

Schaffung eines Handbuchs für Störfallanalysen deutscher Kernkraftwerke

Dr. A. Kerner
Dr. J. Hartung
Dr. M. Kund
Dr. Th. Steinrötter

September 2011

Auftrags-Nr.: 800090

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde liegende FE-Vorhaben 3609R01335 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

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

Kurzfassung

Das Störfallhandbuch (SfH) enthält eine umfassende, elektronische Wissenssammlung zur Erstellung und Durchführung von Störfallanalysen sowie eine Aufarbeitung der bei der GRS durchgeführten Störfallanalysen mit charakteristischen Beschreibungen und weiterführenden Informationen. Ferner werden darin auch Erkenntnisse aus der Programmentwicklung und -validierung aufbereitet und relevante Regeln und Richtlinien für Analysen im Rahmen von Nachweisverfahren bereitgestellt. Das SfH deckt somit den Themenbereich thermohydraulische Störfallanalysen (außer EVI- und EVA-Ereignisse) für den Leistungsbetrieb von Druckwasserreaktoren umfassend ab.

Die Aufarbeitung der Inhalte des SfH folgte im Grundsatz dem analytischen Vorgehen bei der Durchführung von Störfallanalysen bzw. bei der Anwendung von Erkenntnissen aus Störfallanalysen für gutachterliche Fachberatungen. Auf Basis einer strukturierten, mehrstufigen Informationsaufbereitung der Themenfelder „Erstellen einer Störfallanalyse“, „Erstellen von Datenbasen“, „Bewertung einer Störfallanalyse“, „Durchgeführte Störfallanalysen“, „Regelwerksgrundlagen“ und „Validierung ATHLET“ eröffnet das SfH den Nutzern mit unterschiedlichem Hintergrund verschiedene Einstiegsmöglichkeiten. Das SfH als Nachschlagewerk ist zukunftsorientiert konzipiert, inhaltlich frei gestaltbar, vollständig in das GRS-Informationsportal integriert und für einen wachsenden Nutzerkreis vorgesehen.

Abstract

The handbook of safety analyses (HSA) contains a comprehensive electronic collection of knowledge for the compilation and conduction of safety analyses as well as results of existing safety analyses (performed by GRS in the past) with characteristic specifications and further background information. In addition, know-how from the analysis software development and validation process is presented and relevant rules and regulations with regard to safety demonstration are provided. The HSA comprehensively covers the topic thermo-hydraulic safety analyses (except natural hazards, man-made hazards and malicious acts) for power operation state for German pressurized water reactors.

In principle, the structure of the HSA-content represents the analytical approach utilized by safety analyses and applying the knowledge from safety analyses to technical sup-

port services. On the basis of a structured, multilevel preparation of information to the topics “compilation of safety analyses”, “compilation of data bases”, “assessment of safety analyses”, “performed safety analyses”, “rules and regulation” and “ATHLET-validation” the HSA addresses users with different background, allowing them to enter the HSA at different levels. Moreover, the HSA serves as a reference book, which is designed future-oriented, freely configurable related to the content, completely integrated into the GRS internal portal and prepared to be used by a growing user group.

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung und Einführung	1
2	Technische Grundlage zur Erstellung des SfH	3
3	Das Arbeitsprogramm	4
3.1	Entwicklung des Störfallhandbuchs (AP 1)	4
3.1.1	Programmtechnische Anforderungen an das Störfallhandbuch AP 1.1).....	4
3.1.2	Exemplarische Bestandsaufnahme relevanter Inhalte (AP 1.2).....	4
3.1.3	Definition der Schnittstellen zu weiteren Datenbanken (AP 1.3).....	5
3.1.4	Erstellung der Struktur des Störfallhandbuchs (AP 1.4).....	5
3.2	Einstellung von Dokumenten in das Störfallhandbuch (AP 2).....	6
3.2.1	Identifikation relevanter Dokumente (AP 2.1).....	6
3.2.2	Einstellung von Unterlagen zur Durchführung von Störfallanalysen (AP 2.2)	6
3.2.3	Regelwerk und Genehmigungspraxis (AP 2.3)	6
3.2.4	Einstellungen von Erkenntnissen aus Entwicklung- und Validierungsrechnungen (AP 2.4)	7
3.2.5	Einstellung von Informationen durchgeführter Störfallanalysen (AP 2.5)....	7
3.2.6	Durchführung von Störfallanalysen (AP 2.6).....	7
3.3	Pflege des Störfallhandbuchs (AP 3)	8
4	Entwicklung des Störfallhandbuchs	9
4.1	Programmtechnische Anforderungen an das Störfallhandbuch.....	9
4.2	Exemplarische Bestandsaufnahme relevanter Inhalte	10
4.3	Definition der Schnittstellen zu weiteren Datenbanken	14
4.4	Erstellung der Struktur des Störfallhandbuchs.....	18
5	Fachliche Arbeiten am Störfallhandbuch	26
5.1	Identifikation relevanter Unterlagen	27
5.2	Einstellen von Dokumenten in das Störfallhandbuch	30
5.3	Regelwerk und Genehmigungspraxis	37

5.4	Einstellung von Erkenntnissen aus Entwicklungs- und Validierungsrechnungen	42
5.5	Einstellung von Informationen durchgeführter Störfallanalysen	46
5.6	Durchführung von Störfallanalysen	51
6	Pflege des Störfallhandbuchs.....	56
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	59
8	Literatur.....	63
9	Abbildungsverzeichnis.....	65
10	Tabellenverzeichnis	66
Anhang A	Auszug aus dem SfH: Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen	67
Anhang B	Auszug aus dem SfH: Einführung im Umgang mit ATHLET	72
Anhang C	Auszug aus dem SfH: Bedienungs-Hilfe zur Modellierung von Rohrleitungen mittels ATHLED.....	74
Anhang D	Auszug aus dem SfH: Neuerstellung eines Datensatzes	76

1 Zielsetzung und Einführung

Die allgemeine Zielsetzung des Vorhabens war, ein Handbuch für Störfallanalysen unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zu erstellen /GRS 09/. In der GRS werden seit vielen Jahren Rechenprogramme zur analytischen Simulation von Ereignissen für den Reaktorkern, den Kühlkreislauf und den Sicherheitseinschluss entwickelt und validiert. Diese Programme werden vor allem für die Durchführung und Bewertung von Sicherheitsanalysen postulierter Ereignisse deutscher und ausländischer Kernkraftwerke angewendet. Das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Handbuch – im Folgenden als Störfallhandbuch (SfH) bezeichnet – soll dazu dienen, das aufgebaute Wissen zur Durchführung von Störfallanalysen und verfügbaren Störfallanalysen auf dem Gebiet des Reaktor-, Anlagen- und Containmentverhaltens aufzubereiten und den Anwendern bereitzustellen. Das Störfallhandbuch wird das mit den Arbeiten zu Störfallanalysen eingebundene GRS-Personal bei der Erstellung von Stellungnahmen zu Einzelthemen, bei Beratungen zum Einsatz neuerer Methoden und Rechenprogramme sowie zu technischen Aspekten der Sicherheitsbewertung (Verfahrensweisen bei Analysen, Genehmigungs- und Aufsichtspraxis) unterstützen.

Die Arbeiten am Störfallhandbuch zielen somit darauf ab, auf Fragen zu Störfallanalysen schnell und fundiert Antworten geben zu können. Die bei der GRS vorliegenden und im Rahmen des Projekts durchgeführten Störfallanalysen (ohne EVI und EVA-Ereignisse) für deutsche Druckwasserreaktoren sollten hierzu mit Bezug zu den zugrunde liegenden Dokumenten und Bewertungsmaßstäben für eine weitere effiziente Verwendung bereitgestellt werden. Die Aufarbeitung ist dabei nach den Sicherheits Ebenen bzw. Ereigniskategorien oder auch nach dem untersuchten Anlagentyp zu gliedern. Die weitere Charakterisierung von durchgeführten Störfallanalysen schließt u. a. das Ziel der Analyse, die unterstellten Anfangs- und Randbedingungen und die nachzuweisenden Kriterien ein. Auf dieser Basis soll auch eine anwendungsorientierte Aufarbeitung für die im Rahmen des SfH durchzuführenden Analysen nach Stand von Wissenschaft und Technik erfolgen.

Mit dem Störfallhandbuch soll Mitarbeitern mit wenig Erfahrung ein schneller Einstieg in dieses Fachgebiet ermöglicht werden. Hierzu werden die gesammelten Erfahrungen in vergangenen Projekten strukturiert und übersichtlich zugänglich aufbereitet, um somit

einen Beitrag zum Kompetenzerhalt in der GRS zu leisten. Das Handbuch soll den Anwender auch ohne Kenntnis der Gesamtdokumentation in kurzer Zeit über wesentliche Erkenntnisse durchgeführter Analysen bzw. über die bisher praktizierten Konzepte, Methoden und Erfahrungswerte informieren. Ferner soll es als Unterstützungshilfe für durchzuführende Analysen dienen, u. a. mit Informationen über die zu modellierende Anlage, den Ereignisablauf, wichtige Modellierungshinweise und -erfahrungen, Informationen zur Simulationsumgebung und -durchführung sowie zur Bewertung des Simulationsergebnisses.

Darüber hinaus wird durch die Zusammenführung und Bewertung von Informationen aus unterschiedlichen Bereichen die Kompetenz der GRS zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen weiter gestärkt. Wissen aus der Durchführung und Bewertung von Störfallanalysen wird um verfügbare Erkenntnisse und Erfahrungswerte aus der Programmentwicklung und Validierung (einschließlich der verwendeten Datenbasis) erweitert.

2 Technische Grundlage zur Erstellung des SfH

Die heute zur Verfügung stehende Informationsverarbeitungstechnologie erlaubt es, unterschiedliche Wissensbausteine unter einer gemeinsamen Arbeitsoberfläche zusammenzuführen. Hierzu wurden bereits von der GRS Erfahrungen bei der Entwicklung, Erstellung und Fortschreibung elektronischer Handbücher für russische Kernkraftwerke gesammelt /LIE 02/, /RIW 02/, /RIW 05/, /WJP 02/ und /WJP 05/. Diese Erfahrungen wurden unter Betrachtung neuer technischer Möglichkeiten zur Entwicklung des Störfallhandbuches für deutsche Druckwasserreaktoren wie folgt genutzt:

1. Als technische Basis diente für das SfH die Anwendung der „Hypertext Markup Language (HTML)“ – Technik. Als positive Eigenschaften dieser Technik sind insbesondere zu nennen:
 - Die Syntax von HTML ist einfach und ein „Projekt“ lässt sich beliebig erweitern.
 - Die Ablage der Dateien und Dokumente erfolgt entsprechend dem, aus dem Windows-Alltag bekanntem Dateiablagensystem.
 - Die Benutzung des Handbuchs kann mittels üblichen Standardprogrammen (Internet-Browser etc.) erfolgen.
 - Eine dedizierte Entwicklungssoftware ist nicht zwingend notwendig.
 - Ein auf Basis von HTML entwickeltes Handbuch kann sowohl mit wie auch ohne Netzanbindung eingesetzt und angewandt werden. Die Unterstützung durch einen Server ist nicht notwendig.
2. Neue technische Möglichkeiten, die auf die standardisierte HTML-Technik aufsetzen bzw. sich darin integrieren lassen, können zu einer effizienteren Entwicklung und Handhabung wichtige Beiträge leisten. Aus diesem Grund wurden für einige Aufgaben wie Realisierung einer Offline-Suchfunktion oder einer gleichzeitigen Bearbeitung am SfH durch mehrere Personen unterstützende Werkzeuge (siehe Abschnitt 4.4) eingesetzt. Weiter wurde für eine bessere Gestaltung der Interaktivität des Handbuches auf JAVA-Skriptelemente zurückgegriffen.
3. Darüber hinaus erfolgte innerhalb der GRS eine vollständige Einbindung des SfH in das interne Netzwerk, so dass bei Bedarf auch auf Funktionen des GRS-Netzwerkes zugegriffen werden kann.

3 Das Arbeitsprogramm

Störfallanalysen wurden in der GRS innerhalb verschiedener Projekte erstellt, jedoch bisher nicht systematisch zusammengestellt. Im Rahmen des SfH-Vorhabens werden die bereits verfügbaren und in anderen Projekten erstellten Störfallnachweise nun systematisch für deutsche Druckwasserreaktoren zusammengetragen und weitere Störfallanalysen durchgeführt. Dabei wurden nicht nur die Störfallanalysen selbst, sondern auch die notwendigen Hintergrundinformationen aus dem kerntechnischen Regelwerk und begleitende Dokumentationen von relevanten Versuchsergebnissen und der Programmvalidierung berücksichtigt. Das Arbeitsprogramm gliedert sich gemäß der Vorhabensbeschreibung wie folgt /GRS 09/:

3.1 Entwicklung des Störfallhandbuchs (AP 1)

3.1.1 Programmtechnische Anforderungen an das Störfallhandbuch AP 1.1)

Zur Entwicklung des Störfallhandbuches werden die zu erfüllenden programmtechnischen Anforderungen an das Handbuch aufgestellt. Hierzu werden die Erfahrungen der an der Programmentwicklung und Durchführung von Störfallanalysen Beteiligten einbezogen und damit die vorhandene Kompetenz genutzt. Unterstützende Werkzeuge, die eine effizientere Umsetzung der Anforderungen des Handbuchs ermöglichen, werden herangezogen.

3.1.2 Exemplarische Bestandsaufnahme relevanter Inhalte (AP 1.2)

Zur Erstellung einer eindeutigen und umfassenden Struktur für das Störfallhandbuch ist es notwendig den Umfang des Handbuches zu definieren. Hierzu wird eine exemplarische Bestandsaufnahme durchgeführt, um eine strukturierte und widerspruchsfreie Gliederung abzuleiten. Mit diesem Vorgehen soll sichergestellt werden, dass das Handbuch in der Lage ist, alle relevanten Bereiche abzudecken und deren gegenseitige Beziehungen darzustellen.

3.1.3 Definition der Schnittstellen zu weiteren Datenbanken (AP 1.3)

Zu speziellen Themengebieten sind bereits Datensammlungen in unterschiedlicher Weise in der GRS vorhanden. So befinden sich beispielsweise generische und anlagenspezifische Daten in der Datenbank TECDO, generische Sicherheitsfragen in der Datenbank GeSi, Dokumente des kerntechnischen Regelwerks in einem „Electronic Book“, Ergebnisse durchgeführter Sicherheitsanalysen in einem UNIX-Datensystem und weiterführende Informationen zu Rechenprogrammen auf Kompetenzseiten. Ebenso soll die Einbindung von Dokumenten aus Datenbanken im Internet, z. B. der IAEO oder CSNI/NEA und anderen aktuellen Informationsquellen Berücksichtigung finden. Geplant ist, Schnittstellen zu definieren, um eine vollständige Betrachtung des Themengebietes zu ermöglichen.

