unterteilung	Betriebsversagen
Elektrische Einrichtungen	Notstromdiesel	Notstromdiesel	keine Unterteilung	startet nicht
Kühler/Lüfter	Ventilatoren	Ventilatoren	keine Unterteilung	fördert nicht
Kühler/Lüfter	Ventilatoren	Ventilatoren	keine Unterteilung	startet nicht
Kühler/Lüfter	Wärmetauscher	Wärmetauscher	keine Unterteilung	überträgt keine Leistung
Leittechnische Einrichtungen	Relais	Relais	keine Unterteilung	schaltet nicht
Leittechnische Einrichtungen	Relais, Koppelrelais und Hilfsschütze	Relais	Koppelrelais und Hilfsschütze	schaltet nicht
Leittechnische Einrichtungen	Relais, offenes System (Kammrelais)	Relais	offenes System (Kammrelais)	schaltet nicht
Leittechnische Einrichtungen	Relais, Reed-Relais	Relais	Reed-Relais	schaltet nicht

Gruppierung	BEW_KOMPART	PEBENE1	PEBENE2	Ausfallart
Leittechnische Einrichtungen	Relais, Zeitrelais	Relais	Zeitrelais	schaltet nicht
Messungen	Druckmessungen: Grenzwertgeber	Druckmessungen: Grenzwertgeber	keine Unterteilung	schaltet nicht
Messungen	Druckmessungen: Messrohrleitung	Druckmessungen: Messrohrleitung	keine Unterteilung	Verstopfung
Messungen	Druckmessungen: Messumformer	Druckmessungen: Messumformer	keine Unterteilung	schaltet nicht
Pumpen	Kreiselpumpen	Kreiselpumpen	keine Unterteilung	fördert nicht
Pumpen	Kreiselpumpen	Kreiselpumpen	keine Unterteilung	startet nicht

Des Weiteren wurde die Tabelle ‘Commod‘der GVA-Datenbank um das Feld ‘Quelle‘ erweitert, bei allen erfassten Ereignissen wurde die Informationen angegeben, aus der die Ereignisse stammen (z. B. BEV für alle meldepflichtigen Ereignisse aus deutschen Anlagen, IRS für alle Ereignisse aus der im Rahmen von /GRS 90/ durchgeführten Auswertung des Incident Reporting Systems (IRS) der IAEA). Die in der GVA-Datenbank enthaltenen Ausfallarten wurden an die im PEAK-Programm verwendete Verschlüsselung der Ausfallart angepasst. Damit ergaben sich die in Tab. 3-4 angegebenen Ausfallarten.

3.2 Berechnung der Beobachtungszeit mit dem POOL-Programm

3.2.1 Aufbau der der Berechnung zu Grunde liegenden Tabellen

Die Berechnung der Beobachtungszeiten im Programm POOL erfolgt mittels zweier Listen. Die eine Liste ist die sogenannte Quellenliste, in ihr ist beschrieben innerhalb welchen Zeitraums eine Komponentenart für eine Quelle ausgewertet wurde. Ihr Inhalt ist kraftwerksspezifisch. Ein Eintrag in der Quellenliste enthält folgende Informationen:

- Komponentenart (z. B. Absperrschieber), (Spalte: „PEBENE1“),
- Ggf. Komponentenunterart (z. B. Wasser führende Systeme), (Spalte: ‘PEBENE2‘),
- Ausfallart (z. B. A4 als Kürzel für Betriebsversagen), sofern sich daraus ein Unterschied in der Gewichtung der Beobachtungszeit ergibt, (Spalte: ‘BEW_AKEY‘),
- Quelle (z. B. Meldepflichtige Ereignisse BEV), (Spalte: ‘QUELLE‘),
- Beginn der Auswertung, (Spalte: ‘AUSWANFANG‘),
- Ende der Auswertung, (Spalte: ‘AUSWENDE‘),
- Ausgewertetes Kernkraftwerk, (Spalte: ‘KKW‘),
- Gewichtung der Auswertungszeit für vom Betriebszustand abhängigen Ausfallarten (z. B. Betriebsversagen, vgl. Abschnitt 3.2.3), (Spalte: ‘GEWICHTUNG‘),
- Beobachtungszeit: Bei Quellen für die die vorliegende Menge an Informationen nicht ausreicht um eine detaillierte Berechnung der Beobachtungszeit durch POOL

zu ermöglichen, wird hier die zu verwendende feste Beobachtungszeit angegeben (Spalte: ‘BEOBZ‘).

Die andere Liste ist die Komponentengruppenliste und enthält Informationen über die Anzahl und Betriebszeiträume der einzelnen Komponentengruppen. Dies sind im Einzelnen:

- Komponentenart (z. B. Absperrschieber), (Spalte: ‘PEBENE1‘),
- ggf. Komponentenunterart (z. B. Wasser führende Systeme), (Spalte: ‘PEBENE2‘),
- Kernkraftwerk, welches die erwähnte Komponentengruppen enthält, (Spalte: ‘KKW‘),
- Datum der Inbetriebnahme der Komponenten, sofern sich dieses von der des Kraftwerks unterscheidet, (Spalte: ‘INBETRIEBNAHME‘),
- Datum der Außerbetriebnahme der Komponenten, sofern sich dieses von der des Kraftwerks unterscheidet, (Spalte: ‘BETRIEBSENDE‘),
- Anzahl der Komponentengruppen der genannten Komponentenart im genannten Kernkraftwerk, (Spalte: ‘ANZAHL‘),
- Kommentarfeld in dem bei genauerer Erfassung die einzelnen Komponentengruppen z. B. über die KKS-Bezeichnungen (*K*ernkraftwerk-*K*ennzeichen*s*ystem) genauer beschrieben werden können, momentan unbenutzt, (Spalte: ‘ID‘).

3.2.2 Berechnung der Beobachtungszeit

Als Beispiel soll hier die Beobachtungszeit der Notstromdiesel für die Ausfallart „startet nicht“ berechnet werden, wobei nur Betriebserfahrungen ab dem 01.01.1990 Berücksichtigung erfahren sollen.

Zur Berechnung der passenden Beobachtungszeit einer Beispielkomponentenart werden zunächst in beiden Listen die Einträge ausgewählt, deren Komponentenart, sofern vorhanden Komponentenunterart und Ausfallart mit dem ausgewählten Beispiel übereinstimmt. Sofern unterschiedliche Quellen existieren, muss auch eine zu verwendende Quelle ausgewählt werden. Das POOL-Programm enthält GVA-Phänomene aus drei verschiedenen Quellen: die im Rahmen von /GRS 90/ ausgewertete Betriebserfahrung aus dem Kernkraftwerk Biblis Block B (Abkürzung BIB), die aus meldepflichtigen

Ereignissen gewonnene Betriebserfahrung (Abkürzung BEV) und die aus dem Incident Reporting System der IAEA entnommenen internationalen GVA-Ereignisse. Für letztere ist eine genauere Berechnung der Beobachtungszeiten nicht möglich da die notwendigen detaillierten Informationen über den Aufbau der Anlagen sowie den Zeitpunkt und den Umfang eventueller Nachrüstungen nicht zur Verfügung stehen. Sie kann aber, wenn gewünscht, als komplette Quelle berücksichtigt werden für die eine eigene Ausfallwahrscheinlichkeit berechnet wird. Die Quelle BIB ist jetzt bis auf wenige Ausnahmen in die Quelle BEV integriert, diese Ausnahmen können ebenfalls nicht genauer zeitlich aufgeteilt werden. Die aus den einzelnen Quellen in PEAK berechneten Verteilungen der Ausfallwahrscheinlichkeiten werden am Ende gemittelt um eine Verteilung zu erhalten, die für die Weiterverarbeitung im Fehlerbaumprogramm benutzt werden kann.

Tab. 3-5 zeigt die Quellentabelle am Beispiel der Komponentenart Notstromdiesel und der Ausfallart ‘startet nicht‘.

Tab. 3-5: Quellentabelle für Notstromdiesel; ‘startet nicht‘

PEBENE1	PEBENE2	BEW_AKEY[9]	QUELLE	AUSWANFANG	AUSWENDE	KKW	GEWICHTUNG
Notstromdiesel		A4	BEV	01.06.1976	31.12.2002	GKN-1	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	15.04.1989	31.12.2002	GKN-2	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.10.1985	31.12.2002	KBR	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.06.1976	31.12.2002	KKB	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	15.07.1988	31.12.2002	KKE	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.12.1981	31.12.2002	KKG	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.12.1978	31.12.2002	KKI-1	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	09.04.1988	31.12.2002	KKI-2	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.09.1983	31.12.2002	KKK	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.09.1978	31.12.2002	KKP-1	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.01.1985	31.12.2002	KKP-2	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	19.05.1972	31.03.1987	KKS	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.01.1994	31.12.1998	KKS	0,997

[9] A4 ist in der Datenbank der Code für die Ausfallart „startet nicht“

PEBENE1	PEBENE2	BEW_AKEY[9]	QUELLE	AUSWANFANG	AUSWENDE	KKW	GEWICHTUNG
Notstromdiesel		A4	BEV	03.08.1977	31.12.2002	KKU	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.02.1986	31.03.1987	KMK	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.01.1994	31.12.1998	KMK	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.03.1984	31.12.2002	KRB-B	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.11.1984	31.12.2002	KRB-C	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	26.02.1975	31.12.2002	KWB-A	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	31.01.1977	31.12.2002	KWB-B	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.09.1984	31.12.2002	KWG	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	31.03.1969	31.03.1987	KWO	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.01.1994	31.12.1998	KWO	0,997
Notstromdiesel		A4	BEV	01.09.1983	31.03.1987	THTR	0,997

Man sieht, dass für die Anlagen KWO, KKS und KMK zwei Auswertungen durchgeführt wurden, deren Zeiten sich nicht überlappen.

Da für Notstromdiesel keine weitere Unterteilung der Population existiert, ist das Feld ‘PEBENE2‘ leer. Andere Komponentenarten wurden in Unterpopulationen zerlegt, für diese Unterpopulationen müssen separate Beobachtungszeiten berechnet werden. Die Daten in Quellen- und Komponentengruppenliste werden dann über die Einträge im Feld ‘PEBENE2‘ der entsprechenden Unterpopulation zugeordnet. (vgl. Tab. 3-4)

Die zugehörige Komponentengruppenliste (siehe Abschnitt 3.2.1) ist in Tab. 3-6 aufgeführt. Gesonderte Einträge für die In- und Außerbetriebnahme von Komponentengruppen (Spalten ‘INBETRIEBNAHME‘ und ‘BETRIEBSENDE‘) sind nur dann notwendig, wenn sich diese von der Laufzeit der Anlage unterscheiden. Die Laufzeit der Anlage selbst ist in dem Auswertezeitraum in der Quellentabelle (Spalten ‘AUSWANFANG‘ und ‘AUSWENDE‘) berücksichtigt, da für abgeschaltete Anlagen selbstverständlich keine Auswertungen der Betriebserfahrung durchgeführt werden. Für alle bis 1987 in Betrieb genommenen Anlagen lagen im Rahmen von /GRS 90/ erfasste Daten über die Abnahme der Diesel vor, so dass für diese Anlagen im Gegensatz zu den später in Betrieb genommenen Anlagen vom Type DWR-Konvoi exaktere Daten als die Übergabe der Anlagen an die Betreiber verwendet werden können.

Tab. 3-6: Komponentengruppenliste für Notstromdiesel

PEBENE1	PEBENE2	KKW	INBETRIEBNAHME	BETRIEBSENDE	ANZAHL
Notstromdiesel		GKN-1	01.06.1976		1
Notstromdiesel		GKN-2			2
Notstromdiesel		KBR	01.10.1985		2
Notstromdiesel		KKB	01.08.1985		1
Notstromdiesel		KKB	01.06.1976		1
Notstromdiesel		KKE			2
Notstromdiesel		KKG	01.12.1981		2
Notstromdiesel		KKI-1	01.12.1978		1
Notstromdiesel		KKI-2			2

PEBENE1	PEBENE2	KKW	INBETRIEBNAHME	BETRIEBSENDE	ANZAHL
Notstromdiesel		KKK	01.09.1983		1
Notstromdiesel		KKP-1	01.03.1979		1
Notstromdiesel		KKP-1	01.09.1978		1
Notstromdiesel		KKP-2	13.12.1984		2
Notstromdiesel		KKS	19.05.1972		1
Notstromdiesel		KKU	03.08.1977		1
Notstromdiesel		KKU	01.07.1985		1
Notstromdiesel		KMK	01.02.1986		2
Notstromdiesel		KRB-B	01.03.1984		1
Notstromdiesel		KRB-C	01.11.1984		1
Notstromdiesel		KWB-A	26.02.1975		1
Notstromdiesel		KWB-B	31.01.1977		1
Notstromdiesel		KWG	01.09.1984		2
Notstromdiesel		KWO	01.10.1984		1
Notstromdiesel		KWO	31.03.1969		1
Notstromdiesel		KWO	01.08.1979		1
Notstromdiesel		THTR	01.09.1983		1

Hier sieht man, dass die Anlagen KWO, KKP-1, KKB und KKU an unterschiedlichen Zeitpunkten Nachrüstungen vornahmen und zusätzliche Diesel, die auf Grund unterschiedlicher konstruktiver Eigenheiten gegenüber den vorhandenen Dieseln als eigenständige Komponentengruppe zu sehen sind, in Betrieb nahmen.

Der Beitrag einer Komponentengruppe zur Beobachtungszeit besteht aus der Differenz zwischen Anfangs- und Enddatum der Beobachtung. Als Anfangsdatum t_A kommen drei unterschiedliche Daten in Frage:

- Auswertungsbeginn $t_{A,AW}$ (Spalte ‘AUSWANFANG‘ in Quellenliste),
- Inbetriebnahme der Komponentengruppe $t_{A,KG}$ (Spalte ‘INBETRIEBNAHME‘ in Komponentengruppenliste),

- Gewählter Zeitpunkt, ab dem Betriebserfahrung berücksichtigt werden soll $t_{A,G}$ (Eingabe im POOL-Programm).

Damit die Komponentengruppe zur Beobachtungszeit beitragen kann, müssen alle drei Daten verstrichen sein, d. h. die Komponentengruppe muss in Betrieb sein ($t_{A,KG}$), es müssen eventuelle Ausfälle in diesem Zeitraum erfasst und ingenieurstechnisch bewertet worden sein ($t_{A,AW}$) und Betriebserfahrung aus diesem Zeitraum soll im Rahmen der GVA benutzt werden ($t_{A,G}$). Folglich ist das Späteste dieser drei Daten gleich dem Anfangsdatum der Beobachtung:

$$t_A = Max\left(t_{A,AW}, t_{A,KG}, t_{A,G}\right)$$

Analog kann man auch auf das Enddatum der Beobachtung schließen, wobei die drei relevanten Daten dann

- Auswertungsende $t_{E,AW}$ (Spalte ‘AUSWENDE‘ in Quellenliste),
- Außerbetriebnahme der Komponentengruppe $t_{E,KG}$ (Spalte ‘BETRIEBSENDE‘ in Komponentengruppenliste),
- Gewählter Zeitpunkt, bis zu dem Betriebserfahrung berücksichtigt werden soll $t_{E,G}$ (Eingabe im POOL-Programm)

sind. Für das Enddatum der Beobachtung t_E gilt dann:

$$t_E = Min\left(t_{E,AW}, t_{E,KG}, t_{E,G}\right)$$

Der Beitrag einer einzelnen Komponentengruppe zur Beobachtungszeit ist dann:

$$T_{KG} = \sum_{AW} (t_E - t_A)\, \Theta(t_E - t_A)\, w_{AW}$$

Hierbei wurde die Differenz aus Anfangs- und Enddatum mit dem Gewichtungsfaktor w_{AW} der Auswertungsperiode AW (siehe Abschnitt 3.2.3) multipliziert und über alle vorhandenen Auswertungsperioden summiert. Die Heaviside-Funktion Θ stellt sicher, dass nur Terme einen Beitrag liefern, bei denen der Beginn der Beobachtung tatsächlich vor dem Ende liegt.

Um die Beobachtungszeit für alle Komponentengruppen zu berechnen, muss auch noch über die Komponentengruppen summiert werden. Um in dem POOL-Programm die Komponentengruppentabelle schlank zu halten, wurden Komponentengruppen mit identischen Betriebsdaten in einem Eintrag zusammengefasst. Die Größe ‘Anzahl der Komponentengruppen‘ gibt dann an, wie viele Komponentengruppen mit den im Eintrag gelisteten Betriebsdaten im jeweiligen Kernkraftwerk vorhanden sind. Man summiert also über die Einträge KG und erhält einen zusätzlichen multiplikativen Faktor n_{KG}, der die Anzahl der Komponentengruppen für den gewählten Eintrag beschreibt.

$$T_{KKW} = \sum_{KG} T_{KG}\, n_{KG}$$

Um die Gesamtbeobachtungszeit T zu erhalten, muss über alle Kernkraftwerke summiert werden:

$$T = \sum_{KKW} T_{KKW}$$

3.2.3 Definition des Gewichtungsfaktors

Der Gewichtungsfaktor w_{AW} trägt der Tatsache Rechnung, dass nicht alle Ausfallarten zu jedem Betriebszeitpunkt auftreten können. Im vorliegenden Fall kann die Ausfallart „startet nicht“ beispielsweise nicht auftreten, wenn der Diesel schon in Betrieb ist. Die durchschnittliche jährliche Laufzeit des Diesels im Rahmen von Anforderungen und wiederkehrenden Prüfungen wurde auf 0,003 Jahre abgeschätzt. Die Standzeit beträgt dann (1 - 0,003) = 0,997 Jahre, folglich zählt ein Kalenderjahr nur 0,997 Jahre Beobachtungszeit für die Ausfallart „startet nicht“. Analog wurden auch für andere Ausfallarten, die nur unter bestimmten Betriebsbedingungen auftreten können, Schätzungen vorgenommen. Der Gewichtungsfaktor kann dabei nicht höher als 1 werden. Der Fall w_{AW} = 1 bedeutet, dass der Ausfall immer auftreten kann.

3.2.4 Eingabe der Grenzen und Berechnung im Programm POOL

Im Programm POOL können die Grenzen, innerhalb derer die Betriebserfahrung berücksichtigt werden soll, beim Erstellen oder Bearbeiten eines Datensatzes im Unterpunkt Quellen eingegeben werden. Das Eingabefeld ‘Anfang‘ zeigt den gewählten

Zeitpunkt, ab dem Betriebserfahrung berücksichtigt werden soll ($t_{A,G}$ in den obigen Formeln). Das Eingabefeld ‘Ende‘ zeigt den gewählten Zeitpunkt, bis zu dem Betriebserfahrung berücksichtigt werden soll ($t_{E,G}$ in den obigen Formeln). Durch Auswahl des Beobachtungszeit-Knopfes in der Oberfläche des Programms POOL wird die oben dargestellte Berechnung durchgeführt. Als Ausgabe erhält man in dem Feld ‘Beobz‘ unter dem Beobachtungszeit-Knopf die berechneten Beobachtungszeiten für alle vorhandenen Quellen. Für das hier gewählte Beispiel beträgt sie 380 Jahre für die einzige vorhandene Quelle BEV. Darunter wird eine Liste aufgestellt, welcher Auswertungszeitraum in welchem Kernkraftwerk wie viel zur Beobachtungszeit beiträgt. Die weiter unten angezeigten GVA-Ereignisse werden gleichzeitig auf die Ereignisse reduziert, die in den zu berücksichtigenden Zeitraum fallen. Mit diesen Daten kann dann im Programm PEAK weitergerechnet werden.

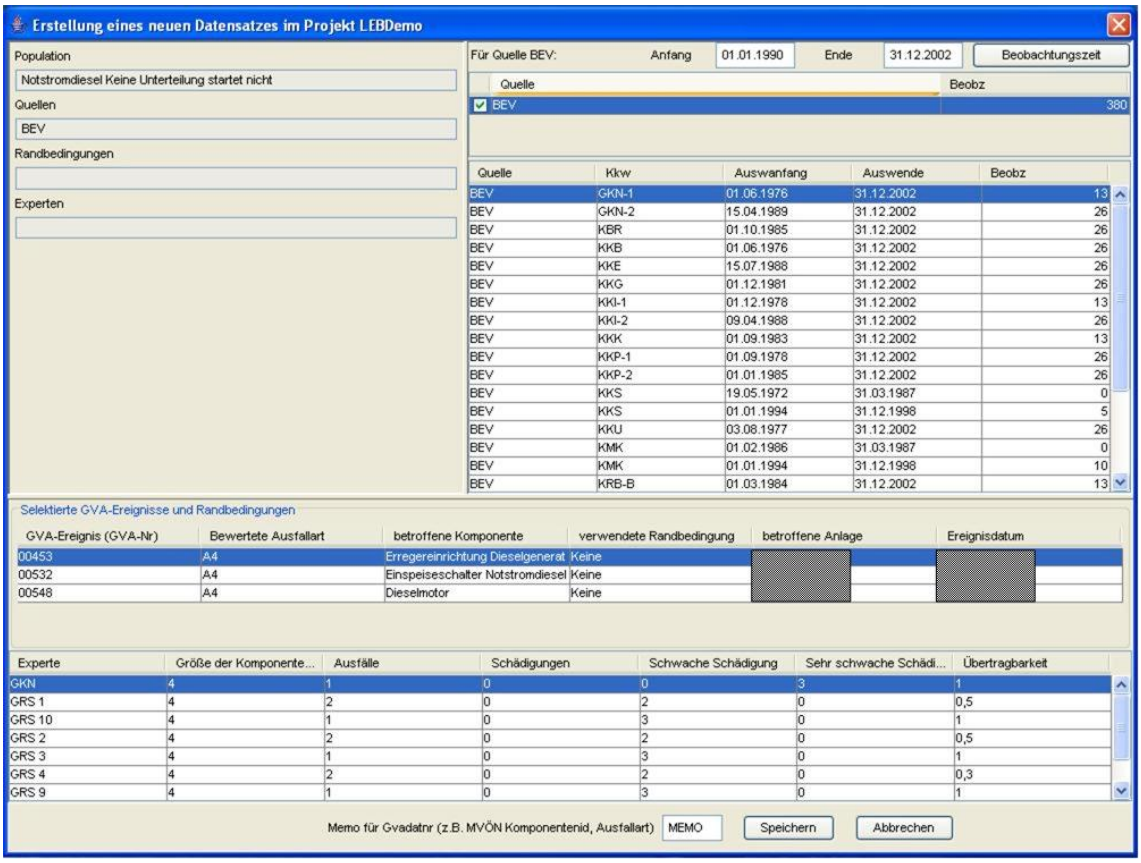

Abb. 3-3: Berechnung der Beobachtungszeit mit dem Programm POOL: Notstromdiesel startet nicht

3.3 Erstellung von PEAK-Datensätzen mit dem Programm POOL

Zum Erstellen neuer PEAK-Datensätze wird zunächst ein neues Projekt im Programm POOL unter dem Reiter ‘Projekte‘ eröffnet. Datensätze aus unterschiedlichen Projekten werden getrennt gespeichert, später werden die Inhalte eines Projekts zusammen in das Programm PEAK exportiert. Das Eröffnen eines neuen Projekts geschieht über die gleichnamige Schaltfläche, hierbei ist die Eingabe eines Projektnamens und der zugehörigen Anlage, für die GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden sollen, notwendig. Mit der Schaltfläche ‘Projekt kopieren‘ lassen sich die Daten eines bereits vorhandenen Projektes in ein anderes kopieren. Dies kann z. B. dann sinnvoll sein, wenn Datensätze aus einer vorhandenen PSA ganz oder teilweise für eine andere PSA verwendet werden können und nur einzelne Anpassungen an die neue Zielanlage notwendig sind. „Projekt löschen“ entfernt das angewählte Projekt.

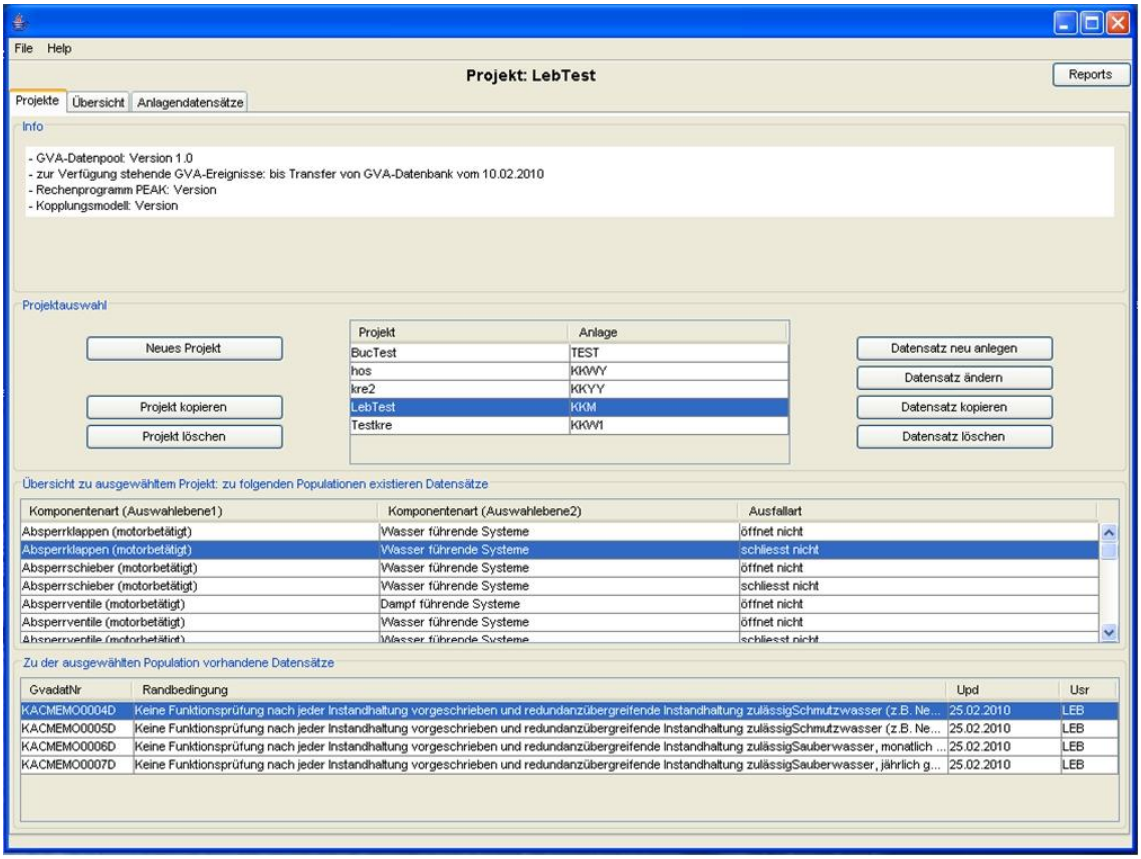

Abb. 3-4: Der Reiter ‘Projekte‘ im Programm POOL

Zunächst ist es notwendig Datensätze innerhalb des Projekts anzulegen. Dies geschieht über die Schaltfläche ‘Datensatz neu anlegen‘. Dabei sind vier Auswahlschritte durchzuführen, die in Abschnitt 3.3.1 genauer beschrieben werden. Bereits vorhande-

ne Parameter-Datensätze können mit den entsprechenden Schaltflächen geändert, kopiert oder gelöscht werden. Um den gewünschten zu bearbeitenden Datensatz auszuwählen muss zuerst in der oberen Liste die zum Datensatz zugehörige Population (Komponentenart und Ausfallart) angewählt werden, im unteren Fenster erscheinen alle zu dieser Population vorhandenen Datensätze. Die angezeigten Datensätze unterscheiden sich ggf. in den Randbedingungen, den verwendeten Quellen und den Experten, deren ingenieurstechnische Einschätzung zur Berechnung des Schädigungsvektors herangezogen wurde. Wird einer dieser Datensätze ausgewählt, lassen sich die selektierten Parameter für Quellen, Randbedingungen und bewertende Experten ändern.