3.1.4 Erstellung der Struktur des Störfallhandbuches (AP 1.4)

Unter Berücksichtigung der in AP 1.1 bis 1.3 erzielten Erkenntnisse wird das Störfallhandbuch entwickelt. Dies betrifft die Festlegung der Struktur einschließlich der Gliederung des Inhalts, der Funktionalität und der Bedienoberfläche. In diesem Zusammenhang wird auch das zu Grunde liegende elektronische Dateiablagensystem definiert.

Die entwickelte Struktur soll u. a. die Aufbereitung und das Abrufen folgender Informationen geeignet darstellen:

- Generische Beschreibung des zu analysierenden Ereignisablaufs,
- Verweise auf anlagenspezifische Einflussgrößen,
- Gliederung nach den Sicherheitsebenen 2, 3 und 4,
- Bezug zu den Nachweiszielen und -kriterien der Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Modul 3) /SIK 09/,
- Vorgehensweise zur Reduzierung des Analyseaufwands durch „abdeckende Ereignisse“,
- Exemplarische Analysen und
- Behandlung von Unsicherheiten und Konservativitäten entsprechend der Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke (Modul 6) /SIK 09/.

Zur Unterstützung der Datenaufnahme (d.h. zur Eingabe von Informationen und der Einstellung von Dokumenten) sollen Konzepte entwickelt werden, um ein standardisiertes Verfahren zu ermöglichen. Dies soll den Aufwand und die Fehleranfälligkeit bei dem Einpflegen der Daten minimieren aber auch die Eingabe unerlässlicher Angaben sicherstellen.

3.2 Einstellung von Dokumenten in das Störfallhandbuch (AP 2)

3.2.1 Identifikation relevanter Dokumente (AP 2.1)

Die im Arbeitspunkt 1.2 durchgeführte exemplarische Bestandsaufnahme soll systematisch weitergeführt werden. Dies umfasst u. a. die Identifikation von Dokumenten zu Störfallanalysen, Regelwerksauszügen, Anlagenbeschreibungen, Unterlagen bzgl. Rechen-codes und deren Werkzeuge, Datensätzen und Simulatoren, spezifischen Daten aus Validierungsrechnungen und DWR-Anlagen sowie relevanten Teilen wichtiger Datenbanken und nützlichen Informationen aus dem Internet. Diese Zusammenstellung soll soweit möglich in synoptischer Form als Bestandteil des Handbuchs eingebunden werden und über den aktuellen Status der Übernahme von Dokumenten in das Handbuch während der SfH-Erstellung informieren.

3.2.2 Einstellung von Unterlagen zur Durchführung von Störfallanalysen (AP 2.2)

Dieser Arbeitspunkt betrifft die Aufarbeitung und geeignete Bereitstellung der im Arbeitspunkt 2.1 identifizierten Unterlagen, Programme und Daten, die im Rahmen der Durchführung von Störfallanalysen benötigt werden. Darüber hinaus sollen auch Anwendungsbeispiele und Erklärungen gegeben werden, um insbesondere Mitarbeitern mit noch geringen Erfahrungen einen raschen Einstieg zur Durchführung von Störfallanalysen zu ermöglichen.

3.2.3 Regelwerk und Genehmigungspraxis (AP 2.3)

Dokumente aus dem bestehenden untergesetzlichen Regelwerk (BMI-Sicherheitskriterien, Störfalleitlinie, RSK-Leitlinie DWR, RSK-Stellungnahmen, KTA-Regeln) und den neuen „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ (Revision D) werden

mit den Störfallanalysen verknüpft, indem insbesondere Ereignisspektren für die Sicherheitsebenen 2 bis 4a genannt werden und die Anforderungen an Ereignisanalysen sowie die einzuhaltenden Nachweiskriterien zusammenfassend dargestellt werden. Dabei wird - soweit verfügbar - die aktuelle Genehmigungs- und Aufsichtspraxis als Vergleichsbasis mit herangezogen.

3.2.4 Einstellungen von Erkenntnissen aus Entwicklung- und Validierungsrechnungen (AP 2.4)

Dieser Arbeitspunkt umfasst die Dokumentation der Datenbasis und der Ergebnisse durchgeführter Validierungsrechnungen. Dabei sollen auch die Erkenntnisse aus der Programmentwicklung festgehalten werden. Auf dieser Basis werden u. a. Modellierungsempfehlungen für weitere Anwendungen aufbereitet.

3.2.5 Einstellung von Informationen durchgeführter Störfallanalysen (AP 2.5)

Wesentliches Element des Störfallhandbuches ist die Bereitstellung von Informationen zu durchgeführten Störfallanalysen. Hierzu ist geplant für die einzustellenden Analysen eine Kurzbeschreibung mit charakteristischen Merkmalen und einer Bewertung zu geben. Hierzu werden zunächst die Analyseergebnisse der „Fachberatung des BMU zu thermohydraulischen Fragen der Leistungserhöhung“ (SR 2485), die bereits den Anforderungen der „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ erfüllen, in das Handbuch für Störfallnachweise für den DWR eingestellt. Danach werden die Störfallnachweise aus anderen Projekten und begleitende Dokumente eingestellt.

3.2.6 Durchführung von Störfallanalysen (AP 2.6)

Störfallanalysen aus der Ereignisliste des Moduls 3 /SIK 09/, die nicht Gegenstand anderer Projekte sind, werden in diesem Projekt identifiziert und entsprechend deren sicherheitstechnischer Bedeutung bewertet. Für die relevantesten Ereignisse werden hierzu im Laufe des Projektes Störfallanalysen durchgeführt.

3.3 Pflege des Störfallhandbuchs (AP 3)

Die Pflege des Störfallhandbuchs gestaltet sich für die einzelnen Bereiche unterschiedlich. Insbesondere die Informationen aus anderen Datenbanken, Verweise auf Internetseiten und die fortschreitende Entwicklungen von Programmen erfordern eine regelmäßige Prüfung bzw. Aktualisierung des Handbuchs. Diese Aspekte werden bei den betreffenden Bereichen bereits bei der Erstellung berücksichtigt, um den Aktualisierungsaufwand gering zu halten. Die Anwendung von Werkzeugen (z. B. zur Prüfung der bestehenden Gültigkeit von Links) könnte den Aufwand weiter reduzieren.

Darüber hinaus sind nach den ersten Anwendungserfahrungen Optimierungsmaßnahmen für einen effizienteren Umgang mit dem Störfallhandbuch zu erwarten. Zur Erhöhung der Nutzbarkeit sind ferner entsprechende Anleitungen und Hilfestellungen u. a. zur Förderung einer Mitgestaltung des Handbuchs vorgesehen.

4 Entwicklung des Störfallhandbuchs

4.1 Programmtechnische Anforderungen an das Störfallhandbuch

Das SfH soll einen großen Einsatzbereich bzw. Nutzen und eine hohe Zukunftsperspektive gewährleisten. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die folgenden (von den Nutzern des SfH gestellten) programmtechnischen Anforderungen in der Entwicklung des SfH umgesetzt werden.

Als allgemeine und von den Anwendern gestellte Anforderungen gelten dabei:

- Die Nutzung des SfH sollte nicht an den Einsatz einer speziellen Software geknüpft sein. Das SfH sollte in der Lage sein, verschiedene Dokumenttypen geeignet darstellen zu können (dazu zählen u. a. html, pdf, doc, ppt, xls, ASCII sowie Bilddateien). Zur Anzeige von Dokumenten sollte die übliche Standard-Software (wie MS Office, Internet Browser, pdf-Reader und Texteditor) ausreichen. Sofern spezielle Programme zur Darstellung von Inhalten benötigt werden, ist dies im Handbuch entsprechend zu kennzeichnen.
- Die Nutzung des SfH sollte keine außergewöhnlichen hardwaretechnischen Lösungen erfordern – jeder zeitgemäße PC sollte also das SfH darstellen können. Die Inhalte des SfH sollten auch ohne Netz- bzw. Internetanschluss zur Verfügung stehen.
- Die Benutzeroberfläche sollte den Grundprinzipien einer ergonomischen Gestaltung folgen: Dabei steht eine eindeutige, direkte und selbsterklärende Benutzerführung im Vordergrund. Inhaltliche Dopplungen oder Querverweise, die im Allgemeinen zur Erhöhung der Komplexität eines Handbuchs führen, werden nur dann eingeführt, wenn dies zu einem deutlichen inhaltlichen Mehrwert führt (daher wurde die optische Gestaltung des Störfallhandbuches bewusst schlicht in schwarz/weiß gehalten, da dies die den maximalen Kontrast und damit die optimale Lesbarkeit gewährleistet). Der Einsatz von Farben erfolgt, wenn es der Verdeutlichung von Inhalten dient. Das Inhaltsverzeichnis und die Kommandoleiste sind eindeutig vom Bereich mit Inhalten abzugrenzen. Die Gestaltung des Inhaltsverzeichnisses sollte den ergonomischen Prämissen folgen, nicht mehr als 7(+/- 2) Wahlmöglichkeiten in der jeweiligen Gliederungstiefe anzubieten, welches der menschlichen Aufnahmefähigkeit entgegenkommt. Die gewählten Begriffe des Inhaltsverzeichnisses sollten

dabei einfach und durch den Nutzer leicht nachvollziehbar sein. Unterpunkte des Inhaltsverzeichnisses sollten (wenn möglich) chronologisch sortiert sein, entsprechend der Durchführung der Aufgaben. Über eine Kommandozeile sollten wichtige Funktionen direkt angesprungen werden können.

- Das SfH sollte an die bestehenden Wissenssysteme der GRS zur Vermeidung von Redundanzen angebunden sein. Eine systematische Trennung von vertraulichen und zugänglichen Dokumenten ist dabei zu berücksichtigen. Die Inhalte (Dokumente und Daten) des SfH sollten von der GRS-weiten Suchfunktion des Intranet-Portals erfasst werden können. Da die Inhalte auch offline zur Verfügung stehen sollen, ist ferner eine offline-Suchfunktion erforderlich.
- Dem Nutzer sollte es in kurzer Zeit möglich sein, sich einen Überblick über die im SfH enthaltenen Inhalte zu verschaffen. Ferner sollte das SfH auch als „lebendiges“ Handbuch wirken, indem der Fortschritt des SfH nachvollzogen werden kann bzw. über den Stand der Arbeiten informiert wird.

Für die Entwicklung des SfH sind ferner noch weitere Anforderungen zu erfüllen:

- Die programmtechnische Umsetzung sollte auch eine Bearbeitung durch mehrere Mitarbeiter erlauben und unterstützen. Unterstützende Entwicklungswerkzeuge sollten sich durch eine einfache Bedienung und geringe Einarbeitungszeit auszeichnen.
- Das Handbuch sollte sich inhaltlich und strukturell beliebig erweitern lassen und auch keine technischen Schwierigkeiten bei größeren Veränderungen auftreten lassen.
- Das Ablagesystem der Daten sollte einer eingängigen Systematik folgen und sich mit einfachen Mitteln effizient bedienen lassen.

4.2 Exemplarische Bestandsaufnahme relevanter Inhalte

Zur Erstellung einer eindeutigen, umfassenden und nachhaltigen Struktur für das Störfallhandbuch ist es notwendig den Umfang des Handbuches zu definieren. Hierzu wurde eine exemplarische Bestandsaufnahme durchgeführt, um eine strukturierte und widerspruchsfreie Gliederung abzuleiten. Mit diesem Vorgehen wird sichergestellt, dass das Handbuch in der Lage ist, alle relevanten Bereiche abzudecken und deren gegenseitige Beziehungen darzustellen. Im Rahmen der Recherchen wurden Dokumente mit

relevanten Inhalten identifiziert. Diese Inhalte werden in den nachfolgenden Arbeitspunkten ausgewertet, aufbereitet und entsprechend in das Störfallhandbuch eingepflegt. Eine Gruppierung dieser Dokumente mit einer beispielhaften Auflistung von Dokumenten zeigt Tab. 4-1.

Tab. 4-1 Übersicht der exemplarischen Bestandsaufnahme

Datenquelle	Beispiele
<p>GRS-A-Berichte</p> <p>Diese stellen die grundlegende Dokumentation von durchgeführten Projekten der GRS dar.</p>	<p>Störfallanalysen (Anlagenbeschreibungen, Modellbeschreibungen, Analyseergebnisse), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – GRS-A-3367: Unterstützung der Bundesaufsicht bei thermohydraulischen Fragestellungen – GRS-A-3346: Erfassung und Aufbereitung von Basisdaten deutscher Kernkraftwerke zur kurzfristigen Unterstützung der Bundesaufsicht bei Störfallanalysen. – GRS-A-2296: ATHLET-Analysen zur sekundärseitigen Druckentlastung und Bespeisung aus der Speisewasserleitung und dem Speisewasserbehälter am Beispiel einer KONVOI-Anlage <p>Störfallsimulatoren (Anlagenbeschreibungen, Modellbeschreibungen, Qualifizierungsrechnungen), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – GRS-A-3346: Erfassung und Aufbereitung von Basisdaten deutscher Kernkraftwerke zur kurzfristigen Unterstützung der Bundesaufsicht bei der Bewertung von Störfallereignissen anhand von Störfallanalysen – GRS-A-3070: Qualifikation der Datenbasis für Störfallsimulator Philippsburg 2 – GRS-A-2802: Qualifikation der Datenbasis für Störfallsimulator Unterweser <p>ATHLET-Validierung (unterstützende Informationen für die Durchführung von Störfallanalysen), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – GRS-A-3090: Validierung des Rechenprogramms ATHLET/ATHLET-CD – GRS-A-2871: Technischer Bericht: Validierung des Rechenprogrammsystems ATHLET/ATHLET-CD – GRS-A-2546: Separierte Impulsbilanzen in ATHLET
<p>Technische Notizen</p> <p>Diese enthalten Erkenntnisse, welche im Rahmen von Arbeiten mit und an den Analysesimulatoren für weitere Anwendungen als relevant erscheinen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – TN-LER-01/00: ATHLET-Modelle zur Simulation der Notkühlein speisung – TN-HOC-12/2006: Thermohydraulische Fragen zur Leistungserhöhung am Beispiel des KKW Grafenrheinfeld – TN-HOC-2/2005: Dokumentation zur Modellierung der digitalen Reaktorleistungsleittechnik (READIG) für den Analysesimulator des KKW Philippsburg 2