3.3.1 Erstellung eines Datensatzes

Der erste Auswahlschritt ist die Auswahl der Population zu der die Komponenten der Zielanlage, für die Ausfallwahrscheinlichkeiten berechnet werden sollen, gehören. Diese Auswahl ist nur bei Anlage eines neuen Datensatzes möglich. Die Auswahl erfolgt über ein mehrgliedriges Baumdiagramm (siehe Abb. 3-5). Dort wird zunächst in mehreren Stufen die Komponentenart definiert und dann die Ausfallart ausgewählt. In der unteren Hälfte des Bildschirms wird angezeigt welche GVA-Ereignisse aus der Oracle-Datenbank der momentanen Auswahl entsprechen.

Die GVA-Ereignisse sind nach ihrer fortlaufenden Nummer sortiert. Außerdem werden die verschlüsselte Ausfallart, die betroffene Komponente, die verwendeten Randbedingungen, die betroffene Anlage und das Ereignisdatum angezeigt. GVA-Ereignisse können mehrfach gelistet sein, wenn sie z. B. für verschiedene Randbedingungen von den Experten unterschiedlich bewertet wurden. Die für das gerade markierte Ereignis abgegebenen Expertenbewertungen sind weiter unten einsehbar. Aufgelistet wird dabei verschlüsselt der bewertende Experte, die Größe der bewerteten Komponentengruppe, die Anzahl der Ausfälle, der beschädigten Komponenten, der schwach beschädigten Komponenten und der sehr schwach beschädigten Komponenten, sowie der Übertragbarkeitsfaktor. Die Auflistung der GVA-Ereignisse wird während der weiteren Auswahlschritte automatisch mit aktualisiert.

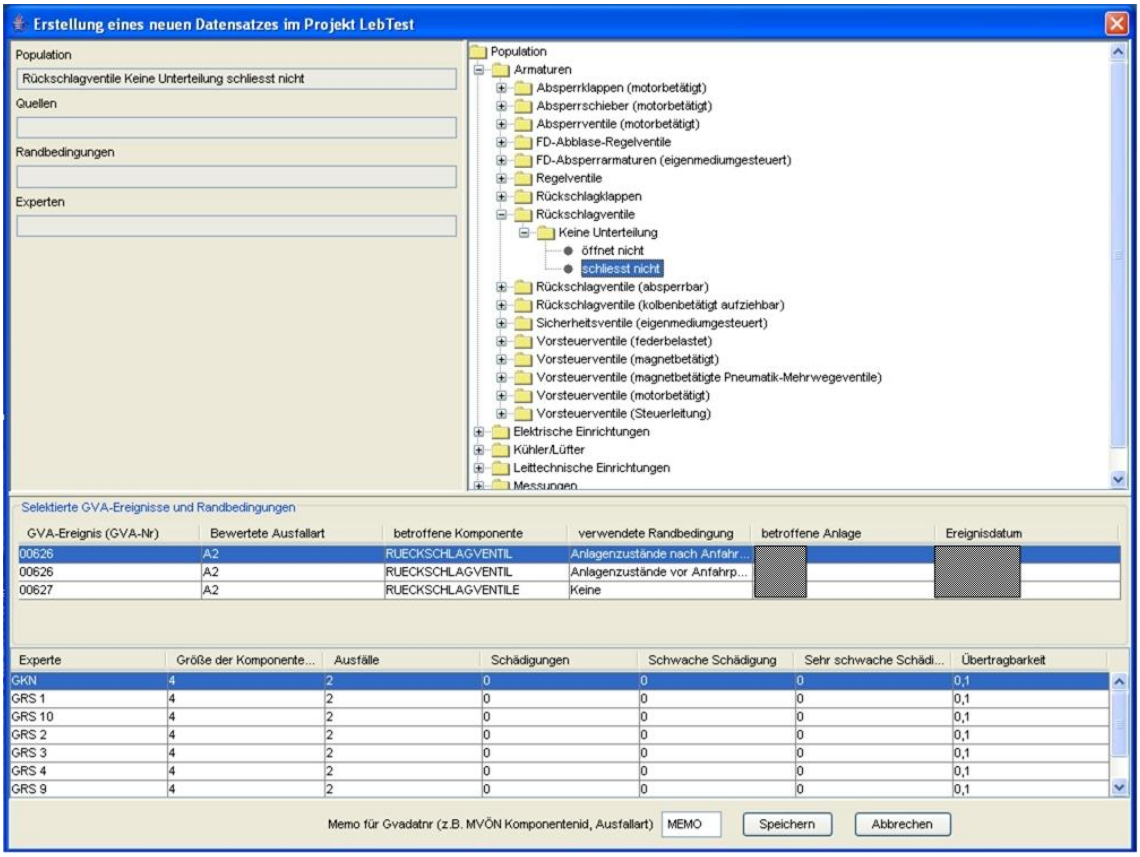

Abb. 3-5: Erstellung eines Datensatzes: Definition der Population

Zu einem späteren Zeitpunkt des Auswahlvorgangs kann zu diesem Auswahlschritt zurückgekehrt werden, indem man auf die graue Fläche links klickt, in der die ausgewählte Population angezeigt wird. Diese Möglichkeit des Zurückspringens existiert analog für die anderen Auswahlschritte.

Der zweite Auswahlschritt betrifft die zur Berechnung zur Verfügung stehenden Quellen. Hier ist bei jeder Quelle, die in die Berechnung einzubeziehen ist, ein Haken zu setzen (siehe Abb. 3-6). Neben der Quelle ist die Beobachtungszeit, die die Quelle in der zugehörigen Rechnung beiträgt vermerkt. Für jede Quelle wird eine eigene Ausfallwahrscheinlichkeit berechnet und die verschiedenen Ergebnisse am Ende gemittelt.

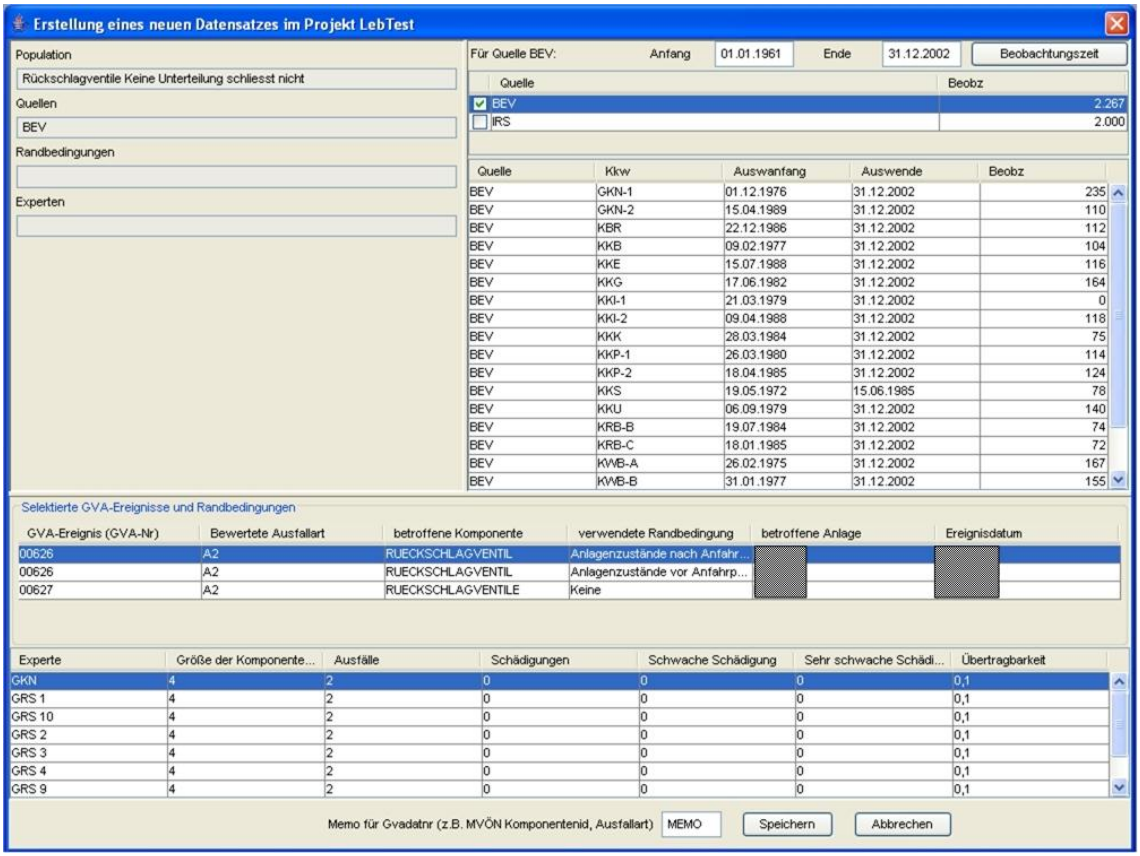

Abb. 3-6: Erstellung eines Datensatzes: Auswahl der Quellen

Insgesamt sind Daten aus drei verschiedenen Quellen hinterlegt: Der im Rahmen der Deutsche Risikostudie für Kernkraftwerke ausgewerteten Betriebserfahrung aus dem Kernkraftwerk Biblis, Block B (Abkürzung BIB), die aus meldepflichtigen Ereignissen gewonnene Betriebserfahrung (Abkürzung BEV) und die aus dem Incident Reporting System der IAEA im Rahmen der deutschen Risikostudie entnommenen und ausgewerteten internationalen GVA-Ereignisse (Abkürzung IRS).

Für die Quelle BEV kann die zu verwendende Auswertungszeit durch die Eingabefelder ‘Anfang‘ und ‘Ende‘ noch genauer eingeschränkt oder modifiziert werden. Die tabellarische Auflistung der Beobachtungszeiten unter der Liste der Quellen bezieht sich nur auf die Quelle BEV. Genauere Einzelheiten zur Berechnung der Beobachtungszeiten sind in Kapitel 3.2 beschrieben.

Im nächsten Auswahlschritt sind für jedes GVA-Ereignis, sofern vorhanden, die Randbedingungen auszuwählen (siehe Abb. 3-7). Verschiedene Randbedingungen führen zu verschiedenen Expertenschätzungen für die Schädigungsvektoren oder Übertragbarkeitsfaktoren. Ereignisse mit identischen Randbedingungen sind zu einer Abfrage

der Randbedingungen zusammengefasst. Dennoch sind nicht beliebige Randbedingungen kombinierbar, ohne Widersprüche zu erzeugen. So macht es beispielsweise keinen Sinn, für Kreiselpumpen einen trockenen Aufstellort zu fordern und gleichzeitig anzugeben, dass es sich um Tauchpumpen handeln soll, obwohl dies formal nicht identische Randbedingungen sind. Das Programm POOL besitzt keine Funktion, um derartige widersprüchliche Randbedingungen zu detektieren. Dies ist vorerst dem ingenieurstechnischen Sachverstand des Benutzers überlassen.

Bei neu angelegten Datensätzen werden zunächst die default-Randbedingungen automatisch ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1.2.1).

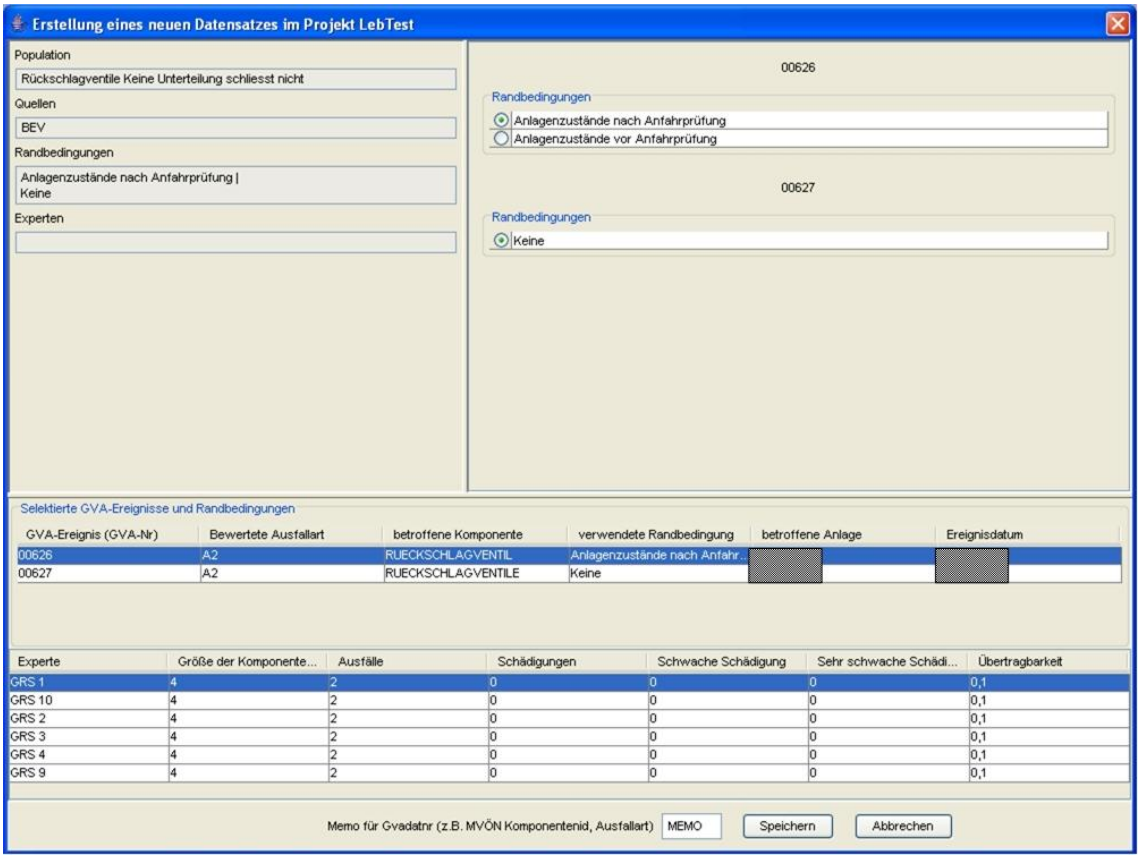

Abb. 3-7: Erstellung eines Datensatzes, Auswahl der Randbedingungen

Im letzten Auswahlschritt wählt der Benutzer die Experten aus, deren Bewertungen in die Auswertung mit einfließen sollen (siehe Abb. 3-8). Jedes Ereignis wurde von mehreren Experten der GRS bewertet, die mit dem Kürzel GRS und einer Nummer abgekürzt wurden, jedoch nicht immer innerhalb einer Population von den gleichen Experten. Zusätzlich wurden die Einschätzungen einiger Experten aus den Anlagen, die als Referenzanlagen für die zuletzt von der GRS durchgeführten PSA zur Verfügung stan-

den, in die POOL-Datenbank aufgenommen, diese sind durch das Anlagenkürzel und eine Ziffer abgekürzt.

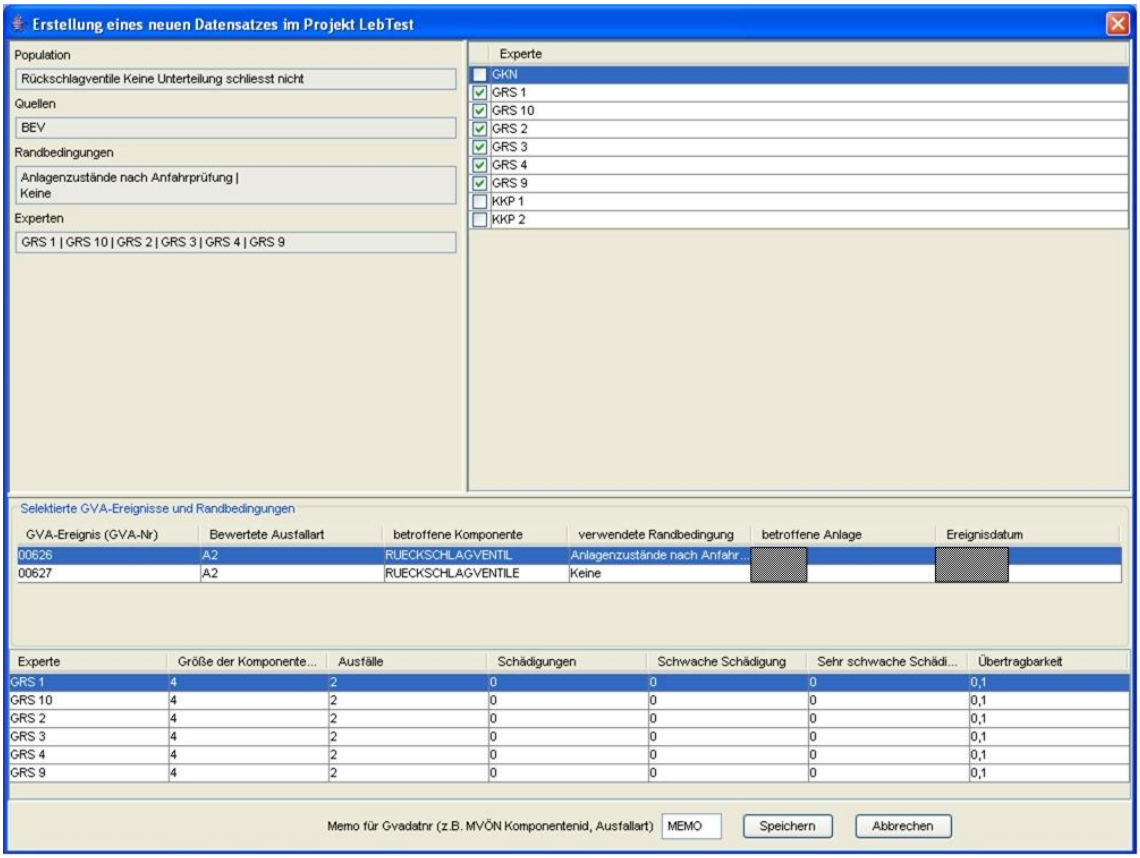

Abb. 3-8: Erstellung eines Datensatzes; Auswahl der Experten

In der untersten Zeile können noch vier Zeichen zur genaueren Bezeichnung des zu erstellenden Datensatzes eingegeben werden, diese vier Zeichen werden in die GVA-Datensatznummer, einer mehrstelligen Zeichenkombination, die jeden Parameter-Datensatz eindeutig kennzeichnet, eingefügt. Mit der ‘Speichern‘-Schaltfläche wird die Erstellung des Parameter-Datensatzes abgeschlossen. Mit der ‘Abbrechen‘-Schaltfläche werden alle Änderungen rückgängig gemacht.

3.3.2 Übersicht über alle erstellten Parameter-Datensätze

Unter dem Reiter „Übersicht“ findet sich eine Auflistung aller innerhalb des ausgewählten Projekts vorhandenen Parameter-Datensätze. Sämtliche Informationen, die die Parameter-Datensätze enthalten sind hier aufgelistet. Die Darstellung erfolgt über fünf untereinander angezeigte, aufeinander aufbauende Listen (vgl. Abb. 3-9).

- Die erste Liste zeigt die verschiedenen Populationen (Komponentenart und Ausfallart) für die Parameter-Datensätze existieren
- Die zweite Liste zeigt die Parameter-Datensätze an, die für die in der ersten Liste ausgewählte Population existieren. Angezeigt werden die GVA-Datensatznummer, die den Parameter-Datensatz eindeutig identifiziert, die verwendeten Randbedingungen, sowie das Datum und der Kürzel des Bearbeiters des letzten Updates dieses Datensatzes.
- Die dritte Liste zeigt die Quellen, die zu dem in der zweiten Liste ausgewählten Datensatz beitragen, sowie die Beobachtungszeit mit der die Quellen in die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten eingehen. Sofern für die Quelle BEV einschränkende Anfangs- und Endzeiten definiert wurden, werden diese ebenfalls angezeigt.
- Die vierte Liste zeigt die zu dem ausgewählten Parameter-Datensatz und der ausgewählten Quelle gehörigen GVA-Ereignisse. Gelistet werden die GVA-Ereignisnummer (eine fortlaufend von der GRS in der GVA-Datenbank vergebene Nummer zur eindeutigen Identifizierung von GVA-Ereignissen), das Ereignisdatum, die betroffene Anlage, eine Kurzbeschreibung der betroffenen Komponentengruppe, die für die Ereignisbewertung verwendeten Randbedingungen, die Größe der betroffenen Komponentengruppe, der Fehlerentdeckungszeitindex IndFez (siehe Abschnitt 3.3.3) und unter der Überschrift GVA-Ereignisbewertung die GVA-Parameternummern. Bei dieser handelt es sich um eine Zeichenkombination, die dem GVA-Ereignis mit den ausgewählten Randbedingungen einen Satz an Expertenbewertungen eindeutig zuweist. (In den Datenbanken und Tabellen ist sie in der Spalte ‘GVAPA_NR‘ zu finden.).
- Die fünfte Liste zeigt die Bewertungen (Schädigungsvektor und Übertragbarkeitsfaktor), die zu dem in der vierten Liste ausgewählten GVA-Ereignis mit den zuvor spezifizierten Randbedingungen von den ausgewählten Experten abgegeben wurden.

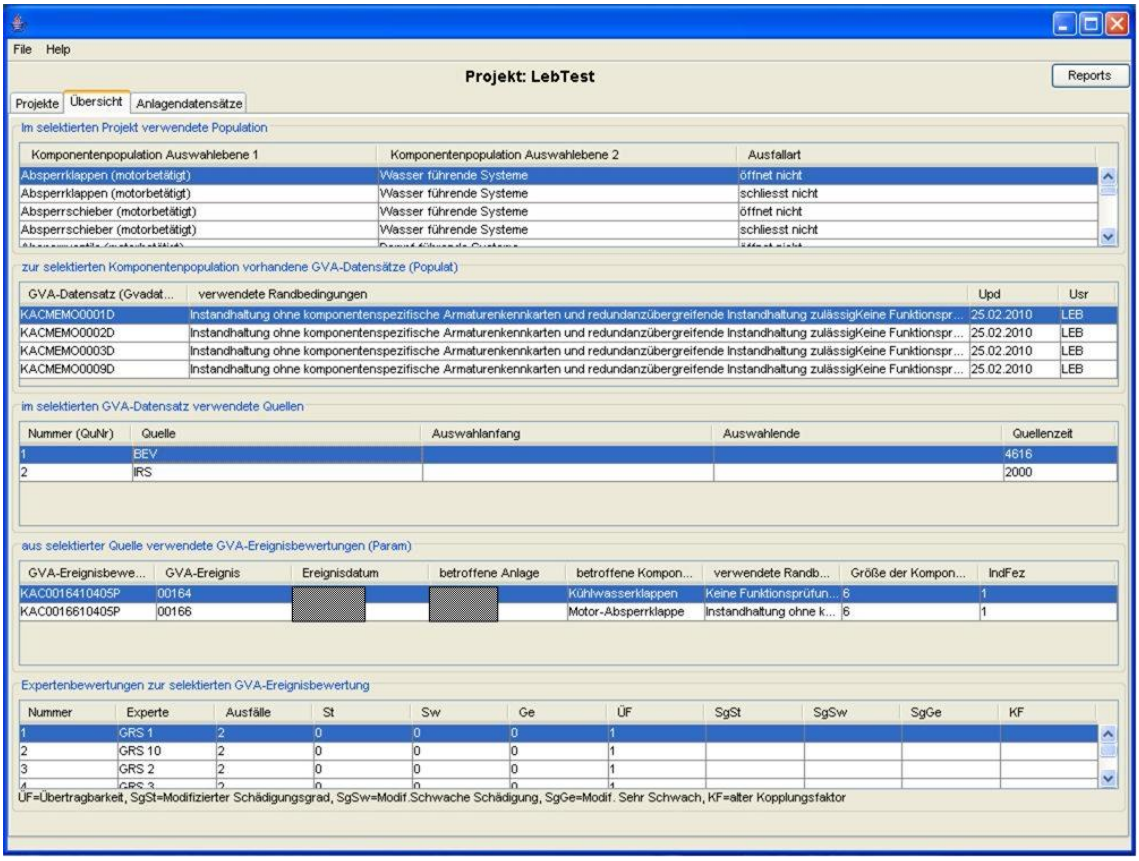

Abb. 3-9: Übersicht über die vorhandenen GVA-Datensätze

3.3.3 Eingabe von Anlagendatensätzen für die Zielanlage

Ein Anlagendatensatz enthält qualitative und quantitative Informationen über eine Komponentengruppe, für die eine GVA-Ausfallwahrscheinlichkeit berechnet werden soll. Die Anlagendatensätze werden in einer Eingabemaske unter dem gleichnamigen Reiter eingegeben. Zunächst muss dafür ein Parameter-Datensatz ausgewählt werden, zu dem der Anlagendatensatz erstellt werden soll. Dies geschieht wieder durch eine zweistufige Auswahl aus Listen. Aus der obersten Liste im Reiter ‘Anlagendatensätze‘ wählt man die passende Population (Komponentenart und Ausfallart) aus. Die darunterliegende Liste zeigt die GVA-Datensatznummern aller Parameter-Datensätze der jeweiligen Population an. In dem Textfeld rechts dieser Liste sind die für den momentanen Datensatz gültigen Randbedingungen aufgelistet. In der dritten Liste stehen die bereits zu der ausgewählten GVA-Datensatznummer vorhandenen Anlagendatensätze (Anlagendatensatznummer (Zeichenkombination zu eindeutigen Identifikation eines Anlagendatensatzes), Testintervall, Anzahl der Zielkomponenten, Bewertung, Datum

des letzten Updates, Bearbeiter des letzten Updates). Neue Anlagendatensätze werden über die Eingabemaske unten generiert.

Ein Anlagendatensatz besteht aus dem Namen der Anlage, in der sich die Komponentengruppe befindet (Feld Anlage) - diese Information wird aus der Eingabe bei Projekterstellung entnommen - einer Beschreibung der Komponentengruppe (Feld Komponentengruppe), der Anzahl der Komponenten in der Komponentengruppe (Feld Anzahl der Zielkomponenten), der Bewertung – dabei handelt es sich um ein Kommentarfeld für den Bearbeiter - und der Fehlerentdeckungszeit (Felder Fehlerentdeckungszeit (Stunden)). Jeder Anlagendatensatz wird eindeutig durch die Anlagendatensatznummer identifiziert.