Datenquelle	Beispiele
<p>GRS-Intranet, Kompetenzseiten</p> <p>Im Intranet der GRS werden fortschreitend Kernaussagen der von der GRS behandelten Themengebiete aufbereitet und zugänglich gemacht. Diese Intranet-Seiten beinhalten im Allgemeinen zusammenfassende Informationen, die als Ergänzung zum Störfallhandbuch dienen und den Bezug zu anderen Themenbereichen herstellen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Beschreibung der Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen - Wissens- und Kompetenzseiten zu Störfallanalysen - Wissens- und Kompetenzseiten zum Regelwerk - Wissens- und Kompetenzseiten zur ATHLET-Validierung - Wissens- und Kompetenzseiten zu weiteren Analyseprogrammen und deren Beschreibungen
<p>Programmbeschreibungen und Benutzeranleitungen</p> <p>Für die Erstellung, Durchführung und Auswertung von Störfallanalysen wird eine Vielzahl von Softwarewerkzeugen eingesetzt, welche weitestgehend Eigenentwicklungen der GRS sind. Um den Umgang mit der Software zu erleichtern wurden parallel zur Entwicklung fortlaufend Programmbeschreibungen, Benutzeranleitungen und Entwickleranleitungen fortgeschrieben.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ATHLET Beschreibungen (User Manual, Programmer's Manual etc.) - ATLAS Benutzeranleitung - Benutzeranleitungen zu Tools wie JSPLIT, Quickplot, G2 etc. - Programmbeschreibung SUSA
<p>Regelwerk</p> <p>Das Regelwerk gibt für die Durchführung von Störfallanalysen im Rahmen der Genehmigung und Aufsicht u. a. grundsätzliche Anfangs- und Randbedingungen vor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - neues kerntechnisches Regelwerk und die entsprechenden Vorgängerdokumente - Empfehlungen und Stellungnahmen der RSK - KTA-Regeln - Informationen zur Genehmigungspraxis
<p>GRS-interne Datenbanken</p> <p>Für die Sammlung von Wissen und Daten verwendet die GRS mehrere Datenbanken. In diesen Datenbanken sind verschiedenste Dokumente niedergelegt, welche auch für die Durchführung von Störfallanalysen relevant sein können.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - TECDO: Zeichnungen, Anlagenbeschreibungen, Informationen zu Komponenten, Betriebs- und Notfallhandbücher, Schulungsunterlagen - KOMPINT: Daten über druckführende Komponenten - Repository für Simulationseingabedaten - Daten und Dokumentationen von Experimenten und Rechenläufen

Datenquelle	Beispiele
<p>Schulungsunterlagen</p> <p>Als Quellen für das Störfallhandbuch können durchgeführte Schulungen dienen. Diese liefern einerseits generische Beschreibungen oder geben auch Anwendungsbeispiele wieder. Hierzu werden sowohl interne als auch externe Quellen genutzt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – GRS-interne Schulungsunterlagen u. a. zur Anwendung von Rechenprogrammen und Durchführung von Störfallanalysen – Ausgewählte Informationen aus Schulungsunterlagen (z. B. generische Beschreibung von Störfällen)
<p>Dokumente der Betreiber</p> <p>Im Rahmen der Durchführung von Untersuchungen werden Daten über technische und organisatorische Details der Anlagen benötigt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Dokumentenanforderungen an Betreiber – Technische Zeichnungen (Stromlaufpläne, Isometrien, Logikpläne, Reaktorschutzfahnen, usw.) – Weitere Handbücher
<p>Internationale Dokumente</p> <p>Empfehlungen, „Best Practice“-Anleitungen sowie ausgewählte Anwendungen und deren Aus-/Bewertungen zum Themenfeld Störfallanalysen finden sich auch in unterschiedlichen internationalen Dokumenten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Dokumente der IAEA zur Durchführung und Bewertung von Störfallanalysen – Berichte zu internationalen Vorhaben wie Vergleichsstudien zu unterschiedlichen Methoden und Rechen-codes – Dokumente von internationalen Konferenzen

Beiträge der Dokumentengruppen zum Störfallhandbuch

In der nachfolgenden Tabelle sind die Beiträge der einzelnen Dokumentengruppen zu wesentlichen Themenfeldern des SfH dargestellt. Die primären Quellen werden als Hauptquellen für den jeweiligen Punkt im Störfallhandbuch gesehen. In den „sekundären Quellen“ sind ggf. noch ergänzende Informationen aufgeführt.

Tab. 4-2 Herangezogene Quellen für die Erarbeitung der Abschnitte im SfH

		Abschnitte des SfH					
		Erstellen einer Störfallanalyse	Erstellen von Datenbasen	Bewertung einer Störfallanalyse	Durchgeführte Störfallanalysen	Regelwerksgrundlagen	Validierung ATHLET
Dokumententypen	GRS-A-Berichte	+	o	+	+	o	+
	Technische Notizen	+	o	o	+	-	+
	Intranet, Kompetenzseiten	o	o	-	o	o	o
	Programmbeschreibungen und Nutzeranleitungen	+	+	-	-	-	o
	Regelwerk	o	-	o	-	+	-
	GRS-Datenbanken	+	+	-	o	o	o
	Schulungsunterlagen	+	+	-	o	o	o
	Betreiberdokumente	+	-	-	-	-	-
	Internationale Dokumente	o	-	+	-	-	+

+ primäre Quellen
o sekundäre Quellen
- keine Information erwartet

4.3 Definition der Schnittstellen zu weiteren Datenbanken

Zu speziellen Themengebieten liegen bereits Datensammlungen in unterschiedlicher Art und Weise vor. In diesem Arbeitspunkt wurde untersucht, ob und wie Informationen aus diesen Datensammlungen in das Handbuch eingebunden werden können. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die technische Realisierung des Zugriffs auf interne und externe Datenbanken stellt die grundsätzliche Voraussetzung zur Implementierung vorhandener Wissenssammlungen in das SfH dar. Die im Rahmen des GRS-Informationsportals erfassten Informationen können über entsprechende Verweise verbunden bzw. über die portal-übergreifende Suchfunktion als eine gemeinsame Wissenssammlung betrachtet werden. Bei Datenbanken, die technisch andersartig umgesetzt sind, zeigen sich spezielle Schnittstellen als notwendig. So wäre beispielsweise bei der Anbindung der Oracle-Datenbank TECDO als erster Schritt ein direkter Aufruf der Datenbank aus dem SfH implementierbar. Hierbei wären allerdings die Suchanfragen im SfH als auch im TECDO separat durchzuführen.

- Neben der technischen Realisierbarkeit der Schnittstelle spielt ebenfalls die Bedeutung des einzubindenden Dokumentes für das Themengebiet „Störfallanalyse“ eine Rolle. Je höher die Bedeutung des Dokumentes desto vordringlicher zeigt es sich, das Dokument direkt im SfH abzulegen. Die Gründe hierfür liegen darin, dass dadurch Ladezeiten des Dokumentes z. T. deutlich reduziert werden können, eine Offline-Version des SfH auch in den grundlegenden Teilen verständlich nachvollziehbar bzw. lesbar bleibt und keine Abhängigkeit zentraler Dokumente von anderen Datenquellen besteht.
- Ein drittes Merkmal in Bezug auf die Einbindung von Informationen stellt die erwartete Überarbeitungshäufigkeit des Dokuments dar. Dabei gilt, je häufiger ein Dokument einer Überarbeitung unterliegt, desto eher sollte v. a. im Hinblick auf die Pflege des SfH auf die ursprüngliche Datenquelle verwiesen werden.

Der folgenden Tab. 4-3 ist zu entnehmen, ob und wie Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen (gemäß Abschnitt 4.2) in das SfH sinnvoll eingebunden werden können.

Tab. 4-3 Einbindung von Informationen aus anderen Datensammlungen

Datenquelle	Art der Implementierung
GRS-A-Berichte	<p>GRS-A-Berichte sind statische PDF-Dokumente, die nach ihrer Fertigstellung nicht mehr verändert werden. Einige der Berichte unterliegen allerdings einem beschränkten Zugang. Die Einbindung in das Störfallhandbuch erfolgt deshalb wie folgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Unbeschränkt zugängliche Berichte werden in einem Verzeichnis im Störfallhandbuch abgelegt und stehen somit auch in der Offline-Version verfügbar. – Berichte mit beschränktem Zugang werden auf einem zugriffsbeschränkten GRS-Netzlaufwerk außerhalb des Störfallhandbuches abgelegt. Diese Berichte werden auch nicht in die Offline-Version übernommen. <p>Im Zugang beschränkte, wie auch unbeschränkte Berichte, können innerhalb des Störfallhandbuches über Hyperlinks aufgerufen werden. Je nach Verweis wird hierbei die Startseite dieses Berichtes aufgerufen oder direkt zu einem Unterabschnitt gesprungen.</p>
Technische Notizen	Mit technischen Notizen wird analog zu den GRS-A-Berichten verfahren.
GRS-Intranet, Kompetenzseiten	<p>Die GRS-Kompetenzseiten werden innerhalb des Störfallhandbuches über Hyperlinks aufgerufen.</p> <p>Einzelne Abschnitte werden in den Fällen direkt in die Seiten des SfH kopiert und ggf. angepasst, wo es der besse-</p>

Datenquelle	Art der Implementierung
	<p>ren Strukturierung und Verständlichkeit dient.</p> <p>Um die Konsistenz der Inhalte zwischen dem Störfallhandbuch und den verlinkten Intranet- und Kompetenzseiten, welche sich über die Zeit verändern können, zu erhalten werden die Inhalte regelmäßig auf ihre Stimmigkeit überprüft.</p>
<p>Programmbeschreibungen und Benutzeranleitungen</p>	<p>Die Programm- und Benutzerbeschreibungen in Form von PDF-Dokumenten sind nach ihrer Fertigstellung für eine Programmversion weitestgehend statisch.</p> <p>Versionen, die innerhalb des GRS-Intranets über Passwort-schutz nur für einen beschränkten Nutzerkreis zugänglich sind, erhalten im SfH ebenfalls eine entsprechende Berücksichtigung. Dies hat allerdings zur Folge, dass in der Off-line-Version des SfH diese Daten nicht zur Verfügung stehen.</p> <p>Je nach Verweis kann die Startseite des Dokumentes aufgerufen oder direkt zu einem Unterabschnitt gesprungen werden.</p>
<p>Regelwerk</p>	<p>Die Regelwerksdokumente sind quasi statische Dokumente, die nur im Zuge von Revisionen ersetzt werden. Die Regelwerksdokumente werden deshalb aufgrund ihrer Bedeutung in einem Ordner innerhalb des Störfallhandbuches abgelegt und bei Bedarf aktualisiert. Die Dokumente liegen meist im PDF-Format vor. Innerhalb des SfH können die Titelseite bzw. relevante Unterkapitel zur Darstellung direkt über Hyperlinks erreicht werden.</p>
<p>GRS-interne Datenbanken</p>	<p>TECDO</p> <p>TECDO ist eine auf Oracle basierende Datenbank mit einer Funktionalität zur Vergabe individueller Zugriffsrechte.</p> <p>In der Datenbank ist eine Vielzahl unterschiedlicher Dokumente über den technischen Aufbau und den Betrieb von deutschen und ausländischen KKW abgelegt. Die meisten der Dokumente unterliegen Zugangsbeschränkungen.</p> <p>Aufgrund ihrer technischen Realisierung konnte eine direkte Einbindung der Datenbank im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden, da hierzu umfangreiche Programmierarbeiten notwendig gewesen wären.</p> <p>Unabhängig hiervon ist es technisch möglich (bei hohem Aufwand), aus dem SfH über Hyperlinks vorgefertigte Suchabfragen innerhalb der Datenbank aufzurufen.</p> <p>Repository für Simulationseingabedaten</p> <p>Die Eingabedatensätze für ATHLET-Simulationen sowie weitere Simulator-spezifischen Dateien sind auf einem zentralen File-Server mit beschränkten Zugangsrechten abgelegt.</p> <p>Für den einfachen und transparenten Zugriff werden die Dateien im SfH mit einer Kurzbeschreibung versehen und können über einen Hyperlink vom Fileserver heruntergeladen werden.</p>

Datenquelle	Art der Implementierung
	<p>Da die Eingabedatensätze zugriffsbeschränkt sind, stehen diese auch nicht in der Offline-Version zur Verfügung.</p> <p>Daten und Dokumentationen von Experimenten und Rechenläufen</p> <p>Mit den Daten der Rechenläufe und der Dokumentation von Rechenläufen wird analog zu den Eingabedaten verfahren.</p>
Schulungsunterlagen	<p>Schulungsunterlagen sind weitestgehend statische Dokumente. Unterlagen, die keiner Zugangsbeschränkung unterliegen, werden in einem Ordner innerhalb des Störfallhandbuches abgelegt. Schulungsunterlagen mit beschränktem Zugriff werden entsprechend abgelegt und sind nicht Bestandteil der Offline-Version des Handbuches. Beschränkte wie auch unbeschränkte Unterlagen werden je nach Anwendungsfall im Störfallhandbuch verlinkt, so dass entweder die Startseite oder ein spezifischer Unterabschnitt dargestellt wird. Unbeschränkte Informationen werden ggf. direkt in die Seiten des Störfallhandbuches kopiert und angepasst.</p>
Dokumente der Betreiber	<p>Die Dokumente von Betreibern sind statische Dokumente, die gewöhnlich einer Zugangsbeschränkung unterliegen. Je nach Grad der Zugangsbeschränkung werden die Dokumente auf zugangsbeschränkten Netzlaufwerken der GRS abgelegt oder ein Online-Zugriff ist überhaupt nicht möglich. Diese Dokumente sind nicht Bestandteil der Offlineversion. In der Onlineversion des Störfallhandbuches können die Dokumente auf den Netzlaufwerken mit Zugangsbeschränkungen verlinkt werden. Dabei wird entweder auf die Startseite oder den jeweils relevanten Abschnitt verlinkt.</p>
Internationale Dokumente	<p>Internationale Dokumente werden insoweit einbezogen, wie ein Zugriff über das World Wide Web (WWW) möglich ist. Da diese im WWW frei verfügbar sind, werden sie auch im SfH keinen Zugangsbeschränkungen unterworfen. Innerhalb des Störfallhandbuches wird jeweils auf die Startseite des relevanten Dokumentes im WWW verlinkt. In regelmäßigen Abständen muss deshalb geprüft werden, ob die Hyperlinks noch aktuell sind. In der Offline-Version sind diese Dokumente nur zugänglich, wenn eine Verbindung zum WWW besteht.</p>

Anmerkung zur Offline-Version des SfH

Entsprechend den Anforderungen, die an das SfH gestellt wurden (siehe Abschnitt 4.1), wird in gewissen Abständen eine Offline-Version des SfH erstellt. Hiermit sollen Informationen und Daten auch dann zur Verfügung stehen, wenn kein Anschluss an das GRS-Netzwerk besteht. Den Ausführungen von Tab. 4-3 ist zu entnehmen, dass ggf. einige Dokumente zur Einhaltung der Zugriffsbeschränkung in der Offlinever-

sion nicht verfügbar sein werden und damit einige Hyperlinks nicht mehr mit Dokumenten verknüpft sind. Für die Erstellung der Offline-Version werden deshalb diese Links bzw. deren Funktionalität entfernt.