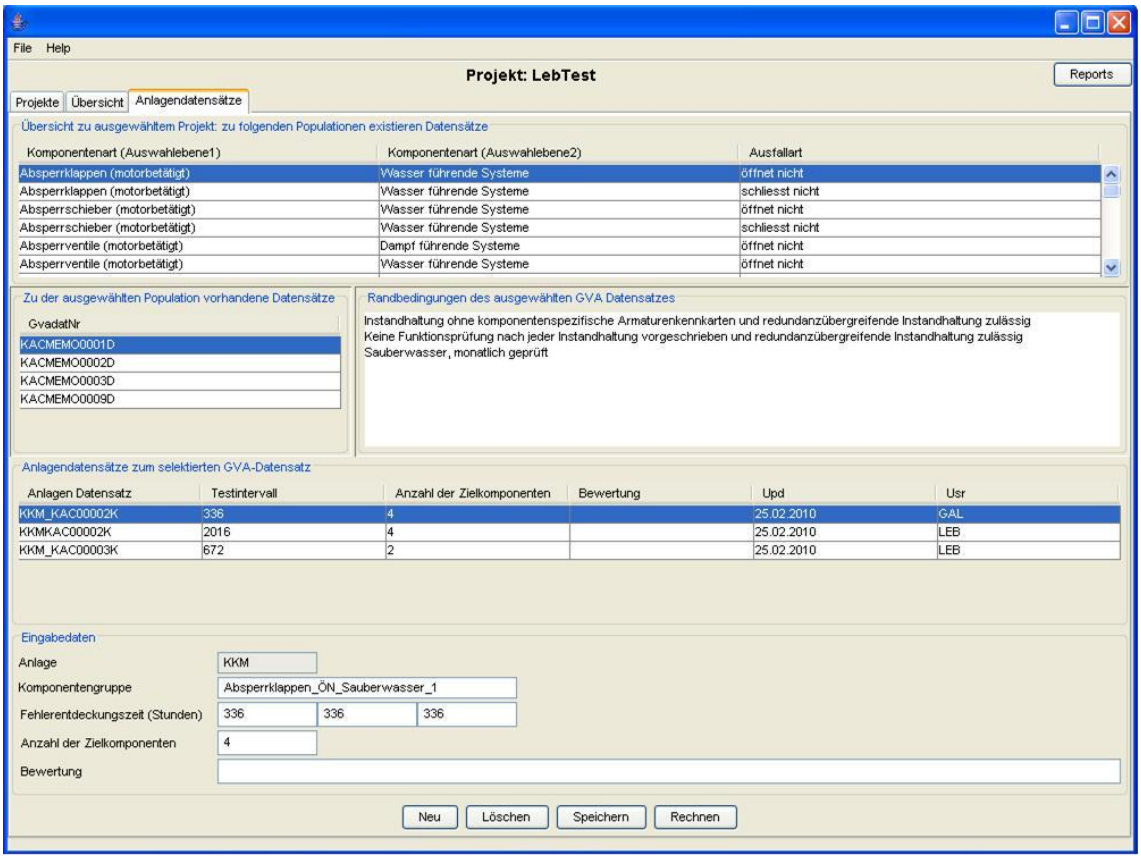

Abb. 3-10: Eingabe von Anlagendatensätzen

Mit der Schaltfläche ‘Neu‘ kann ein neuer Anlagendatensatz erstellt werden, wobei die Angaben des, sofern vorhanden, momentan ausgewählten Datensatzes als Standardwerte für den neuen Datensatz kopiert werden. Mit der Schaltfläche ‘Speichern‘ können Veränderungen an vorhandenen Datensätzen gesichert werden, die Schaltfläche ‘Löschen‘ entfernt den markierten Anlagendatensatz. Die Schaltfläche ‘Rechnen‘ startet

das Programm PEAK, in das die bis dahin generierten Datensätze importiert werden können und mit dem dann die eigentliche Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten stattfindet.

Ein spezielles Problem ergibt sich bei Komponenten, an denen qualitativ unterschiedliche Prüfungen in unterschiedlichen Abständen durchgeführt werden. Hier sind GVA derselben Ausfallart denkbar, von denen manche nur bei der qualitativ anforderungsnäheren Prüfung entdeckt werden können. In diesem Fall können für die Fehlerentdeckungszeit eines Anlagendatensatzes bis zu drei verschiedene Entdeckungszeiten angegeben werden. Über den Fehlerentdeckungszeitindex IndFez können die Experten, die für die Durchführung der GVA-Ereignisbewertung verantwortlich sind, jedem GVA eine eigene typische Entdeckungszeit zuordnen, indem sie IndFez $\in$ {1, 2, 3} wählen, um auszudrücken bei Prüfungen, in welcher Qualität der GVA detektiert werden kann. Diese IndFez entsprechen dann den drei möglichen Eingaben im Feld Fehlerentdeckungszeit (Stunden). Der numerische Wert der Entdeckungszeit hängt dann vom Prüfkonzept der Zielanlage ab.

In der Praxis war eine solche Unterscheidung bisher lediglich bei den Frischdampfabblaseregelventilen notwendig, da es hier zwei Typen von Prüfungen gibt: Einerseits das ‘trockene Öffnen‘ der FD-ARVs im Rahmen einer Wiederkehrenden Prüfung, die in der Regel zweimonatlich durchgeführt wird, andererseits das tatsächliche Abblasen von Frischdampf über die FD-ARVs im Rahmen des zumeist jährlichen Abfahrens zur Revision. Die Phänomene, die zu den GVA-Datensätzen mit den GVA-Nummern 00168, 00169, 00171, 00407, 00450 und 00467 geführt haben, sind nur bei einer Belastung der Ventile mit Frischdampf detektierbar.

3.3.4 Dokumentationsfunktion des Programms POOL

Die Betätigung der ‘Reports‘-Schaltfläche rechts oben im Programm POOL ruft ein Menu auf, von dem aus verschiedene Arten von Protokollen zu Dokumentationszwecken erstellt werden können.

In der oberen Spalte befinden sich verschiedene Schaltflächen, mit denen folgende Operationen durchgeführt werden können (von links nach rechts):

- Speichern des Reports als Textdatei,

- Ausdrucken des Reports,
- Aktualisieren, notwendig sofern am Quellmaterial nachträglich etwas geändert wurde,
- Navigation innerhalb des Reports (insgesamt vier Schaltflächen),
- Zoomen (insgesamt fünf Schaltflächen).

In der Spalte ganz rechts befinden sich verschiedene Schaltflächen, mit denen der Benutzer auswählen kann, welche Art von Report er wünscht. Zur Auswahl stehen folgende Formatierungen:

- Übersichtsreport Anlagendatensätze
  Dieser Report enthält nach der Anlagendatensatznummer alphabetisch geordnet die Anlagendatensätze des Projekts. Aus einem Anlagendatensatz werden mit PEAK die GVA-Wahrscheinlichkeiten aller Ausfallkombinationen für eine Zielkomponentengruppe berechnet. Zu jedem Anlagendatensatz werden die Fehlerentdeckungszeit, die Zielkomponentengruppengröße, die Bewertung, die zugehörige GVA-Datensatznummer, die zugehörige Komponentenpopulation und die verwendeten Randbedingungen aufgelistet.
- Übersichtsreport GVA-Datensätze
  Dieser Report zeigt, welche Anlagendatensätze mit einem GVA-Datensatz verknüpft sind. Die Anlagendatensätze eines GVA-Datensatzes unterscheiden sich in den Angaben zur Größe der Zielkomponentengruppe und/oder zur Fehlerentdeckungszeit bei ansonsten gleichen Parametern zu den zu einem GVA-Datensatz zusammengefassten Ereignisbewertungen. In diesem Report wird primär nach der Komponentenpopulation (Komponentenart und Ausfallart) und sekundär nach der GVA-Datensatznummer alphabetisch sortiert. Neben diesen beiden Informationen werden die zu der jeweiligen GVA-Datensatznummer gehörigen Randbedingungen und die Anlagendatensätze, charakterisiert durch die Anlagendatensatznummer, die Anzahl der Zielkomponenten und die Fehlerentdeckungszeit, aufgelistet.
- Detailreport Alle Datensätze im Projekt
  Dieser Report umfasst alle aus der Pool-Datenbank für die Berechnung relevanten Daten. Sortiert wurde wie bei dem Übersichtsreport GVA-Datensätze nach der Komponentenpopulation (Komponentenart und Ausfallart) und der GVA-Datensatznummer. Für jede GVA-Datensatznummer werden folgende Daten zu-

sammengestellt: Aufgelistet werden die zugehörigen Randbedingungen, die vorhandenen Quellen, gegebenenfalls die zusätzlichen Beschränkungen im Auswertungszeitraum und die Beobachtungszeit mit der die jeweiligen Quellen in die Rechnung eingehen. Für die GVA-Ereignisse, die für diese GVA-Datensatznummer relevant sind werden kurze Tabellen erstellt in denen die GVA-Ereignisnummer, das Ereignisdatum, die betroffene Anlage, die Größe der betroffenen Komponentengruppe, eine Kurzbeschreibung der betroffenen Komponentengruppe, die Experten und die von ihnen eingeschätzten Schädigungsvektoren und Übertragbarkeitsfaktoren eingetragen sind. Zusätzlich werden die zu der GVA-Datensatznummer gehörigen Anlagendatensatznummern mit der Anzahl der Zielkomponenten und der Fehlerentdeckungszeit ausgegeben.

- Detailreport Selektierter GVA Datensatz
  Dieser Report entspricht im Aufbau dem Detailreport für alle Datensätze, enthält aber nur den momentan im POOL-Programm angewählten Datensatz.

- Detailreport Auswahlreport
  Dieser Report listet die Populationen, für die in einem Projekt GVA-Datensätze erstellt wurden, nach der GVA-Datensatznummer alphabetisch geordnet auf. Aufgelistet werden die Populationen selbst (Komponentenart und Ausfallart), die beitragenden Quellen, die zugehörigen Randbedingungen und die bewertenden Experten, nicht jedoch die Expertenbewertungen oder die Beobachtungszeiten der Quellen.

- Randbedingungsreport Projekt
  Dieser Report listet die zu den der Anlagendatensätze gehörigen Randbedingungen alphabetisch nach der Anlagendatensatznummer sortiert auf. Zusätzlich werden auch die Fehlerentdeckungszeit, die Anzahl der Zielkomponenten und die Zielanlage angegeben.

- Randbedingungsreport Selektierte Population
  Dieser Report listet dieselben Daten wie der Randbedingungsreport Projekt auf, listet aber statt allen im Projekt enthaltenen Anlagendatensätzen nur die zu der momentan ausgewählten Population zugehörigen Anlagendatensätze auf.

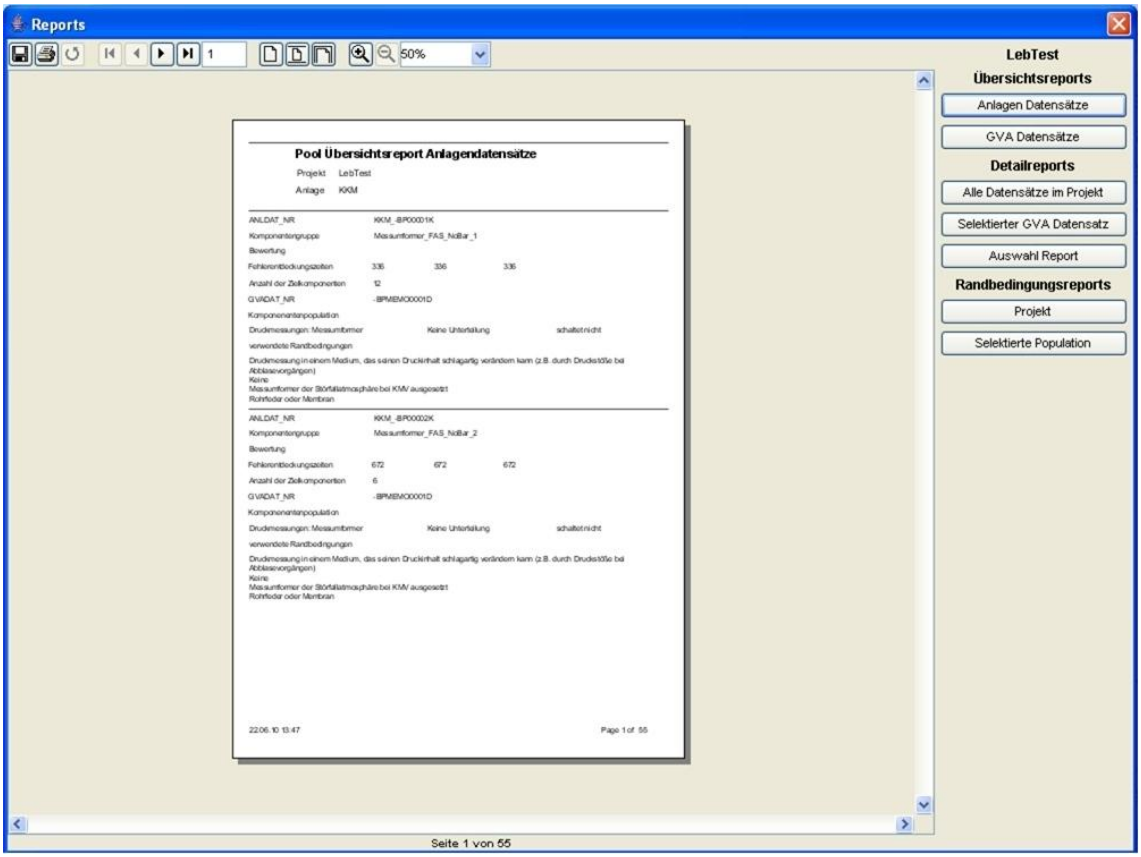

Abb. 3-11: Menu zum Erstellen einer Dokumentationsdatei

3.4 Berechnung von GVA Wahrscheinlichkeiten mit PEAK

3.4.1 Einlesen eines Parametersatzes aus POOL

Über das Feld ‘Rechnen‘ im Reiter ‘Anlagendatensätze‘ wird PEAK gestartet. Beim Aufruf über POOL öffnet PEAK automatisch ein Fenster, um eine vorhandene MS ACCESS®-Datenbank zu öffnen oder eine Neue zu erstellen. Die in POOL erstellten Datensätze werden automatisch importiert. Dabei werden eventuell in der MS ACCESS®-Datenbank bereits vorhandene Daten nur überschrieben, wenn es sich um Anlagendatensätze mit gleicher ID handelt. Sollen die vorhandenen Daten gelöscht werden, kann der Import der Daten über das Menu ‘Import/Export‘ → ‘Aus Pool (Oracle) importieren‘ (alternativ: Hotkey F2) erfolgen. In dem Fenster ‘Datenimport aus Oracle‘ ist das gewünschte Projekt zu markieren, unter ‘Ziel-Datenbank vorher leeren‘ ein Haken zu setzen und der Import über das Feld ‘Start‘ zu beginnen. Die Anlagendatensätze, für die Ausfallwahrscheinlichkeiten berechnet werden sollen, sind dann per

Mausklick auf die orangen Kästchen zu markieren. Die Berechnung selbst wird durch die Schaltfläche ‘Berechnen‘ bzw. ‘Neu berechnen‘ rechts oben gestartet.