4.4 Erstellung der Struktur des Störfallhandbuchs

Unter Berücksichtigung der in AP 1.1 – 1.3 erzielten Erkenntnisse wurde das SfH entwickelt. Dies betrifft u. a. die Festlegung der Struktur mit der Gliederung des Inhalts, der Funktionalität und der Bedienoberfläche. In diesem Zusammenhang wurde auch das zu Grunde liegende elektronische Dateiablagensystem definiert.

Inhaltliche Gliederung

Auf der Basis der durchgeführten exemplarischen Bestandsaufnahme relevanter Inhalte wurde eine Gliederung für das Handbuch abgeleitet (siehe Abb. 4-1). Neben der Unterteilung in Aufgaben und Quellen, erfolgt eine grundsätzliche Einteilung in die Themengebiete

- „Erstellen einer Störfallanalyse“ – beinhaltet eine Beschreibung sämtlicher Arbeitsschritte, die für die Durchführung von Störfallanalysen bedeutsam sind. Zahlreiche Beispiele sollen dabei die Verständlichkeit erhöhen.
- „Erstellen von Datenbasen“ – darin werden Informationen zur Entwicklungsumgebung für die Erstellung von Eingabedatensätzen und Simulatoren sowie Anleitungen für Entwickler anhand von Beispielen bereitgestellt.
- „Bewertung einer Störfallanalyse“ – umfasst Hintergründe und Anleitungen für die Bewertung von Störfallanalysen. Ferner werden die Begriffe Schutzzielkonzept und das gestaffelte Sicherheitskonzept anhand beispielhafter Analysen erläutert.
- „Durchgeführte Störfallanalysen“ – beinhaltet aufgearbeitete Erkenntnisse von durchgeführten Störfallanalysen in Kurzzusammenfassungen und enthält weiterführende Dokumentationen.
- „Regelwerksgrundlagen“ – umfasst sämtliche Auszüge aus dem kerntechnischen Regelwerk, die für Störfallanalysen von Bedeutung sind. Hierbei wird sowohl auf das bestehende Regelwerk als auch auf die Sicherheitskriterien für KKW eingegangen.

- Validierung ATHLET – Erkenntnisse und Erfahrungswerte aus der Entwicklung und Validierungsphase werden in diesem Abschnitt (für den Systemcode ATHLET) dargestellt.

Bedienoberfläche

Die Bedienoberfläche des SfH teilt sich grundsätzlich in drei Bereiche auf (siehe auch Abb. 4-1) „Inhaltsverzeichnis“, „Kommandoleiste“ und „Darstellung der Inhalte“.

Über das Inhaltsverzeichnis auf der linken Seite können mittels Hyperlinks die Haupt- und Unterpunkte des Störfallhandbuches aufgerufen werden. Die Inhalte werden dann im rechten Abschnitt der Bildschirmdarstellung angezeigt. Bei längeren Seiten befindet sich dort im oberen Teil meist eine weitere Inhaltsangabe der vorliegenden HTML-Seite. Zur Gliederung der Inhalte auf diesen Seiten wurden verschiedene Überschriftsebenen eingeführt, wobei die oberste Überschriftsebene jeweils durch den Inhaltsverzeichniseintrag am Anfang der Seite direkt angesprungen werden kann. Weiter wurden zur Erleichterung der Navigation unter jeden Abschnitt Sprungpunkte eingefügt, die es erlauben direkt wieder zum Anfang der Seite (mit dem Inhaltsverzeichnis) zu springen. Diese Struktur gewährleistet, dass in 2 bis 3 Schritten für gewöhnlich die gesuchten Informationen erreicht werden können.

Mit den Kommandobuttons (als Sekundärnavigation) in der am oberen Rand befindlichen Kommandoleiste werden übergeordnete Funktionen

aufgerufen. Diese sollen dem Benutzer eine schnelle Rückkehr auf die Startseite des Handbuches, eine Suchmöglichkeit, einen Überblick über den aktuellen Entwicklungs-

Inhaltsverzeichnis	
Aufgaben	
■ Erstellen einer Störfallanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Schnelleinstieg - Einführungsbeispiel - Simulationsumgebung
■ Simulatoren und Eingabedatensätze	<ul style="list-style-type: none"> - KWB B - KBR - KKG - GKN 1 - GKN 2 - KKP 2 - KKU 2
	<ul style="list-style-type: none"> - Rechnung - Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen - Analyseauswertung - Diskussion Standardanalysen
■ Erstellen von Datenbanken	<ul style="list-style-type: none"> - Modifikation - Neuerstellung - Entwicklungswerkzeuge - Hinweise aus der Praxis
■ Bewertung einer Störfallanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Diskussion Schutzziele - Wirksamkeit Sicherheitssysteme
Quellen	
■ Durchgeführte Störfallanalysen	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheitsebene 2 - Sicherheitsebene 3 - Sicherheitsebene 4
■ Regelwerksgrundlagen	<ul style="list-style-type: none"> - SE 2 - SE 3 - SE 4a
■ Validierung ATHLET	<ul style="list-style-type: none"> - Validierungsmatrizen - Erfahrungen

Abb. 4-1 Inhaltsverzeichnis des SfH

und Wissensstand des SfH, eine Sammlung von Begriffen mit Erklärungen sowie eine Hilfe zur Nutzung des SfH zur Verfügung stellen. Diese Seiten werden im gleichen Bereich dargestellt wie die Inhalte des Störfallhandbuches.

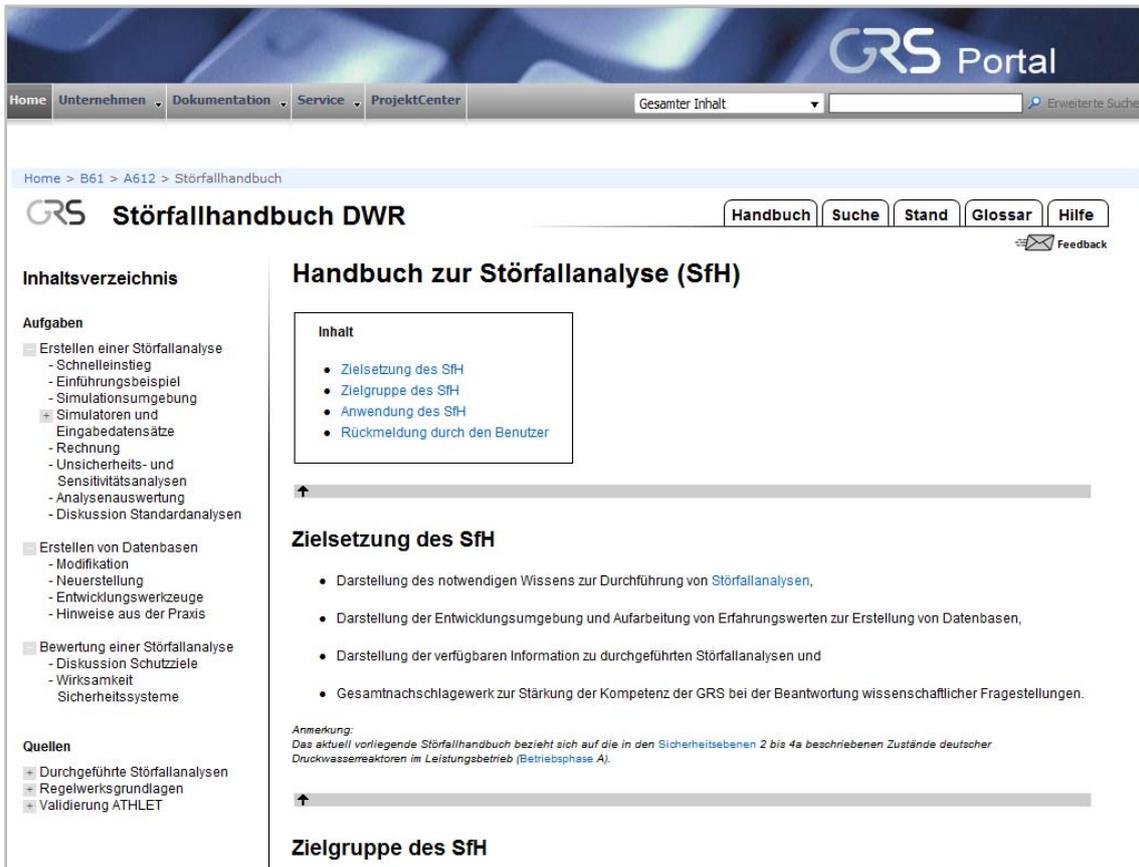


Abb. 4-2 Einstiegsseite des SfH (über das GRS Portal)

In der Onlineversion des SfH wird zusätzlich die Navigationsleiste des GRS- Informationsportals noch über der Kommandoleiste dargestellt. Für das Störfallhandbuch kann somit die Suchfunktion des Portals für das Störfallhandbuch genutzt werden. Im Umkehrschluss bedeutet dies auch, dass jede Suche im Portal – unabhängig davon, ob das SfH geöffnet wurde – die Inhalte des SfH berücksichtigt. Dies ist möglich, da das SfH in das GRS-Informationsportal vollständig integriert wurde, um einen möglichst hohen Nutzen als Wissenssammlung zu erreichen.

Funktionalität

Die Funktionalität des Störfallhandbuches ergibt sich zunächst aus den technischen Möglichkeiten der eingesetzten Entwicklungssprache HTML. Das Störfallhandbuch ist eine weitestgehend hierarchische Anordnung von HTML-Seiten, die über Hyperlinks

aufgerufen werden können. Zudem bestehen Querverlinkungen zwischen einzelnen Seiten des Störfallhandbuches. Über Hyperlinks werden auch externe Dokumente in verschiedenen Formaten (Adobe PDF, MS PowerPoint, MS Word, etc.) aufgerufen. Bei PDF-Dokumenten kann über die Verlinkung gesteuert werden, welche(r) Seite/Abschnitt des Dokuments schließlich beim Aufruf dargestellt wird.

Die übergeordnete Navigation wird durch ein Inhaltsverzeichnis bestehend aus Hyperlinks gewährleistet (siehe Abb. 4-1). Zur besseren Übersichtlichkeit lassen sich Unterpunkte in der Gliederung ein- und ausblenden. Dies wurde über ein Java-Skript realisiert.

Bei jeder Handbuchseite gibt es für den SfH-Nutzer die sehr einfache Möglichkeit über den „Feedback“ – Button Rückmeldung an die Entwickler zur einer spezifischen Handbuchseite zu geben. Bei der Implementierung der Feedback-Funktion wurde der Nutzer soweit wie möglich entlastet, indem bei Anwahl der Feedback-Icons eine E-Mail erzeugt wird, die bereits den Namen der Seite zu der Feedback gegeben werden soll, sowie den Adressaten enthält. Somit muss nur noch der eigentliche Feedback-Text vom Nutzer eingegeben werden.

Die Suche in der Online-Version kann über den Browser auf zwei Wege erfolgen: Einerseits kann durch die Einbindung in das GRS-Informationsportal dessen Indizierungsfunktion und die damit verbundene Suchfunktion verwendet werden. Andererseits kann über den Kommandobutton „Suche“ im SfH eine durch ein kommerzielles Indizierungsprogramm unterstützte Suche durchgeführt werden. Letztere wurde implementiert um eine Suchfunktion auch im Offline-Betrieb zu realisieren. Die folgende Abb. 4-3 zeigt exemplarisch die Anwendung dieser Offline-Suche mit der Aufbereitung des Suchergebnisses.

GRS Störfallhandbuch DWR Handbuch Suche Stand Glossar Hilfe Feedback

Inhaltsverzeichnis

Aufgaben

- Erstellen einer Störfallanalyse
 - Schnelleinstieg
 - Einführungsbeispiel
 - Simulationsumgebung
 - Simulatoren und Eingabedatensätze
 - Rechnung
 - Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen
 - Analyseauswertung
 - Diskussion Standardanalysen
- Erstellen von Datenbasen
 - Modifikation
 - Neuerstellung
 - Entwicklungswerkzeuge
 - Hinweise aus der Praxis
- Bewertung einer Störfallanalyse
 - Diskussion Schutzziele
 - Wirksamkeit
 - Sicherheitssysteme

Quellen

- Durchgeführte Störfallanalysen
 - Sicherheitsebene 2
 - Sicherheitsebene 3
 - Sicherheitsebene 4
- Regelwerksgrundlagen
 - SE 2
 - SE 3
 - SE 4a

Suchfunktionen im SFH

Es gibt mehrere Möglichkeiten Informationen im SFH zu suchen:

- Online-Suche: Als Teil des GRS-Portals ist es empfehlenswert die Suchfunktion (mit den entsprechenden Einstellmöglichkeiten) des Portals zu nutzen. Hierbei werden nicht nur Suchergebnisse des Handbuchs selbst, sondern auch Informationen aus anderen Datenbeständen angezeigt.
- Lokale Suche: Befindet sich das Handbuch auf Ihrem Rechner, gibt es die Möglichkeit die standardmäßige Windows-Suche zu nutzen
- Offline-Suche: Im Folgenden wird eine weitere Suchmöglichkeit implementiert, die dann genutzt werden sollte, wenn eine Online-Suche nicht möglich ist (z.B. bei Nichtverfügbarkeit des Portals).

Offline-Suche

Geben Sie Bitte ein oder mehrere Schlagwörter ein um die Suchmaschine zu verwenden. Beachten Sie dabei, dass die Freizeichen "*" und "?" unterstützt werden.

Ausfall SPW Results per page: 10

Match: any search words all search words

Search results for: Ausfall SPW

46 results found containing all search terms. 113 results found containing some search terms.

16 pages of results.

1. [Microsoft PowerPoint - 2010-11-02_Ausfall_SPW-System_SFH.pptx](#)
DWR (Vor-Konvoi) – Anlagensimulator **Ausfall** Speisewassersystem Dr. K. Kotthoff, A. Kerner GRS 02.11.2010 Inhalt 1) Einführung Sekundärseite – Speisewassersystem 2) **Ausfall** einer Hauptspeisewasserpumpe 3) **Ausfall** einer Hauptspeisewasserpumpe und der Reservepumpe 4) **Ausfall** aller Hauptspeisewasserpumpen 5) **Ausfall** aller Hauptspeisewasserpumpen und der An- und Abfahrpumpen 6) **Ausfall** der gesamten Speisewasserversorgung (= **Ausfall** aller Hauptspeisewasserpumpen, der An- und Abfahrpumpen und der Notspeisepumpen) DWR (Vor-Konvoi) - Anlagensimulator 02.11.2010 2 1) Einführung: Sekundärseite – Speisewassersystem Thermodynamische Zustände (1) DWR (Vor-Konvoi) - Anlagensimulator 02.11.2010 3 1) Einführung: Sekundärseite – Speisewassersystem Thermodynamische Zustände (2) – T-s

Abb. 4-3 Offline-Suchfunktion im SfH

Dateiablagestruktur

Die Dateiablagestruktur orientiert sich weitestgehend an der Struktur des Inhaltsverzeichnisses. So wurden Ordner für die Gliederungspunkte Erstellen einer Störfallanalyse („erstellen“), Erstellen von Datenbasen („datenbasen“), Bewertung einer Störfallanalyse („bewertung“), Durchgeführte Störfallanalysen („analysen“), Regelwerk („regelwerk“) und ATHLET-Validierung („validierung“) zur Datenablage erstellt. Zur Gewährleistung der funktionellen Anforderungen wurden weitere Ordner für die Startseite und Inhaltsverzeichnis („startseiten“), für die Suchfunktion („suche“), den Entwicklungsstand („stand“), das Glossar („glossar“) und die Nutzerhilfe („hilfe“) angelegt.

Mit der sukzessiven Erweiterung des Umfangs des SfH um Unterlagen zu Simulatordaten wurde ein weiterer, paralleler Bereich „Simulatoren“ eingerichtet. Dieser hat zum Ziel, die Ergebnisse und den Stand von Entwicklungen der Simulatoren auch im Rahmen des SfH zugänglich zu machen.

Ein dritter Bereich der Dokumentenablage beinhaltet die Dokumente mit Zugriffbeschränkungen. Diese werden außerhalb der Dateistruktur des SfH auf zugangsbeschränkten Netzlaufwerken abgelegt

Aus dieser Aufteilung ergibt sich die in Abb. 4-4 gezeigte Übersicht über die entwickelte Struktur zur Verwaltung und Darstellung der Inhalte des SfH:

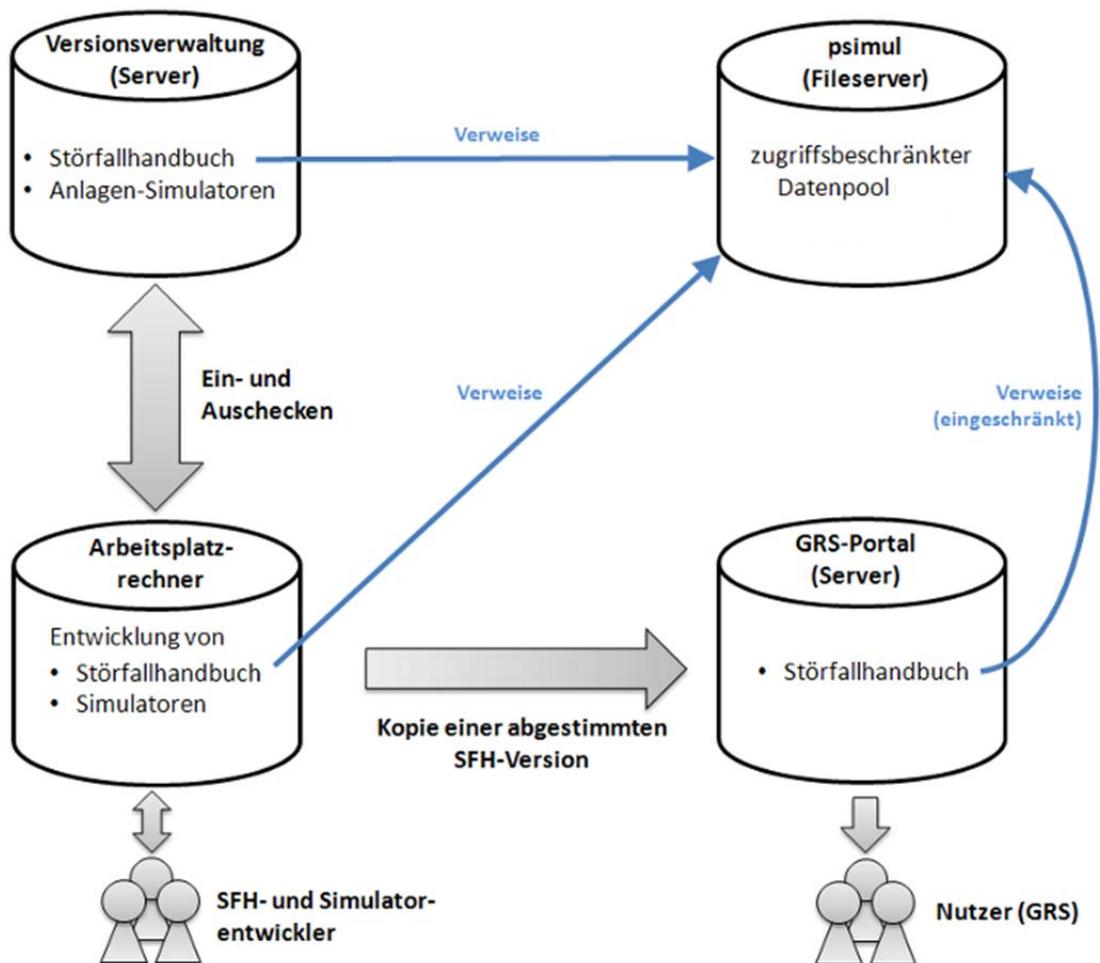


Abb. 4-4 Übersicht der Datenstruktur des SfH

Für die Verwaltung und Darstellung der SfH-Daten werden demnach drei Server eingesetzt. Auf einem Server befindet sich die Versionsverwaltung. Dort sind alle Versionen des SfH und der Störfallsimulatoren rückverfolgbar abgelegt. Von dort wird zur Bearbeitung die jeweils aktuelle Dateiversion ausgecheckt, lokal bearbeitet und nach der Bearbeitung wieder zurückgeschrieben (eingescheckt). Auf einem Fileserver (Name: PSIMUL) sind alle Daten abgelegt, die einer Zugriffsbeschränkung unterliegen. Die Zugriffsrechte werden entsprechend der Berechtigungen der Nutzer zum Lesen bzw. Schreiben von Daten eingestellt. Diese Dateien sind im SfH verlinkt und somit (innerhalb der GRS) von allen Versionen (SVN-Version, lokale Bearbeitungsversion, Version auf dem GRS-Informationsportal) des Störfallhandbuches erreichbar, falls eine Zugriffsberechtigung besteht. Der dritte Server beinhaltet das GRS-Informationsportal. Dort wird in regelmäßigen Abständen die aktuelle Version des SfH innerhalb der GRS

bereitgestellt. Der Zugriff im Portal auf das SfH ist ebenfalls nutzerspezifisch einschränkbar.

Insgesamt ermöglicht die umgesetzte Lösung

- eine differenzierte Bereitstellung von Inhalten in Abhängigkeit von Zugriffsrechten,
- einen schnellen Zugriff auf die Inhalte auch bei Nichtverfügbarkeit eines Netzwerkzuganges,
- eine vollständige Implementierung in die bestehende IT-Infrastruktur der GRS (dem GRS-Informationsportal und projekt- / themenbezogenen Netzlaufwerken) und
- den Einsatz aktueller und standardisierter Techniken auch für die künftige Entwicklung/Nutzung durch den Anwenderkreis.

Entwicklungsumgebung

Im Grundsatz können HTML-Seiten ohne den Einsatz unterstützender Software entwickelt werden, da die HTML-Dateien im ASCII-Code vorliegen und die HTML-Sprache eine einfache Befehlsstruktur aufweist. Diese Eigenschaft kann besonders dann genutzt werden, wenn beispielsweise kleine Änderungen direkt und unabhängig von der zur Verfügung stehenden Software durchgeführt werden sollen.

Für die Entwicklung des SfH wurde der Weg über die direkte Eingabe von HTML-Befehlen gegenüber dem Einsatz unterstützender Software, die automatisch aus einer objektorientierten Erstellung einer HTML-Seite den Source-Code erzeugt, bevorzugt. Dies hat den Vorteil nicht an standardisierte Layoutfunktionen gebunden zu sein und v. a. auch in der späteren Entwicklungsphase noch handhabbare und verständliche HTML-Dateien vorzufinden (häufig erzeugen Übersetzungsprogramme eine Fülle an zusätzlichen Codephrasen, die bei umfassenden oder häufig überarbeiteten HTML-Dateien eine Nachvollziehbarkeit praktisch ausschließen).

Eine einheitliche Entwicklungsbasis wurde für die Erstellung der HTML-Seiten des SfH geschaffen, die v.a. das Ziel hatte, eine parallele Bearbeitung durch mehrere Benutzer zu unterstützen. Diese besteht aus einem Texteditor mit HTML-Unterstützung sowie einer integrierter Anbindung zu einem Versionskontrollsystem. Die Entwicklung des

SfH erfolgt somit innerhalb eines Projektarchivs „Störfallhandbuch“, welches die unterschiedlichen Versionen bzw. Änderungen der einzelnen Mitarbeiter verwaltet.

Für das Einpflegen von Inhalten in das SfH erfolgt eine Unterstützung auf unterschiedliche Weise:

- Für wiederkehrende Dateneingaben (z. B. Erfassung von Kurzinformationen von Störfallanalysen) wurden ein einheitliches Aussehen und Konzept (basierend auf einheitliche Kriterien) definiert. Hierzu wurde ein Basisdokument geschaffen, das in der folgenden Bearbeitung nur noch mit entsprechenden Inhalten zu ergänzen ist.
- Bei individuellen Themenaufbereitungen sind Vorlagen meist wenig hilfreich. Hierzu wurden grundsätzliche Hilfestellungen und Anleitungen (siehe auch Abschnitt 6) definiert und mit Beispielen versehen.

5 Fachliche Arbeiten am Störfallhandbuch

Die Aufarbeitung der Inhalte im Rahmen des SfH folgte im Grundsatz dem analytischen Vorgehen bei der Durchführung von Störfallanalysen bzw. bei der Anwendung von Erkenntnissen aus Störfallanalysen für gutachterliche Fachberatungen.

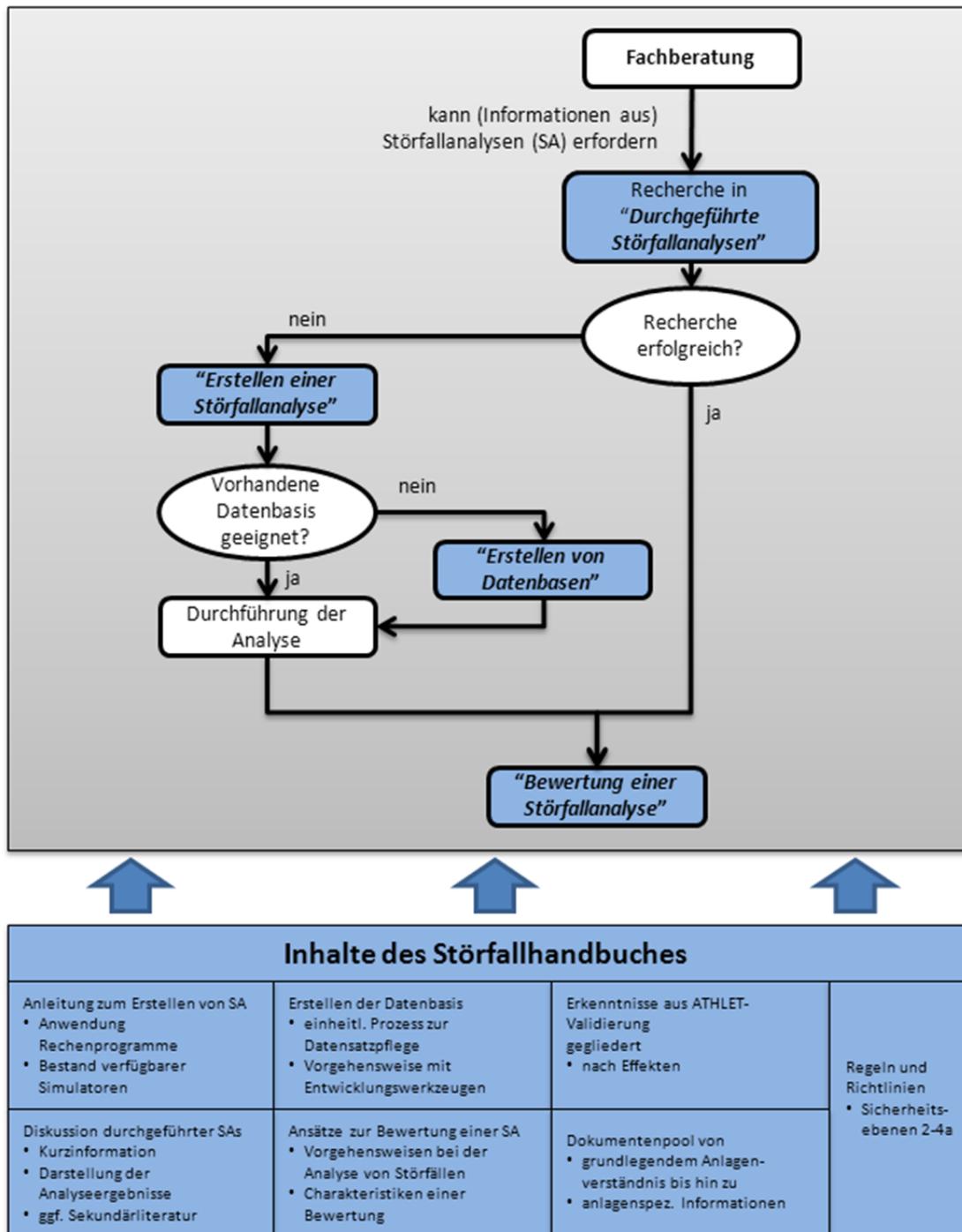


Abb. 5-1 Inhalte des SfH im Überblick

Abb. 5-1 zeigt im Überblick die vom SfH angesprochenen Anwendungsbereiche inkl. Inhalte und gibt einen Leitfaden für den Umgang mit dem SfH. Die im Flussdiagramm (oberer Teil der Abb. 5-1) blau markierten Themenfelder entsprechen dabei den Hauptgliederungspunkten des SfH (siehe auch Abschnitt 4.4). Die Felder zu den „Inhalten des Störfallhandbuches“ geben einen Überblick mit welchen Beiträgen die entsprechenden Themenfelder inhaltlich untermauert werden.