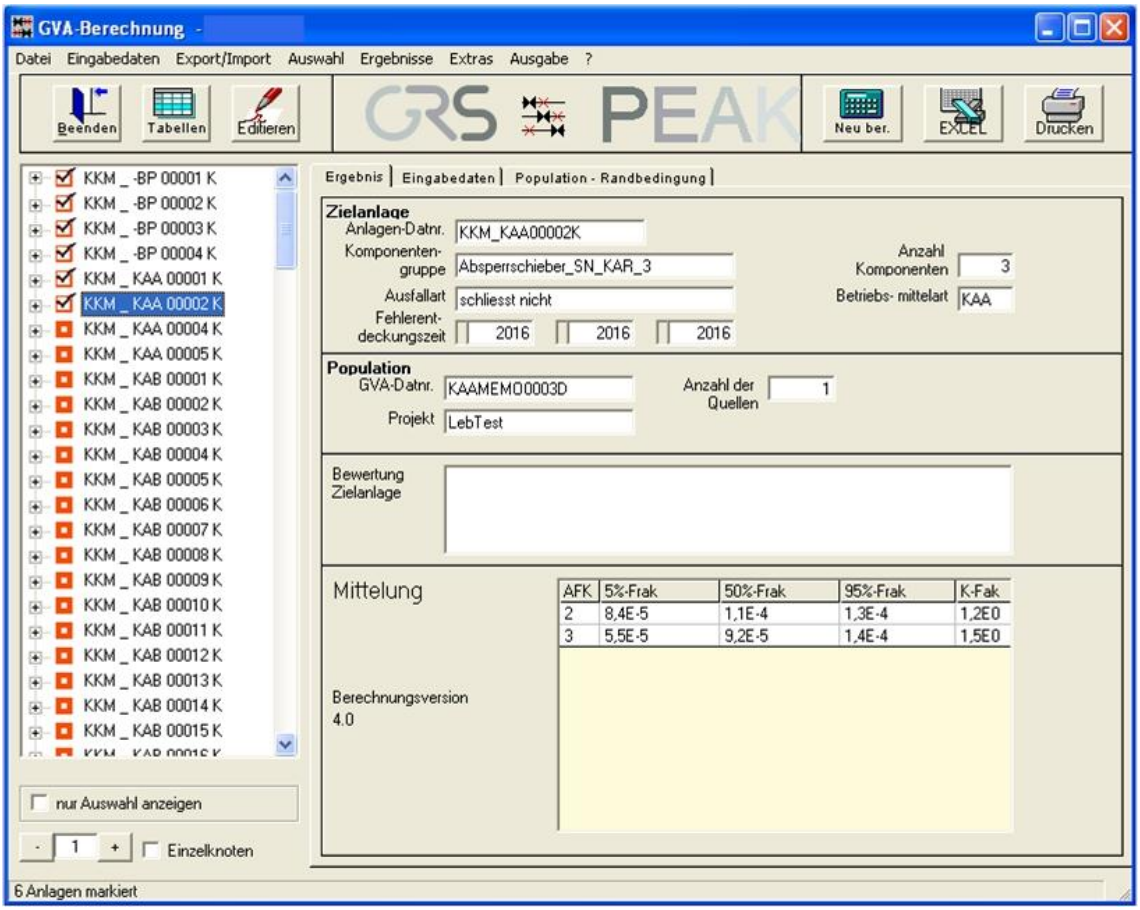

Abb. 3-12: Einige berechnete GVA-Wahrscheinlichkeiten in ihrer Darstellung im Programm PEAK

3.4.2 Ausgabe der Ergebnisverteilung

Um die Ergebnisse der PEAK-Berechnungen nach RiskSpectrum® zu exportieren, betätigt man in PEAK im Menu ‘Ausgabe‘ den Menüpunkt ‘RiskSpectrum‘. PEAK gibt die Ergebnisse der Berechnung dann in einem für RiskSpectrum lesbaren rsa-Format aus. Die rsa-Dateien enthalten ASCII-Text und bestehen aus einer Überschrift und einer siebenspaltigen Tabelle. Die Überschrift lautet immer „//RECORD Probability (q)“ und kennzeichnet für RiskSpectrum®, dass es sich hier um Ausfallwahrscheinlichkeiten handelt. Die Tabelle enthält dann folgende Informationen:

In der ersten Spalte steht der Parametertyp. PEAK berechnet ausschließlich Wahrscheinlichkeiten, daher steht hier stets P01, das Kürzel für Wahrscheinlichkeiten (alternative Parametertypen wären z. B. Raten oder Frequenzen).

In der zweiten Spalte steht die sogenannte ID, eine für jede Ausfallkombination und zu jedem Anlagendatensatz einzigartige Zeichenfolge, die von PEAK aus den IDs der Anlagendatensätze, die von POOL generiert wurden und der Anzahl der vorhandenen Ausfälle zusammengesetzt werden.

Die dritte Spalte enthält den Erwartungswert der GVA-Wahrscheinlichkeit für eine Ausfallkombination. PEAK zeigt die Gesamtwahrscheinlichkeit an, dass eine bestimmte Anzahl Komponenten unverfügbar ist (zum Beispiel dass 2 von 3 Komponenten unverfügbar sind). Diese Wahrscheinlichkeit ist beim Beispiel eines 2 von 3-Ausfalls einer Komponentengruppe mit den Komponenten A, B und C: P(2v3) = P(A verfügbar, B und C unverfügbar) + P(B verfügbar, C und A unverfügbar)+ P(C verfügbar, A und B unverfügbar). RiskSpectrum rechnet allerdings mit den einzelnen Wahrscheinlichkeiten der speziellen Ausfallkombination weiter (d. h. z. B. P(A verfügbar, B und C unverfügbar)). Diese errechnet sich für einen k von n-Ausfall aus der in PEAK angezeigten Ausfallwahrscheinlichkeit als Quotient mit dem Binomialkoeffizienten $\binom{n}{k}$:

$$P_{RiskSpectrum} = \frac{P_{PEAK}}{\binom{n}{k}}$$

Die vierte Spalte definiert für RiskSpectrum®, welche Art von Verteilung angenommen werden soll. Hier wurde eine Betaverteilung gewählt; das Kürzel hierfür ist die Ziffer 2.

Die fünfte und sechste Spalte enthalten zwei zusätzliche numerische Parameter, um die Verteilung zu bestimmen. In der fünften Spalte steht der k-Faktor, der als Quotient aus dem 5 %- und dem 95 %-Fraktil ein Maß für die Breite der Verteilung ist. Die Beta-Verteilung ist durch zwei Kenngrößen, hier den Mittelwert und den k-Faktor, bereits eindeutig definiert, der zweite Verteilungsparameter in der sechsten Spalte entfällt deshalb und ist daher immer 0.

Die siebte Spalte enthält eine Beschreibung der verwendeten Parameter, diese entspricht der im Feld Komponentengruppe bei der Erstellung des Anlagendatensatzes eingegebenen Beschreibung.

Es ist folgendes anzumerken: Momentan gibt PEAK unverbreiterte Ergebnisverteilungen aus. Die bisher durchgeführte Verbreiterung (siehe /FAK 05a/) erfolgt derzeit nachträglich. Zur Zeit wird eine weiterentwickelten Version von PEAK erstellt. Diese Version soll für zukünftige Anwendungen verwendet werden. Deshalb wurde hier darauf verzichtet, den gegenwärtig verwendeten Verbreiterungsalgorithmus in POOL zu integrieren.

3.4.3 Qualitätssicherung: Abgleich mit Datensätzen aus dem Datenband zum PSA-Leitfaden

Um zu überprüfen ob die mit dem Programm POOL generierten Datensätze in PEAK auch mit den bisherigen manuell erzeugten Datensätzen konsistente Ergebnisse liefern, wurden aus den im Fachband zu PSA-Daten /FAK 05a/ veröffentlichten GVA-Wahrscheinlichkeiten für jede Komponentenart, jede Ausfallart, jede dort verwendete Kombination an Randbedingungen und jede aufgeführte Fehlerentdeckungszeit ein Anlagendatensatz im Programm POOL mit einer zufällig gewählten Anzahl an Zielkomponenten, für deren mögliche Ausfallkombinationen allerdings auch im Datenband Wahrscheinlichkeiten berechnet worden sein mussten, erstellt, nach PEAK exportiert und die GVA-Wahrscheinlichkeiten für die möglichen Ausfallkombinationen errechnet. Diese Zahlen wurden mit den im Datenband aufgeführten GVA-Wahrscheinlichkeiten verglichen.

Da zu diesem Zeitpunkt das in Kapitel 3.2 beschriebene neue System zur Berechnung der Beobachtungszeiten bereits in das Programm POOL implementiert war und dafür die Beobachtungszeiten bis zum Jahre 2002, die für das in Zukunft zu erwartende Update der ausgewerteten Betriebserfahrung gültig sind, verwendet wurden, stimmten die Beobachtungszeiten der mit POOL generierten Datensätze nicht mehr mit den für die Berechnung der Zahlen im Datenband verwendeten Zeiten überein. Da die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten indirekt proportional zu den zugehörigen Beobachtungszeiten sind, konnten die Zahlen aus /FAK 05a/ also nicht direkt reproduziert werden.

Um diese Problematik zu umgehen wurden in der vom POOL-Programm generierten mdb-Datei die neuen Beobachtungszeiten mit Hilfe von MS ACCESS® per Hand durch die alten im Datenband verwendeten Beobachtungszeiten ersetzt. Tab. 3-7 zeigt die im

Datenband verwendeten Beobachtungszeiten nebst zugehöriger Komponentenart und Quelle.

Tab. 3-7: In dem PSA-Datenband verwendete Beobachtungszeiten

Komponentenart	Quelle	Beobachtungszeit (in Jahren)
Absperrklappe	BEV	1200
Absperrklappe	IRS	2000
Absperrschieber	BEV	3950
Absperrventil (Dampfführende Systeme)	BEV	100
Absperrventil (Wasserführende Systeme)	BEV	9400
Batterien	BEV	680
Druckmessungen: Grenzwertgeber	BEV	300
Druckmessungen: Messrohrleitung	BEV	6000
Druckmessungen: Messumformer	BEV	300
FD-Abblaseregelventile	BEV	195,4
Kreiselpumpen (Betriebsversagen)	BEV	80
Kreiselpumpen (Betriebsversagen)	IRS	400
Kreiselpumpen (startet nicht)	BEV	920
Leistungssschalter	BEV	100
Notstromdiesel (Betriebsversagen)	BEV	1
Notstromdiesel (startet nicht)	BEV	326
Regelventile	BEV	3,75
Relais	BEV	100
Rückschlagklappe	BEV	100
Rückschlagklappe	IRS	1000
Rückschlagventile	BEV	100
Sicherheitsventile (eigenmediumbetätigt)	BEV	327

Komponentenart	Quelle	Beobachtungszeit (in Jahren)
Ventilatoren (Betriebsversagen)	BEV	140
Ventilatoren (startet nicht)	BEV	390
Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	BEV	200
Vorsteuerventile (federbetätigt)	BEV	200
Wärmetauscher	IRS	1000

In Tab. 3-8 sind die überprüften Anlagendatensätze aufgelistet. Neben Komponenten- und Ausfallart enthält die Tabelle folgende Informationen:

- Unter Randbedingungen sind die verwendeten Randbedingungen gekennzeichnet. ‘KAR‘ steht dabei für die allgemeine Randbedingung, die im Datenband als „konservativ abdeckende Randbedingung“ bezeichnet wird. Tab. 3-9 zeigt, welche Randbedingungen hinter den übrigen Abkürzungen stehen, im Datenband sind diese Randbedingungen in der Regel als ZRB für „zusätzliche Randbedingungen“ abgekürzt.

- Die Anzahl der Zielkomponenten ist zufällig gewählt, es wurde jedoch darauf geachtet, dass für die zur gewählten Anzahl passenden Ausfallkombinationen im Datenband auch GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet wurden. Da einige Komponenten auf Grund des n+2-Prinzips überwiegend in Vierergruppen vorkommen, wurde darauf geachtet, dass mindestens ein Anlagendatensatz pro Kombination aus Komponentenart, Ausfallart und Randbedingung eine Gruppe aus vier Komponenten sind. Ausnahmen waren möglich (z. B. Randbedingung ‘Hohe Redundanz‘).

- Als Fehlerentdeckungszeit wurden wie im Datenband /FAK 05a/ 336 (zweiwöchiger Testzyklus), 672 (vierwöchiger Testzyklus), 2016 (zwölfwöchiger Testzyklus) und 8736 Stunden (jährlicher Testzyklus) gewählt.

- Unter Ergebnisse des Vergleichs ist vermerkt, ob der Abgleich zwischen aus POOL berechneten GVA-Wahrscheinlichkeiten und den GVA-Wahrscheinlichkeiten aus dem PSA-Datenband Auffälligkeiten ergab. Die meisten Zahlen stimmten überein (Eintrag ‘ok‘).

Für folgende Anlagendatensätze ergaben sich Abweichungen:

- Für die Komponentenart ‘Vorsteuerventile (magnetbetätigt)‘ und die Ausfallart ‘schließt nicht‘ bei der Randbedingung ‘KAR‘ stimmten die berechneten GVA-Wahrscheinlichkeiten für die Ausfallkombinationen 7v8 und 8v8 nicht überein. Die Ursache für die Abweichung ist eine Sondermaßnahme, die in /FAK 05a/ für diese Ausfallkombinationen eingeführt wurde. In den zugehörigen Ereignissen wurden von den Experten sehr geringe Schädigungsgrade geschätzt, die auf hohe Ausfallkombinationen angewendet sehr niedrige Median- und Erwartungswerte, aber hohe Streufaktoren produzieren. Um dieses Problem zu umgehen, wurden im Datenband für die Ausfallkombinationen 7v8 und 8v8 die Werte der Ausfallkombination 6v8 verwendet. Dies wurde händisch durchgeführt. Das Programm POOL- bzw. das Programm PEAK besitzen keine Funktion, um derartige Korrekturen vorzunehmen (Eintrag ‘7v8 8v8!‘).

- Für die Komponentenart ‘Regelventile‘ und die Ausfallart ‘regelt nicht‘ bei beliebigen Randbedingungen stimmten die berechneten GVA-Wahrscheinlichkeiten bei allen Ausfallkombinationen nicht überein. Ursächlich ist hier eine nachträgliche Bewertungsänderung des GVAs Nr. 00098. Dieser war im Datenband nur für die Ausfallart ‘öffnet oder schließt nicht‘ bewertet gewesen. Da ein solcher Ausfall aber zwingend auch verhindert, dass die Ventile im Regelbetrieb benutzt werden, wurden die Bewertungen mittlerweile auch auf die Ausfallart ‘regelt nicht‘ übertragen (Eintrag ‘GVA98‘).

- Für die Komponentenart ‘Batterien‘ stimmen die GVA-Wahrscheinlichkeiten generell nicht überein. Der Grund ist auch hier in den bewerteten Ausfallarten zu finden. Im Datenband existiert für Batterien lediglich die Ausfallart ‘Spannungszusammenbruch‘, mittlerweile wurde zusätzlich die Ausfallart ‘Kapazität nicht ausreichend‘ definiert für Fälle in denen die Batterien zwar genug Leistung für kurzzeitige Anforderungen bringen können, aber die Kapazitäten für die vorgeschriebenen zwei Stunden Betrieb nicht mehr ausreichen. Der GVA Nr. 00669 wurde entsprechend von der Ausfallart ‘Spannungszusammenbruch‘ in die Ausfallart ‘Kapazität nicht ausreichend‘ überführt und sorgt somit für die unterschiedlichen Ergebnisse (Eintrag ‘GVA669‘).

- Für die Komponentenart ‘Messrohrleitung‘ ergeben sich generell abweichende GVA-Wahrscheinlichkeiten. Der Fehler liegt hier jedoch im Datenband. Obwohl angegeben ist, dass mit einer Beobachtungszeit von 6000 Jahren für Messrohrleitungen gerechnet wurde, ergab eine genauere Untersuchung der zugrundeliegenden Datenbanken, dass in Wahrheit mit einer Beobachtungszeit von 6200 Jahren ge-

arbeitet wurde. Sobald diese auch für die POOL-Datensätze verwendet wurde, ließen sich die Ergebnisse reproduzieren (Eintrag ‘Rundung DB‘).

- Für die Komponentenart ‘Relais‘ ließen sich mit PEAK keine GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnen, da vom GVA Nr. 00086 eine Komponentengruppe der Größe 360 betroffen war und PEAK in der aktuellen Fassung nur Komponentengruppen, die aus weniger als 200 Komponenten bestehen, verarbeiten kann. Dieses Problem trat auch bei der Erstellung des Datenbandes auf. Die zugehörigen Zahlen wurden damals durch eine händische Rechnung ohne PEAK generiert. Die damaligen Ergebnisse lassen sich durch POOL und PEAK daher nicht reproduzieren (Eintrag ‘Begrenzung PEAK‘).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse aus dem Datenband durch die Programme POOL und PEAK insgesamt reproduzierbar waren. Es wurden zwar vereinzelt Abweichungen gefunden, diese konnten aber schnell auf Änderungen am Datenmaterial oder auf bekannte Begrenzungen des PEAK-Programms zurückgeführt werden.

Tab. 3-8: Geprüfte Anlagendatensätze

Komponentenart	Ausfallart	Randbedingungen	Zielkomponentengruppengröße	Fehlerentdeckungszeit (in h)	Erg. d. Vergleichs
Messumformer	schaltet nicht	KAR	4	336	ok
Messumformer	schaltet nicht	KAR	3	672	ok
Messumformer	schaltet nicht	KAR	4	2016	ok
Messumformer	schaltet nicht	KAR	4	8736	ok
Messumformer	schaltet nicht	NoBar	12	336	ok
Messumformer	schaltet nicht	NoBar	6	672	ok
Messumformer	schaltet nicht	NoBar	9	2016	ok
Messumformer	schaltet nicht	NoBar	4	8736	ok
Absperrschieber	öffnet nicht	KAR	3	336	ok
Absperrschieber	öffnet nicht	KAR	4	672	ok
Absperrschieber	öffnet nicht	KAR	4	2016	ok
Absperrschieber	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Absperrschie-ber	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Absperrschie-ber	schließt nicht	KAR	4	672	ok
Absperrschie-ber	schließt nicht	KAR	3	2016	ok
Absperrschie-ber	schließt nicht	KAR	2	8736	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	Anfahrüb.	4	336	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	Anfahrüb.	3	672	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	Anfahrüb.	6	2016	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	Anfahrüb.	6	8736	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	Anfahrüb.	8	336	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	Anfahrüb.	4	672	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	Anfahrüb.	6	2016	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	Anfahrüb.	4	8736	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	KAR	2	336	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	KAR	8	672	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	KAR	4	2016	ok
Absperrventil (Wasser)	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	KAR	4	672	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	KAR	3	2016	ok
Absperrventil (Wasser)	schließt nicht	KAR	3	8736	ok
Absperrventil (Dampf)	öffnet nicht	KAR	2	336	ok

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Absperrventil (Dampf)	öffnet nicht	KAR	6	672	ok
Absperrventil (Dampf)	öffnet nicht	KAR	4	2016	ok
Absperrventil (Dampf)	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	336	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	3	672	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	2016	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	8	672	7v8 8v8!
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	4	8736	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	hohe Redun-danz	24	336	ok
Vorsteuerventil (magnetbetä-tigt)	öffnet nicht	hohe Redun-danz	24	672	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	KAR	4	336	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	KAR	4	672	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	KAR	4	2016	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Absperrklap-pen	schließt nicht	KAR	3	336	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	KAR	3	672	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	KAR	4	8736	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	Sauberwas-ser	4	336	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	Sauberwas-ser	2	672	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	Sauberwas-ser	4	2016	ok
Absperrklap-pen	öffnet nicht	Sauberwas-ser	4	8736	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	Sauberwas-ser	6	336	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	Sauberwas-ser	4	672	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	Sauberwas-ser	4	2016	ok
Absperrklap-pen	schließt nicht	Sauberwas-ser	4	8736	ok
Regelventile	regelt nicht	KAR	4	336	GVA98
Regelventile	regelt nicht	KAR	6	672	GVA98
Regelventile	regelt nicht	KAR	4	2016	GVA98
Regelventile	regelt nicht	KAR	3	8736	GVA98
Regelventile	öffnet/schließt nicht	KAR	4	336	ok
Regelventile	öffnet/schließt nicht	KAR	6	672	ok
Regelventile	öffnet/schließt nicht	KAR	8	2016	ok
Regelventile	öffnet/schließt nicht	KAR	3	8736	ok
Regelventile	regelt nicht	Sicherheits-systeme	4	336	GVA98
Regelventile	regelt nicht	Sicherheits-systeme	8	672	GVA98
Regelventile	regelt nicht	Sicherheits-systeme	3	2016	GVA98

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Regelventile	regelt nicht	Sicherheits-systeme	4	8736	GVA98
FD-Abblase-regelventil	öffnet nicht	PLB	4	336/8736	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	336	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	672	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	6	2016	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	3	672	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	8	2016	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	schließt nicht	KAR	2	8736	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	Funktions-prüfung	4	336	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	Funktions-prüfung	8	672	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	Funktions-prüfung	6	2016	ok
Vorsteuerventi-le (federbetä-tigt)	öffnet nicht	Funktions-prüfung	4	8736	ok
Sicherheits-ventile	öffnet nicht	KAR	4	8736	ok
Sicherheits-ventile	schließt nicht	KAR	4	8736	ok

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Rückschlag-ventile	schließt nicht	KAR	2	336	ok
Rückschlag-ventile	schließt nicht	KAR	3	672	ok
Rückschlag-ventile	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Rückschlag-ventile	schließt nicht	KAR	4	8736	ok
Rückschlag-klappe (selten durchstr.)	schließt nicht	KAR	8	336	ok
Rückschlag-klappe (selten durchströmt)	schließt nicht	KAR	6	672	ok
Rückschlag-klappe (selten durchströmt)	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Rückschlag-klappe (selten durchströmt)	schließt nicht	KAR	3	8736	ok
Rückschlag-klappe (ständig durchströmt)	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Rückschlag-klappe (ständig durchströmt)	schließt nicht	KAR	4	672	ok
Rückschlag-klappe (ständig durchströmt)	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Rückschlag-klappe(ständig durchstr.)	schließt nicht	KAR	8	8736	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	KAR	4	336	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	KAR	3	672	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	KAR	6	2016	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	KAR	6	8736	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Diff-Druck+WKP	4	336	ok

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Diff-Druck+WKP	8	672	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Diff-Druck+WKP	2	2016	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Diff-Druck+WKP	2	8736	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Sauberwas-ser	2	336	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Sauberwas-ser	8	672	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Sauberwas-ser	3	2016	ok
Wärmetau-scher	überträgt keine Leistung	Sauberwas-ser	3	8736	ok
Ventilator	fördert nicht	KAR	4	1	ok
Ventilator	startet nicht	KAR	4	336	ok
Ventilator	startet nicht	KAR	4	672	ok
Ventilator	startet nicht	KAR	6	2016	ok
Ventilator	startet nicht	KAR	4	8736	ok
Kreiselpumpen	fördert nicht	KAR	4	1	ok
Kreiselpumpen	fördert nicht	trocken	4	1	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	ohne Gas	4	336	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	ohne Gas	6	672	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	ohne Gas	4	2016	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	ohne Gas	4	8736	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	mit Gas	4	336	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	mit Gas	4	672	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	mit Gas	4	2016	ok
Kreiselpumpen	startet nicht	mit Gas	4	8736	ok
Notstromdiesel	startet nicht	KAR	4	336	ok
Notstromdiesel	startet nicht	KAR	4	672	ok
Notstromdiesel	startet nicht	KAR	4	2016	ok
Notstromdiesel	startet nicht	KAR	4	8736	ok
Notstromdiesel	Betriebsversa-gen	KAR	4	1	ok
Messrohrlei-tung	Verstopfung	KAR	4	336	Run-dung DB

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Messrohrlei-tung	Verstopfung	KAR	9	672	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	KAR	6	2016	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	KAR	12	8736	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	Sauberwas-ser + Funkpr.	4	336	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	Sauberwas-ser + Funkpr.	4	672	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	Sauberwas-ser + Funkpr.	6	2016	Run-dung DB
Messrohrlei-tung	Verstopfung	Sauberwas-ser + Funkpr.	4	8736	Run-dung DB
Batterien	Spannungszu-sammenbruch	KAR	4	336	GVA 669
Batterien	Spannungszu-sammenbruch	KAR	4	672	GVA 669
Batterien	Spannungszu-sammenbruch	KAR	2	2016	GVA 669
Batterien	Spannungszu-sammenbruch	KAR	4	8736	GVA 669
Relais	schaltet nicht	KAR	4	336	Be-grenz-ung PEAK
Relais	schaltet nicht	KAR	4	672	Be-grenz-ung PEAK
Relais	schaltet nicht	KAR	9	2016	Be-grenz-ung PEAK