5.1 Identifikation relevanter Unterlagen

Die Identifikation relevanter Unterlagen umfasst die systematische Fortführung der bereits in Abschnitt 4.2 dargestellten exemplarischen Bestandsaufnahme. Dabei wurde zunächst eine Sammlung verfügbarer Unterlagen zu den unterschiedlichen Dokumentenarten bzw. Datenquellen durchgeführt. Anschließend folgte eine Bewertung, ob diese zu einem inhaltlichen Mehrwert am SfH führen. Die für relevant erachteten Unterlagen wurden in tabellarischer Form, gegliedert nach den grundsätzlichen Themengebieten, mit dem Status der Einarbeitung dieser Unterlagen oder einem weiteren Kommentar fortlaufend im SfH unter dem Menüpunkt „Stand“ bereitgestellt. Die folgende Tab. 5-1 und Tab. 5-2 zeigen exemplarisch die Darstellung identifizierter Unterlagen und den Stand über die Einbindung derer Inhalte in das SfH.

Tab. 5-1 Auszug der SfH-Statustabelle bzgl. der Aufnahme von Informationen aus GRS-Berichten zu den GRS-Störfallsimulatoren

Nr.	Titel	Stand	
GRS-A-3109	Fachberatung zu Störfall- und Transientenanalyse	eingepflegt	✓
GRS-A-3070	Störfallsimulator Philippsburg 2	eingepflegt	✓
GRS-A-3069	Störfallsimulator Philippsburg 2	eingepflegt	✓
GRS-A-3066	Leittechnikmodule für Reaktorschutz, RELEB, KMT-Regelung, D-BARE, Steuerstabansteuerung und Stromversorgung für das KKW Philippsburg 2 (KKP 2)	eingepflegt	✓
GRS-A-3065	Leittechnikmodule der Regelung und Begrenzung des Druckes, der Masse und der Borkonzentration des Kühlmittels im Primärkreis für das KKW Philippsburg 2 (KKP 2)	eingepflegt	✓
GRS-A-3064	Leittechnikmodule des Frischdampfsystems für das KKW Philippsburg 2 (KKP 2)	eingepflegt	✓
GRS-A-3059	Leittechnikmodule des Kondensat- und Speisewassersystems für das KKW Philippsburg 2	eingepflegt	✓
GRS-A-3052	Leittechnikmodule des Not- und Nachkühlsystems für das	eingepflegt	✓

Nr.	Titel	Stand	
	KKW Philippsburg 2, Leckrechnung		
GRS-A-2833	Leittechnikmodule für das Frischdampfsystem im KKW Unterweser	eingepflegt	✓
GRS-A-2831	Störfallsimulator Unterweser - Bedienungsanleitung	eingepflegt	✓
GRS-A-2827	Leittechnikmodule der Regelung und Begrenzung des Druckes, der Masse und der Borkonzentration des Kühlmittels im Primärkreis für das KKW Unterweser (KKU)	eingepflegt	✓
GRS-A-2807	Leittechnik für Reaktorschutz RELEB, KMT-Regelung, Steuerstabansteuerung, Bor-Deionateinspeisung	eingepflegt	✓
GRS-A-2803	Leittechnikmodule des Kondensat- und Speisewassersystems für das KKW Unterweser	eingepflegt	✓
GRS-A-2802	Störfallsimulator Unterweser	eingepflegt	✓
GRS-A-2801	Not- und Nachkühlsystem für KKW Unterweser	eingepflegt	✓
GRS-A-2765	Genehmigungs- und aufsichtsspezifische Fachberatung zu Störfall- und Transientenanalyse	eingepflegt	✓
GRS-A-2576	Leittechnikmodule des Frischdampfsystems für das KKW Neckar II (GKN-II)	eingepflegt	✓
GRS-A-2542	Leittechnikmodule des Reaktorschutz-, Reaktorleistungsbegrenzungssystems und der elektronischen Stromversorgung für das KKW Neckar II (GKN-II)	eingepflegt	✓
GRS-A-2541	Qualifikation der Datenbasis für das KKW Neckar (GKN-2) mit dem Programmsystem ATLAS	eingepflegt	✓
GRS-A-2531	Genehmigungs- und aufsichtsspezifische Fachberatung zu Störfall- und Transientenanalysen - Abschlussbericht, Phase I, SR 2259	eingepflegt	✓
GRS-A-2520	Datenbasis für das KKW Neckarwestheim (GKN-2) - Bedienungsanleitung für den anlagenspezifischen Störfallsimulator	eingepflegt	✓

Tab. 5-2 Auszug der Statustabelle im SfH bzgl. der Aufnahme von Informationen aus GRS-Berichten zu durchgeführten Störfallanalysen

Nr.	Titel	Stand	
GRS-A-3526	Sicherstellung der Kernnotkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen unter Berücksichtigung des Eintrags von Isoliermaterial in den Sicherheitsbehältersumpf	eingepflegt	✓
GRS-A-3443	Methodenentwicklung und exemplarische Anwendung zur Bestimmung der Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen	eingepflegt	✓

Nr.	Titel	Stand	
GRS-A-3436	Unsicherheitsanalyse zum großen Bruch der kaltseitigen Hauptkühlmitteleitung nach Leistungserhöhung	eingepflegt	✓
GRS-A-3367	Unterstützung der Bundesaufsicht bei thermohydraulischen Fragestellungen	eingepflegt	✓
GRS-A-3346	Erfassung und Aufbereitung von Basisdaten deutscher Kernkraftwerke zur kurzfristigen Unterstützung der Bundesaufsicht bei der Bewertung von Störfallereignissen anhand von Störfallanalysen	eingepflegt	✓
GRS-A-3280	Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen zum Kühlkreislauf und Sicherheitsbehälter	eingepflegt	✓
GRS-A-3279	Aussagesicherheit von ATHLET-Rechenprogrammergebnissen für eine deutsche Referenz-DWR-Anlage mit 200%-Bruch im kalten Strang	eingepflegt	✓
GRS-A-3198	Quantifizierung von Modellunsicherheiten der PSA	nicht einzupflegen (SWR)	✗
GRS-A-3154	Thermohydraulische Analysen im Rahmen der Bundesaufsicht, Abschlussbericht zu SR2433	eingepflegt	✓
GRS-A-3135	Thermohydraulische Analyse im Rahmen der Bundesaufsicht, Zwischenbericht zu SR2433	nicht einzupflegen (in GRS-A-3154 enthalten)	✗
GRS-A-3068	Thermohydraulische Untersuchungen zur Deborierung, Leckrechnungen	eingepflegt	✓
GRS-A-3052	Leittechnikmodule des Not- und Nachkühlsystems für das KKW Philippsburg 2, Leckrechnung	eingepflegt	✓
GRS-A-2972	Verbesserung und Absicherung der analytischen Methoden zur Analyse von Deborierungsereignissen	von geringerer Relevanz oder bereits durch andere Berichte abgedeckt	
GRS-A-2971	Bewertungsgrundlage zum Verhalten von Isoliermaterial nach KMV-Störfällen	von geringerer Relevanz oder bereits durch andere Berichte abgedeckt	
GRS-A-2963	Einfluss von Modellparametern auf die Aussagesicherheit des Thermohydraulik-Rechenprogramms ATHLET	eingepflegt	✓
GRS-A-2911	Zusammenstellung von Methoden zur Quantifizierung von Parameter- und Modellunsicherheit unter Verwendung von Informationen aus Experimenten oder indirekter Experteneinschätzung	eingepflegt	✓
GRS-A-2639	Thermohydraulische Analysen mit ATHLET als Beitrag zur Validierung der Störfallprozedur	nicht einzupflegen: WWER-1000/W-320	✗
GRS-A-2588	Untersuchungen der Sicherheitsreserven von Kernkraftwerken bei auslegungsüberschreitenden Ereignisabläu-	von geringerer Relevanz oder bereits	

Nr.	Titel	Stand	
	fen	durch andere Berichte abgedeckt	
GRS-A-2560	Comparative Assessment of the Effectiveness of Safety Injection Systems of EPR and KONVOI Plants	keine Detailinfos zu Störfallanalysen	✘
GRS-A-2559	Vergleich der Wirksamkeit der Sicherheitseinspeisesysteme des EPR und der Konvoi-Anlage	keine Detailinfos zu Störfallanalysen	✘
GRS-A-2541	Qualifikation der Datenbasis für das KKW Neckar (GKN-2) mit dem Programmsystem ATLAS	eingepflegt	✔
GRS-A-2522	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen von Thermohydraulik-Rechenprogrammergebnissen	eingepflegt	✔

Die „Stand“-Seite des SfH verfolgte während des Projektablaufs das grundsätzliche Ziel, sowohl Entwickler als auch Benutzer einen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand des Störfallhandbuches zu geben. Aus diesem Grund wurde nicht nur der aktuelle Stand der identifizierten und einzupflegenden Inhalte aufgezeigt, sondern auch fortlaufend weitere Listen geführt, die den Entwicklungsstand des gesamten SfH dokumentierte. Hierzu wurden Aufgabenlisten (zu Merkposten) für übergeordnete Aspekte zum Inhalt und zur technischen Umsetzung geführt und der Bearbeitungsstand einzelner HTML-Seiten dokumentiert. So konnte erreicht werden, dass

- die Entwickler gegenseitig über die Arbeitsfortschritte im SfH informiert waren und mögliche Doppelarbeit vermieden wurde und
- die Nutzer während der Entwicklungsphase in Erfahrung brachten, welche inhaltlichen Themen das SfH bereits abdeckt und welche Arbeiten noch anstehen.

5.2 Einstellen von Dokumenten in das Störfallhandbuch

Gegenstand dieses Arbeitsschrittes war die Aufarbeitung und Bereitstellung der im AP 2.1 identifizierten Unterlagen. Ziel war es nicht nur eine reine Ansammlung von Dokumenten zu erzeugen, sondern eine nachvollziehbare und verständliche Darstellung der Themen durchgeführte und zu erstellende Störfallanalysen zu schaffen. Hierzu erfolgte zu einzelnen Themengebieten (wie diese aus der SfH-Gliederung ersichtlich sind, siehe hierzu Abb. 4-1) eine Aufarbeitung in Form von HTML-Seiten. Im Allgemeinen setzt sich dabei eine thematische Darstellung aus einführende Notizen, Erläuterungen, eingebetteten Bildern/Unterlagen, Verweise auf Dokumente bzw. Dokument-

auszüge und auf weiterführende Unterlagen zusammen. Im Anhang A ist hierzu exemplarisch die Aufarbeitung des Themengebietes „Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen“ dargestellt.

Bei Unterlagen, die im Grundsatz einer häufigeren Weiterentwicklung unterliegen oder auch häufiger in gedruckter Form herangezogen werden dürften, erfolgte die Erarbeitung von Inhalten in Form von Microsoft PowerPoint-Präsentationen. Diese werden nach Umwandlung in ein pdf-Dokument entweder in das SfH eingebettet und können (sofern der Browser dies unterstützt) direkt betrachtet (siehe Abb. 5-2) oder über entsprechende Verweise in einem neuen Fenster aufgerufen werden.

Die Verwendung von PowerPoint hat insbesondere bei der Dokumentation von Analysergebnissen und Anleitungen mehrere Vorteile:

- Bei der Erstellung der Dokumentation kann der Funktionsumfang von PowerPoint, insbesondere die Möglichkeiten, Notizen und Kommentare aufzunehmen und diese geeignet darzustellen, genutzt werden.
- Anhand von Folien lassen sich Zusammenhänge mit unterschiedlichen Elementen (Grafiken, Bilder, Text etc.) einfach erstellen – die Einarbeitung in eine alternative Software hierzu entfällt. Die Darstellungsform eignet sich auch für einen Ausdruck um weitere eigene Notizen anzufertigen.
- Die mittels Folien dargestellten Ergebnisse können zu Dokumentationszwecken auch relativ mühelos in Berichtsform (z. B. nach Microsoft Word) durch Nutzung entsprechender Importierungsmöglichkeiten gebracht werden.

Inhaltsverzeichnis

Aufgaben

- Erstellen einer Störfallanalyse
 - Schnelleinstieg
 - Einführungsbeispiel
 - Simulationsumgebung
 - Simulatoren und Eingabedatensätze
 - KWB B
 - KBR
 - KKG
 - GKN 1
 - GKN 2
 - KKP 2
 - KKV 2
 - Rechnung
 - Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen
 - Analyseauswertung
 - Diskussion Standardanalysen
- Erstellen von Datenbanken
 - Modifikation
 - Neuerstellung
 - Entwicklungswerkzeuge
 - Hinweise aus der Praxis
 - Bewertung einer Störfallanalyse
 - Diskussion Schutzziele
 - Wirksamkeit
 - Sicherheitssysteme

Quellen

- Durchgeführte Störfallanalysen
 - Sicherheitsebene 2
 - Sicherheitsebene 3
 - Sicherheitsebene 4
- Regelwerksgrundlagen
 - SE 2
 - SE 3
 - SE 4a
- Validierung ATHLET
 - Validierungsmatrizen
 - Erfahrungen

Einführungsbeispiel zu "Störfallanalysen"

Dieser Bereich hat zum Ziel eine Einführung in die Durchführung von Störfallanalysen zu geben. In erster Linie steht hierbei das "Vertrautmachen" mit der Simulationsumgebung ATHLET/ATLAS im Vordergrund. In dem unten dargestellten Einführungsfoliensatz werden die folgenden Schwerpunkte behandelt:

1. Einführung in Analysesimulatoren
2. Die Simulationsumgebung ATLAS
3. Der Systemcode ATHLET
4. Eigenständige Durchführung von Simulationen an einem stark vereinfachten DWR-Modell
5. Anlagenspezifische Analysesimulatoren
6. Zusammenfassung

Folgende Unterlagen sind verfügbar:

- Der **Einführungs-Foliensatz** (pdf) (siehe auch unten)
- Simulationsdateien zur Durchführung der im Foliensatz dargestellten Analysen. Diese sind die ATHLET-Datensätze "DWR1_RESA.in" und "DWR1_SPW-aus.in" sowie die Dateien "synops.atl" und "synops_test.app", die für die Ergebnisdarstellung in ATLAS notwendig sind. Die Bedienung wird u.a. auch im folgenden Foliensatz gezeigt.

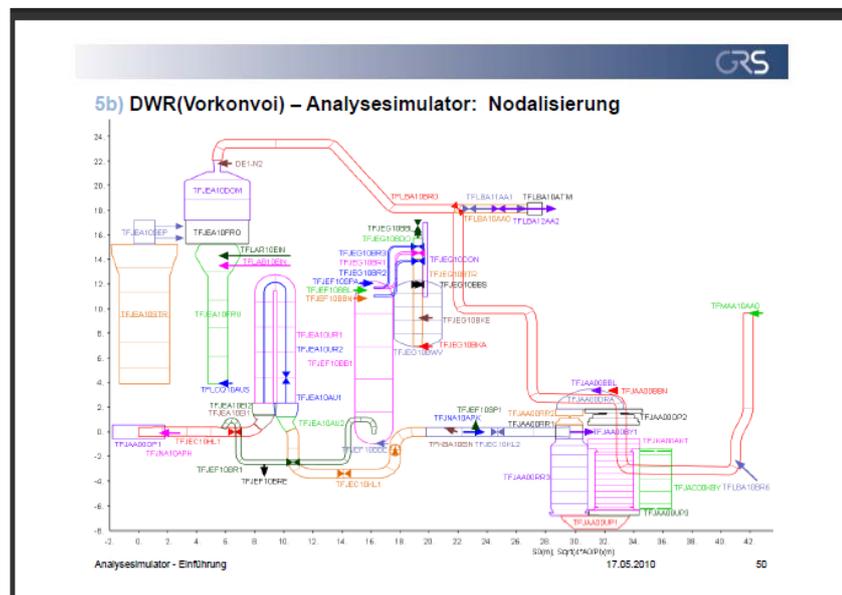


Abb. 5-2 Einführungsbeispiel zu "Störfallanalysen" anhand eingebundenem Foliensatz

Die Aufarbeitung und Diskussion der durchgeführten Analysen mittels PowerPoint-Folien folgten dabei einer einheitlichen Struktur: In einem ersten Teil werden grundlegende technische Informationen bzw. Anlageninformationen, die für das Verständnis der beschriebenen Analyse von Bedeutung ist, erläutert. Im zweiten Teil sind Informationen aufgeführt, welche Eingriffe des Analytens für die Simulation des Ereignisses durchzuführen sind. Der dritte Teil umfasst eine Diskussion des Ereignisablaufs mit Erklärungen (Beispiele hierzu werden im Abschnitt 5.6 gegeben).

Zusätzlich zu den thematischen Aufarbeitungen wurden auch Anleitungen und Anwendungsbeispiele erstellt. Ein Schwerpunkt bildete die Förderung des Verständnisses im Umgang mit dem Thermohydraulik-Programm ATHLET. Um den Einstieg im Umgang

mit ATHLET und insbesondere auch mit der Handhabung von Eingabedatensätzen zur Durchführung von Analysen zu erleichtern, wurden zunächst die Grundlagen von ATHLET in Form von themenspezifischen Foliensätzen vorgestellt. Anschließend sind Übungsbeispiele aufgeführt, die die Handhabung mit Anlagendatensätzen trainieren sollen. Entsprechende Hilfestellungen und Lösungen werden zur Selbstkontrolle ebenfalls angegeben. Der Anhang B zeigt die Umsetzung der Einführung im Umgang mit ATHLET für das SfH.

Ferner wurden weitere Informationen und Anleitungen für die Anwendung der Entwicklungswerkzeuge zur Generierung von Eingabedatensätzen aufbereitet und in das SfH eingepflegt. Insbesondere erfolgte dies für das Werkzeug G2, mit dessen Unterstützung sämtliche leittechnischen Systeme nachgebildet werden können. Bei der Erstellung eines Datensatzes werden zunächst weitestgehend abgeschlossene Systeme innerhalb G2 einzeln (auf objektorientierter Basis) nachgebildet. Wie Tab. 5-3 entnommen werden kann, wurden für die Nachbildung sämtlicher Regelungssysteme Anleitungen und Erklärungen implementiert und aufbereitet. Somit liegen nun zu getroffenen Annahmen/Randbedingungen und der Vorgehensweise bei der Modellierung von Regelungs-, Begrenzungs- und Schutzsysteme ausgehend von entsprechenden Anlageninformationen Erläuterungen (in Form von Foliensätzen) vor, die das Verständnis der nachgebildeten Systeme und dessen Zusammenwirken fördern.

Tab. 5-3 Dokumentationen/Anleitungen zur Modellierung mittels G2 im SfH

Kurztitel	Jahr	Titel des Foliensatzes	Weitere Informationen / Stichworte
BOP-Systeme	2010	Simulation of Balance of Plant Systems within the ATLAS and System Code ATHLET	Einführungsfoliensatz zu BOP-Systeme (12 Folien)
Modellierung von Systemen	2010	Overview and Modelling of Control Systems	(29 Folien): <ul style="list-style-type: none"> – Modelling of TH-systems – Content of I&C systems – Simulation depth – TH-systems with GCSM – Document needs
Modellieren in G2	2010	Modelling of Control, Limitation and Protection Systems with the	Einführung zur Modellierung mit G2 (31 Folien)

Kurztitel	Jahr	Titel des Foliensatzes	Weitere Informationen / Stichworte
		GCSM Generator	
Reaktorleistungsregelung (KMT-Regelung)	2010	Modelling of Reactor Power Control System with the GCSM Generator	(32 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - Kühlmitteltemperaturregelung - Teillastdiagramm - Bankstellungen / -geschwindigkeiten - Korrektur der "Minimaldruckregelung" (FD-MIN-SOK)
Bankstellungsregelung	2010	Modelling of Control Rods Movement with the GCSM Generator	(10 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - D-Bänke - E0-Position - L-Bank
Berechnung der Reaktivität	2010	Modelling of Reactivity with the GCSM Generator	(7 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - externe Reaktivität als Funktion der Bankstellungen
Primärdruckregelung	2010	Modelling of the Primary Pressure Control System with the GCSM Generator	(16 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - Druckhalterheizung - Druckhaltersprühen - Druckhalterentlastungs- und Sicherheitsventile - Druckhalterabblasebehälter - Begrenzung des KMD = f(KMT)
Massen-, Druck- und Temperatur - Begrenzung MADTEB	2010	Modelling of the mass, pressure and temperature limitation (MADTEB) with GCSM Generator	(15 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - BEDI-Normal - BEDI-RESA - BEDI-PUMA - BEDI-DEL-Ph.1 - BEDI-KMV - BEDI-ATWS
Dampferzeugerfüllstands-Regelung	2010	Modelling of the Pressurizer Level Control System with the GCSM Generator	(16 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - KBA-System - KBB-System
Reaktorleistungs-Begrenzungssystem	2010	Modelling of Feed Water System	(29 Folien): <ul style="list-style-type: none"> - RELEB - PERL - PERG - Speise-RELEB - KOL-RELEB - PUMA-RELEB - KMT-RELEB

Kurztitel	Jahr	Titel des Foliensatzes	Weitere Informationen / Stichworte
			<ul style="list-style-type: none"> – L-RELEB – LOOP-RELEB
Reaktorschutzsystem RPS	2010	Modelling of the Reactor Protection System with the GCSM Generator	(24 Folien): <ul style="list-style-type: none"> – (KMT-)korrigierte Reaktorleistung – gleitende Reaktorleistung – DAF
Elektrische Energieversorgung	2010	Modelling of the Electrical Power System with the GCSM Generator	(17 Folien): <ul style="list-style-type: none"> – Ab- und Zuschaltung der Stromverbraucher
Einführung Frischdampfsystem	2010	Main Steam System	(11 Folien): <ul style="list-style-type: none"> – Turbinenregelung – FD-Umleitregelung – FD-Armaturenstation
Einführung Speisewassersystem	2010	Modelling of Feed Water System	(22 Folien): <ul style="list-style-type: none"> – Systemkomponenten des Speisewassersystems – Dampfzeugerfüllstandsregelung – An- und Abfahrssystem – Wärmeschaltplan 100 %

Die Erstellung der Eingabedaten für Rohrleitungssysteme erfolgt bei komplexeren Strukturen mit dem Werkzeug „ATHLED“ (neuer Programmname: CIAO – Conversion of Isometrics to ATHLET Objects). Auch für die Anwendung dieses Programms wurde eine Anleitung erstellt, anhand dessen die möglicherweise zunächst ungewohnte Bedienoberfläche an einem konkreten Beispiel gezeigt wird. Diese Anleitung ist im Anhang C aufgeführt.

Neben einzelnen Anleitungen wurde auch ein allgemeiner Fahrplan hinsichtlich der Neuerstellung von Eingabedatensätzen für unterschiedliche Anwendungsziele aufgestellt. Diese soll v.a. die chronologische Entwicklung eines Datensatzes entsprechend seiner Bestandteile in Abhängigkeit des Detaillierungsgrades erläutern. Die Gliederung hierzu erfolgt derzeit nach folgenden Anwendungsgebieten (Anhang D enthält die für das SfH aufbereitete Übersicht):

- Grundversion eines Anlagendatensatzes – „großer Bruch“
- KMV (ohne DEHEIRO)

- Transienten (und DEHEIRO)
- Erweiterung zum Analysesimulator

Im Rahmen dieses Arbeitspunktes erfolgte auch die Einbindung ausgewählter Simulordatensätze sowie der Dateien, aus denen sie generiert wurden, in das SfH. Zur besseren Nachvollziehbarkeit von Änderungen wurden die Datensätze ebenfalls (wie der Inhalt des Störfallhandbuches) in das Versionsmanagement SVN miteinbezogen. Grundidee ist, zukünftige Änderungen an den Datensätzen ebenfalls über dieses Versionsmanagement zu dokumentieren. Vor dem Einpflegen sind Konsistenz- und Funktionsprüfungen notwendig, um die Lauffähigkeit und Aktualität zu garantieren. Die im Versionsmanagementsystem eingestellten Daten wurden im SfH beschrieben und verlinkt.

5.3 Regelwerk und Genehmigungspraxis

Der Arbeitspunkt 2.3 sieht die Einbindung von Dokumenten aus dem bestehenden Regelwerk sowie den „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ vor. Neben einer Einführung finden sich im Störfallhandbuch eine thematische Aufarbeitung der Anforderungen an Ereignisanalysen, wie Ereignisspektren, grundlegende und spezielle Anforderungen an die Analysen, zu verwendende Anfangs- und Randbedingungen sowie einzuhalten- de Nachweiskriterien. Diese Aufarbeitung ist nach den Sicherheitsebenen 2 bis 4a gegliedert. Zu den jeweiligen Ebenen sind die Regelwerksquellen aufgeführt und zu den Themen „Ereignisspektrum“ und (grundlegende und spezielle) „Anforderungen an die Nachweisführung“ sind die relevanten Auszüge aus dem bestehenden Regelwerk und den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke vergleichend gegenübergestellt.

Die SfH-Seiten stellen die Regelwerksvorgaben für die Durchführung von Ereignisanalysen des derzeit gültigen untergesetzlichen kerntechnischen Regelwerks sowie die Anforderungen der neuen „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ zusammenfassend dar. Die Aufarbeitung umfasst dabei eine vergleichende Gegenüberstellung, so dass ggf. vorhandene Änderungen gegenüber dem „alten“ Regelwerk leichter identifizieren werden können.

Nachfolgend sind beispielhaft Auszüge aus den Regelwerksseiten des Störfallhandbuchs dargestellt. Abb. 5-3 zeigt die Einstiegsseite des Regelwerksbereichs des Handbuchs. Hier wird in das derzeit gültige Regelwerk sowie in die Revision D der „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ eingeführt. Die wesentlichen Dokumente der beiden Ansätze sind verlinkt, sodass diese Dokumente ausgehend von der Einstiegsseite aufgerufen werden können. Am Ende der Seite wird auf die Sicherheitsebenen 2 bis 4a verzweigt, sodass für jede Ebene die detaillierte Darstellung der zu analysierenden Ereignisse, der einzuhaltenden Anfangs- und Randbedingungen sowie der einzuhalten- den Nachweiskriterien aufgerufen werden kann.

Informationen aus dem Regelwerk und der Genehmigungspraxis

Einleitung

Die Anforderungen an Ereignisanalysen im derzeit gültigen [Regelwerk \(Web-Link\)](#) sind im untergesetzlichen Teil an verschiedenen Stellen dokumentiert. So sind für den DWR insbesondere

- die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke des BMI,
- die Störfall-Leitlinien,
- sonstige Bekanntmachungen, Richtlinien und allgemeine Verwaltungsvorschriften des BMI (z.B. BMI-Merkpostenliste) und BMU,
- die RSK-Leitlinien DWR, Empfehlungen der RSK und SSK,
- Dokumente aus der aktuellen Genehmigungs- und Aufsichtspraxis sowie
- KTA-Regeln

heranzuziehen.

Seit 2003 arbeitet die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH federführend im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) an der **Modernisierung** des bisherigen untergesetzlichen kerntechnischen Regelwerks. In den fertig gestellten Regelwerkstexten, die derzeit in Revision D vorliegen und veröffentlicht sind und sich bereits in einer Erprobungsphase befinden, sind insbesondere die Regelungen der

- BMI-Sicherheitskriterien,
- Störfall-Leitlinien sowie
- RSK-Leitlinien für DWR

auf den neuesten Stand von Wissenschaft und Technik gebracht worden. Die diesbezüglichen Ergebnisse sind als „[Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke](#)“ modular aufgebaut. Aus diesem Vorgehen entstanden insgesamt 12 Regeltextmodule zu allen die Sicherheit von Kernkraftwerken bestimmenden Sachverhalten.

Nachfolgend werden die für Ereignisanalysen relevanten Anforderungen des derzeit gültigen untergesetzlichen Regelwerkes mit denjenigen der neuen „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ verglichen. Dabei wird zwischen den Ereignissen der Sicherheitsebenen 2 bis 4a unterschieden.

Diese Handbuchseite ist eine Einführungsseite zu Informationen aus dem Regelwerk und der Genehmigungspraxis, die im Rahmen des Themenbereichs Störfallanalysen von Bedeutung sind.

Hierzu werden folgende Dokumente herangezogen:

- Dokumente aus dem bestehenden Regelwerk (Störfalleitlinie, RSK-Leitlinie, BMI-Merkpostenliste, RSK-Stellungnahmen, KTA-Regeln)
- Auszüge aus den „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“
- Weiter Dokumente aus der aktuellen Genehmigungs- und Aufsichtspraxis

Die Informationen werden dabei in der Form aufbereitet, dass eine Verknüpfung von den Störfallanalysen ermöglicht wird.

Vergleich der Regelwerksanforderungen sortiert nach Sicherheitsebene:

- [Sicherheitsebene 2](#)
- [Sicherheitsebene 3](#)
- [Sicherheitsebene 4a](#)

Abb. 5-3 Einstiegsseite zur Darstellung der Anforderungen aus dem derzeit gültigen Regelwerk und der Anforderungen der neuen „Sicherheitskriterien für KKW“ (Revision D)

Nachfolgende Abb. 5-4 zeigt für die Sicherheitsebene 3 das Spektrum für Transientenstörfälle, wie es sich aus den Dokumenten des derzeitigen Regelwerks sowie aus den Sicherheitskriterien ergeben.