Komponen-tenart	Ausfallart	Randbedin-gungen	Zielkompo-nenten-gruppen-größe	Fehlerent-deckungs-zeit (in h)	Erg. d. Ver-gleichs
Relais	schaltet nicht	KAR	4	8736	Be-grenz-ung PEAK
Leistungs-schalter	schließt nicht	KAR	4	336	ok
Leistungs-schalter	schließt nicht	KAR	6	672	ok
Leistungs-schalter	schließt nicht	KAR	4	2016	ok
Leistungs-schalter	schließt nicht	KAR	4	8736	ok
Grenzwertge-ber	schaltet nicht	KAR	4	336	ok
Grenzwertge-ber	schaltet nicht	KAR	4	672	ok
Grenzwertge-ber	schaltet nicht	KAR	4	2016	ok
Grenzwertge-ber	schaltet nicht	KAR	12	8736	ok

Tab. 3-9: Im Rahmen der Prüfung verwendete Randbedingungen

Abkürzung	Komponententyp	Verwendete Randbedingungen
NoBar	Messumformer	Keine Bartonzellen: Verklemmen des Messübertragungsgestänges unmöglich
Anfahrüb.	Absperrventil (Wasser)	Mit Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung
Hohe Redundanz	Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	Sehr hoher Redundanzgrad (16+)
Sauberwasser	Absperrklappen Wärmetauscher Messrohrleitung	Kein Nebenkühlwasser (=„Schmutzwasser“)
Sicherheitssysteme	Regelventile	Ereignisse, die nur für betriebliche Regelung übertragbar sind, nicht berücksichtigt

Abkürzung	Komponententyp	Verwendete Randbedingungen
Funktionsprüfung	Vorsteuerventile (federbetätigt) Messrohrleitung	Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahmen vorgeschrieben
DiffDruck+WKP	Wärmetauscher	Medium kein Deionat, Differenzdruckmessung installiert, regelmäßige WKP, Taprogge-Anlage o.ä.
Mit/ohne Gas	Kreiselpumpen	Gaseintrag bzw. Gasansammlung im Saugrohr möglich/unmöglich
Trocken	Kreiselpumpen	Trockene Aufstellung, keine Tauchpumpen, getrennte Ansaugung oder gesicherte Zulaufhöhe
PLB	FD-Abblaseregelventile	Übertragbarkeit auf Leistungsbetrieb

3.5 Zusammenfassung

Mit dem Programm POOL wurde eine Möglichkeit geschaffen, die zur Berechnung einer GVA-Wahrscheinlichkeit notwendigen Parameter automatisch und qualitätsgesichert von einem einzigen Programm zusammenstellen zu lassen. Die Kombination von POOL und PEAK berechnet GVA-Wahrscheinlichkeiten, die mit dem bisherig genutzten Verfahren zur Auswertung und Berechnung konsistent sind. Dabei minimiert POOL den Arbeitsaufwand des Benutzers und dokumentiert die zusammengestellten Parameter einerseits in Tabellen in der Datenbank und andererseits in vom Benutzer optional erstellbaren Reports.

Der neue Algorithmus zur Berechnung der Beobachtungszeiten erlaubt eine einfache Anpassung der auszuwertenden Betriebserfahrung auf frei wählbare Zeiträume und eröffnet so die Möglichkeit sehr einfach Trendanalysen über verschiedene Zeiträume durchzuführen.

Bei zukünftig von der GRS durchgeführten PSA wird das Programm POOL zusammen mit PEAK bei der Ermittlung der GVA-Ausfallwahrscheinlichkeiten zum Einsatz kommen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die umfassende Bestandsaufnahme des vorhandenen Systems von Randbedingungen zeigt, dass derzeit bezüglich mehrerer Aspekte noch Weiterentwicklungsbedarf besteht.

Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe:

- Um eine mathematisch korrekte Schätzung von GVA-Wahrscheinlichkeiten zu erhalten, ist es prinzipiell erforderlich, die Bezugszeiten bzw. Zahlen von Anforderungen für alle Komponentengruppen zu ermitteln, bei der die jeweiligen Randbedingungen zutreffen. Bei dem bisherigen System ist dies praktisch undurchführbar, da sehr viele verschiedene Randbedingungen existieren, die sich vielfach auf sehr spezielle Details in technischen Eigenschaften oder Betrieb der Komponenten beziehen.
- Den definierten Randbedingungen liegt jeweils eine Analyse zugrunde, ob beobachtete GVA-Ereignisse sich für die in der PSA modellierten Komponentengruppen nur eingeschränkt oder gar nicht übertragen lassen. Eine systematische Betrachtung, ob beobachtete GVA-Phänomene in bestimmten in der PSA modellierten Komponentengruppen häufiger zu erwarten sind oder stärkere Komponentenschädigungen erwarten ließen, fand nicht statt. Demzufolge wurden in keinem Fall Übertragbarkeitsfaktoren größer 1 vergeben.

Aus diesen Gründen ist eine systematische Unterschätzung von GVA-Wahrscheinlichkeiten potentiell möglich.

Darüberhinaus sind Randbedingungen definiert, deren Vorliegen nur sehr schwierig nachweisbar erscheint.

Es ist erforderlich, die Vorgehensweise zur Bewertung der Übertragbarkeit beobachteter GVA-Ereignisse und das dabei benutzte System von definierten Randbedingungen grundlegend mit dem Ziel zu überarbeiten, ein wesentlich vereinfachtes System zu entwickeln, bei dem die oben genannten Probleme vermieden werden. Hierzu sollte zunächst eine allgemeine Vorgehensweise entwickelt, detailliert beschrieben und erprobt werden. Es ist nachvollziehbar festzulegen,

- unter welchen Voraussetzungen Randbedingungen definiert werden,

- wann Populationen aufgeteilt werden,
- wie die Übertragbarkeit von Ereignissen bzw. abweichende Komponentenschädigungen bewertet werden und
- welche Randbedingungen für die Ermittlung von GVA-Wahrscheinlichkeiten für PSA-Rechnungen jeweils zu verwenden sind.

Hierzu wurden im Rahmen dieses Vorhabens Anforderungen entwickelt, die unter anderem eine quantitative Bewertungsskala für Übertragbarkeitsfaktoren umfassen. Aufbauend auf diesen Anforderungen sind die konkreten Abläufe festzulegen und geeignet darzustellen, z. B. in Form eines Ablaufdiagramms. Diese sind praktisch zu erproben und in der Fachöffentlichkeit zu diskutieren. Der abschließende Schritt besteht in einer umfassenden Überarbeitung des Systems der Randbedingungen mit Überprüfung und ggf. Anpassung der Expertenbewertungen für alle Ereignisse und Randbedingungen.

Mit dem Programm POOL wurde eine Möglichkeit geschaffen, die zur Berechnung einer GVA-Wahrscheinlichkeit notwendigen Parameter und Anlagendatensätze automatisch und qualitätsgesichert von einem einzigen Programm zusammenstellen zu lassen. Die Programmkombination aus POOL und PEAK berechnet GVA-Wahrscheinlichkeiten, die im Ergebnis mit denen des bisherig benutzten Verfahrens zur Auswertung und Berechnung übereinstimmen. Dabei verringert POOL einerseits den Arbeitsaufwand des Benutzers und schließt andererseits durch den Entfall von manuell auszuführenden Arbeiten bei der Erstellung von GVA-Datensätzen eine potentielle Fehlerquelle aus.

Die Dokumentation der zusammengestellten Parameter und Anlagendatensätze erfolgt einerseits in Tabellen in der Datenbank selbst und andererseits durch vom Benutzer individuell gestaltbare Reports.

Die Übergabe der erstellten Datensätze an das Programm PEAK erfolgt automatisch. PEAK wurde dahingehen verbessert, dass die Ausgabe in einem Format erfolgen kann, das von RiskSpectrum exportiert werden kann.

Der neue Algorithmus zur Berechnung der Beobachtungszeiten erlaubt eine einfache Anpassung der auszuwertenden Betriebserfahrung auf frei wählbare Zeiträume und eröffnet so die Möglichkeit, sehr einfach Trendanalysen über verschiedene Zeiträume durchzuführen. Im Rahmen seiner Implementierung wurde außerdem das der Berech-

nung der Beobachtungszeit zu Grunde liegende Datenmaterial in POOL überprüft und teilweise bezüglich des Detaillierungsgrads erheblich verbessert. Für viele Komponentenarten, für die vorher lediglich grobe Abschätzungen vorlagen, wurden jetzt exaktere Zählungen durchgeführt. Dennoch konnte dies im Rahmen des Projekts nicht für alle Komponentenarten durchgeführt werden. Die noch verbleibenden Abschätzungen sollten zukünftig nach Möglichkeit ebenfalls durch Zählungen ersetzt werden.

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht bei dem Algorithmus im Hinblick auf die Berücksichtigung von Randbedingungen bei der Berechnung der Beobachtungszeit. Als Beobachtungszeit wird bei GVA-Ereignissen, bei denen Randbedingungen bei der Bewertung der Übertragbarkeit eine Rolle spielten, vereinfacht die gesamte Beobachtungszeit für alle Komponentengruppen angesetzt. Wie oben beschrieben müsste jeweils die Beobachtungszeiten bestimmt und verwendet werden, für die die jeweilige Randbedingung zutrifft. Es gilt also in Zukunft den Algorithmus anzupassen, so dass bei Benutzung einer Randbedingung bei der Bewertung eines GVA-Ereignisses auch die Beobachtungszeit, die zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit durch dieses GVA-Phänomen verwendet wird, entsprechend eingeschränkt wird.

Prinzipiell sind die Tabellen zur Berechnung der Beobachtungszeit, insbesondere die Komponentengruppenliste, bereits so aufgebaut, dass sie eine zur genaueren Berechnung der Beobachtungszeit unter Berücksichtigung der verschiedenen Randbedingungen notwendige Erweiterung ohne großen Aufwand erlauben. Umfangreicher stellt sich die zusätzlich erforderliche Datenerhebung selbst dar, da hierfür alle PSA-relevanten Komponentengruppen aller Anlagen hinsichtlich der Anwendbarkeit aller für sie potentiell zutreffenden Randbedingungen ingenieurstechnisch bewertet werden müssten. Bevor dies geschehen kann, muss das System von Randbedingungen wie oben beschrieben weiterentwickelt werden.

Bisher sind im Programm POOL Auswertungen der deutschen Betriebserfahrung bis 2002 implementiert. Sobald auch für die jüngere Betriebserfahrung Auswertungen von beobachteten GVA-Phänomenen vorliegen, sollen auch diese in das Programm POOL importiert werden.

Bei zukünftig von der GRS durchgeführten PSA wird das Programm POOL zusammen mit PEAK bei der Ermittlung der GVA-Ausfallwahrscheinlichkeiten zum Einsatz kommen.

5 Literaturverzeichnis

/BAR 04/ Baranowsky, P., et al.
General Insights from the International Common Cause Failure Data Exchange (ICDE) Project, PSAM 7, Conference Proceedings, Berlin, 2004

/FAK 05/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter ISSN 0937-4469,
ISBN 3-86509-414-7, Oktober 2005

/FAK 05a/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, Stand: August 2005, BfS-SCHR-38/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter; Oktober 2005

/GRS 90/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit(GRS) mbH
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B, Verlag TÜV Rheinland, ISBN 3-88585-809-6, 1990

/GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
PEAK – Programm zur Ermittlung von Ausfallwahrscheinlichkeiten mit dem Kopplungsmodell; Köln, 2003

/HAU 95/ Hauptmanns, U., A. Kreuser
Gemeinsam verursachte Ausfälle, GRS-A-2227, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, Januar 1995

/JON 02/ Jonsson, E., G. Johanson, J. Pesonen, K. Jänkälä, W. Werner
ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Safety and Relief Valves, NEA/CSNI/R(2002)19, Pariss, 2002

/KRE 01/ Kreuser, A., V. Schulze, J. Tirira
ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Motor Operated Valves, NEA/CSNI/R(2001)10, Paris, 2001

/NEA 03/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA), Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)
ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Batteries, NEA/CSNI/R(2003)19, Paris, 2003

/NEA 04/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA), Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)
Common Cause Failure Data Exchange ICDE, General Coding Guidelines – Technical Note NEA/CSNI/R (2004)4, paris, 2004

/NEA 08/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA), Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)
ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Level Measurement Components, NEA/CSNI/R(2008)19, Paris, 2008

/NRC 98/ United States Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment, NUREG/CR-5485, Washington, DC, November 1998

/ORA 06/ Oracle Application Development Framework
Oracle ADF Developer's Guide for Forms/4GL Developers, http://www.oracle.com/technology/documentation/jdev/b25947_01/index.html, 2006 (Abrufdatum: 05.07.2010)

/THE 03/ Theiss, K., P. Hessel
ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Check Valves, NEA/CSNI/R(2003)15, Paris, 2003

/WER 99/ Werner, W., G. Johanson
ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Centrifugal Pumps, NEA/CSNI/R(99)2, Paris, 2002

/WIE 00/ Wierman, T. E., D. M. Rasmuson, F. M. Marshall
ICDE Project Report on Collection and Analysis of Common-Cause Failures of Emergency Diesel Generators, NEA/CSNI/R(2000)20, Paris, 2001

6 Verteiler

		Exemplare: gedruckte Form	Exemplare: pdf
BMWi			
Referat III B 4		1 x	
GRS-PT/B			
Internationale Verteilung	(FIZ)	40 x	
Projektbegleiter	(stu)	3 x	1 x
GRS			
Geschäftsführung	(stj, wfp)		je 1 x
Bereichsleiter	(erv, paa, prg, rot, stc, ver, zir)		je 1 x
Abteilungsleiter	(som, gls, vek, poi)		je 1 x
Projektleitung	(row)	2 x	1x
Projektbetreuung	(wal, bna)		1 x
Informationsverarbeitung	(nit)		1 x
Autor	(gal, kre, leb, sjc)	je 1 x	je 1 x
Bibliothek	(Köln)	1 x	
Gesamtauflage	**Exemplare**	**51**	

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

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

Forschungszentrum
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0
Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de