Transientenstörfälle	
Regelwerk	Sicherheitskriterien für KKW
Unbeabsichtigtes Öffnen von Armaturen (z. B. Umleitventile, Entlastungsventile, Sicherheitsventile) (Merkpostenliste)	Größere Fehlfunktion im Frischdampfsystem oder in der Speisewasserversorgung, die zu einer ungeplanten Temperatur- oder Druckabsenkung im Dampferzeuger führt.(Modul 3)
-	Größere Fehlfunktion im Frischdampfsystem oder in der Speisewasserversorgung, die zu einer ungeplanten Temperatur- oder Druckerhöhung im Dampferzeuger führt.(Modul 3)
-	Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung (Modul 3)
-	Fehlfunktion in der Speisewasserversorgung, die zu einem unzulässigen Füllstandsanstieg im Dampferzeuger oder zur Überflutung der Frischdampfleitung führt (Modul 3)
Leckagen aus der Frischdampfleitung innerhalb des Sicherheitsbehälters (Störfall-LL) Frischdampfleitungsbruch im Sicherheitsbehälter(Störfall-LL)	Sekundärseitiges Leck oder sekundärseitiger Bruch innerhalb des Sicherheitsbehälters (Modul 3)
Leck in der Frischdampfleitung im Ringraum(Störfall-LL) Leck in der Speisewasserleitung im Ringraum(Störfall-LL) Leck in der Dampferzeuger-Abschlammung im Ringraum (Störfall-LL)	Leck/Bruch im Frischdampf- oder Speisewassersystem sowie anderen hochenergetischen Rohrleitungen im Ringraum und in der Armaturenkammer (Modul 3)
Frischdampfleitungsbruch zwischen Sicherheitsbehälter und Frischdampfsicherheitsarmatur (Störfall-LL)	Leck/Bruch im Frischdampf- oder Speisewassersystem außerhalb Reaktorgebäude (bis inkl. 1. Absperrarmatur oder Festpunkt) (Modul 3)
Bruch einer Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit intakten Heizrohren und mit Betriebsleckagen (Merkpostenliste)	Frischdampfleitungsbruch nach der ersten Absperrung mit maximalem 2F-Bruch eines Dampferzeuger-Heizrohres (Modul 3)
Fehlerhaftes Offenbleiben eines Frischdampf-Sicherheitsventils mit Dampferzeugerheizrohrschaden (Störfall-LL)	Fehlöffnen eines Frischdampf-Sicherheitsventils mit 2F-Folgebruch eines Dampferzeuger-Heizrohres (Modul 3)
-	Fehlerhaftes Einspeisen durch betriebliche Systeme oder von Sicherheitsystemen bei Unwirksamkeit vorgesehener Begrenzungsmaßnahmen (Modul 3)
Ausfahren des wirksamsten Steuerelements bzw. der wirksamsten Steuerelementgruppe oder -bank (Merkpostenliste)	Fehlerhafte Ausfahren des wirksamsten Steuerelements oder der wirksamsten Steuerelementgruppe mit Ausfall der Begrenzungseinrichtungen (Modul 3)
Auswurf des wirksamsten Steuerelements (Störfall-LL)	Auswurf des wirksamsten Steuerelements (Modul 3)
Unbeabsichtigte Borsäurekonzentrationsveränderung im Kühlmittel (Merkpostenliste)	Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt, mit Ausfall der Begrenzungen oder vorgelagerter Maßnahmen (Externe Deborierung; homogen und heterogen) (Modul 3)
-	Bildung unterborierter Bereiche im Primärkreislauf (Interne Deborierung) (Modul 3)
Frischdampfleitungsbruch im Sicherheitsbehälter(Störfall-LL)	Unterkühlungstransienten durch Frischdampf-/Speisewasserleck-/bruch (Modul 3)
Leck im Volumenregelsystem außerhalb des Sicherheitsbehälters (Störfall-LL)	Leck im Volumenregelsystem außerhalb des Sicherheitsbehälters (Modul 3)
Leck in einer Primärkühlmittel führenden Messleitung (Störfall-LL)	Leck in einer Primärkühlmittel führenden Messleitung im Ringraum (Modul 3)
Leck in einer Rohrleitung des Abgassystems (Störfall-LL)	Leck/Bruch in einer Rohrleitung oder Bruch eines Filters des Abgas- oder Gasaufbereitungssystems (Modul 3)
Leckage eines Behälters mit radioaktiv kontaminiertem Wasser (Störfall-LL)	Leck eines Behälters mit aktivem Medium (Modul 3)
Notstromfall (langzeitig) (Störfall-LL)	Notstromfall länger als 2 Stunden (Modul 3)

Abb. 5-4 Vergleich des Spektrums für Transientenstörfälle der Sicherheitsebene 3

Die grundlegenden sowie die speziellen Anforderungen der Sicherheitsebene 3 sind in Abb. 5-5 dargestellt. Erstere umfassen für Ebene 3 das Einzelfehlerkonzept sowie das 30-Minuten-Kriterium. Die speziellen Anforderungen beinhalten die vorgegebenen Anfangs- und Randbedingungen für die durchzuführenden Störfallanalysen.

Grundlegende Anforderungen an die Störfallanalysen der SE3

Einzelfehlerkonzept

Bei der Analysen der Auslegungstörfällen sind nach dem Einzelfehlerkonzept ein zufälliger Einzelfehler (unabhängiger Fehler in den Sicherheitseinrichtungen) sowie ein Reparaturfall an einer Komponente bzw. einem Sicherheitssystem zu unterstellen. Einzelfehler und Reparaturfall sind so auszuwählen, dass sie auf das zu untersuchende Nachweisziel die ungünstigste Auswirkung besitzen.

Regelwerk	Sicherheitskriterien für KKW
Berücksichtigung eines Einzelfehlers sowie eines Reparaturfalls (Interpr. zu BMU-Sikri)	In den zur Beherrschung von Ereignissen der Sicherheitsebene 3 notwendigen Sicherheitseinrichtungen ist im Anforderungsfall ein Einzelfehler und grundsätzlich gleichzeitig der Instandhaltungsfall unterstellt (Modul 10)
Einzelfehler in aktiven und passiven Systemen möglich. Bei Nachweis der Basissicherheit und des Bruchausschluss kein Versagen von Rohrleitungen im Sinne des Einzelfehlerkonzeptes zu unterstellen (Interpr. zu BMU-Sikri).	Einzelfehler werden bei aktiven Einrichtungen immer und bei passiven Einrichtungen grundsätzlich unterstellt. Ausnahmen sind zu begründen (Modul 10)
Bei Annahme des Ausfalls der ersten Reaktorschutzanregung ist zusätzlicher Einzelfehler an aktiven Systemen zu unterstellen. Bei gleichzeitigen Reparaturfall aber erst nach 100 Stunden (Interpr. zu BMU-Sikri).	Bei unterstellter Nichtberücksichtigung der ersten Anregung wird das gleichzeitige Auftreten eines Einzelfehlers an aktiven Systemteilen unterstellt, nicht jedoch bei gleichzeitigem Instandhaltungsfall (Modul 1).
Anlageninterne Ereignisse und EVA-Ereignisse sind im Hinblick auf die Anwendung des Einzelfehlerkonzeptes gleichzusetzen (Interpr. zu BMU-Sikri).	Für EVA-Ereignisse, die der Sicherheitsebene 3 zugeordnet sind, sind auch Einzelfehler und Reparaturfall zu unterstellen (Sikri für KKW).
Bei anlageninternen Ereignissen und äußeren Einwirkungen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit (Sicherheitsebene 4a) ist weder ein Einzelfehler noch der Reparaturfall zu unterstellen (Interpr. zu BMU-Sikri).	Für Einrichtungen, die zur Beherrschung der Ereignisse der Sicherheitsebene 4a erforderlich sind, ist im Anforderungsfall grundsätzlich weder ein Einzelfehler noch ein Instandhaltungsfall zu unterstellen (Modul 10)
-	Bei eigenmediumbetätigten Sicherheitsventilen, Abblaseventilen und Absperventilen des Reaktorkühlkreislaufes und Frischdampfsystems, die zur Störfallbeherrschung erforderlich sind, ist der Einzelfehler in der Vorsteuerung zu unterstellen. (Modul 10).

30-Minuten-Kriterium

Die deutschen Anlagen müssen derart ausgelegt sein, dass während der ersten 30 Minuten nach dem Eintritt eines Auslegungstörfalles Handmaßnahmen zur Beherrschung des Störfalles nicht erforderlich sein dürfen. Somit ist bei der Störfallanalyse die Berücksichtigung von Eingriffen aufgrund von Handmaßnahmen in den ersten 30 Minuten des Störfallablaufes nicht zulässig

Spezielle Anforderungen an die Störfallanalysen der SE3

Rand- und Anfangsbedingungen für die Störfallanalyse

Nachfolgende Tabelle zeigt grundsätzliche Rand- und Anfangsbedingungen, die bei den Störfallanalysen einzuhalten sind

Regelwerk	Sicherheitskriterien für KKW
Einzelfehler und Reparaturfall (siehe obige Tabelle)	Einzelfehler und Reparaturfall (siehe obige Tabelle)
30-Minuten-Kriterium (siehe obigen Absatz)	30-Minuten-Kriterium (siehe obigen Absatz)
Unterstellung des Notstromfalles für Analysen zum kleinen Leck (RSK DWR-LL).	Unterstellung des Notstromfalles nach erfolgter Turbinenschnellabschaltung, sofern es den Ereignisablauf nachteilig beeinflusst (Modul 6).
Für die spezifische Stabileistung und Leistungsdichteverteilung im Reaktorkern ist von den ungünstigsten Werten auszugehen, die im bestimmungsgemäßen Betrieb unter Berücksichtigung der Begrenzungseinrichtungen auftreten können (RSK DWR LL). => üblich ist 106% der Nennleistung	Bei Störfalleintritt wird von den ungünstigsten Werten ausgegangen, die im bestimmungsgemäßen Betrieb unter Berücksichtigung der Zustandsbegrenzungen hinsichtlich der integralen Leistung, der Stabileistung und der Leistungsdichteverteilung auftreten können (Modul 6. => üblich ist 106% der Nennleistung)
Für die Berechnung bis zum Abschluss des Wiederauffüllvorganges ist die Nachzerfallsleistung nach dem ANS-Standard zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 20% zu verwenden (RSK DWR-LL). => üblich NZL nach DIN 25463 plus doppelte Standardabweichung.	Die Nachzerfallsleistung wird nach DIN 25463 berechnet, für nicht rezyklierte Kernbrennstoffe nach DIN 25463-1 und für rezyklierte Kernbrennstoffe nach DIN 25463-2. Bei Quantifizierung der Ergebnisunsicherheiten kann für nicht rezyklierte Brennstoffe das genaue Rechenverfahren nach DIN 25463-1 angewendet werden. Für eine abdeckende Nachweisführung wird ein Zuschlag in Höhe der doppelten Standardabweichung angesetzt, wobei für nicht rezyklierte Kernbrennstoffe die vereinfachte Gleichung nach Anhang A der DIN 25463-1 angewendet wird (Modul 6).
Zu unterstellende Leck- und Bruchquerschnitte siehe Kapitel 21 der RSK-Leitlinien DWR	Zu unterstellende Leck- und Bruchquerschnitte siehe Anhang 2 von Modul 3

Abb. 5-5 Vergleich der grundlegenden und speziellen Anforderungen an die Analyse von Ereignissen der Sicherheitsebene 3

Die bei den Ereignisanalysen für die einzelnen Sicherheitsebenen jeweils einzuhaltenenden Nachweiskriterien sind zudem vergleichend dargestellt. Diese sind nach den Schutzzielen

- Kontrolle der Reaktivität,
- Kühlung der Brennelemente und
- Einschluss radioaktiver Stoffe

sowie nach dem radiologischen Sicherheitsziel gruppiert.

Beispielhaft zeigt Abb. 5-6 die Nachweiskriterien für die Transienten-Störfallanalysen der Sicherheitsebene 3.

Einzuhaltende Nachweiskriterien für SE3	
<p>Nachfolgend werden die einzuhaltenden Nachweiskriterien vergleichend gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass in Modul 3 der Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke die Kriterien systematisch nach den Schutzzielen sowie für verschiedene Betriebsphasen dargestellt sind. Eine derartige systematische Darstellung - insbesondere für die verschiedenen Betriebsphasen des Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb ist im derzeit gültigen Regelwerk nicht zu finden. Daher begrenzt sich nachfolgende vergleichende Darstellung nur auf den Leistungsbetrieb eines Kernkraftwerkes. Es wird zudem zwischen Transienten- und Kühlmittelverluststörfällen unterschieden. Es werden die Schutzziele</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle der Reaktivität, • Kühlung der Brennelemente, • Einschluss radioaktiver Stoffe sowie • radiologisches Sicherheitsziel <p>zwecks Gruppierung der Nachweisziele verwendet.</p>	
Transientenstörfälle	
Regelwerk	Sicherheitskriterien für KKW
Kontrolle der Reaktivität	
Abschaltreaktivität bei Nulllast im betriebswarmen Zustand und bei gezogenem, wirksamsten Steuerelement den Wert von 1 % während der Kernlebensdauer nicht unterschreitet (RSK-LL DWR)	Abschaltreaktivität > 1% (Modul 3)
Kühlung der Brennelemente	
Berechnete Brennstabhüllentemperatur < 1200 °C(RSK-LL DWR)	Erhalt Brennstabintegrität (wird erreicht durch Vermeidung kritischer Siedezustände an den Stäben)(Modul 3)
Oxidationstiefe des Hüllrohres an keiner Stelle > 17% der tatsächlichen Hüllrohrwandstärke (RSK-LL DWR)	-
Keine Änderung der Kerngeometrie, die eine ausreichende Kernkühlung verhindert (RSK-LL DWR)	-
Einschluss radioaktiver Stoffe	
Oxidationsumfang <1% des gesamten Zirkoniums der Hüllrohre (RSK-LL DWR)	Oxidationsumfang <1% des gesamten Zirkoniums der Hüllrohre (Modul 3)
Max. 10% Hüllrohrschäden (RSK-LL DWR)	Erhalt Brennstabintegrität (Modul 3)
KTA-Regeln 3201.2, 3211.2, 3401.2	<p>Druckführende Umschließung: Unterschreiten der zulässigen Vergleichsspannung der Beanspruchungsstufe C oder D (siehe KTA 3201.2) (Modul 3)</p> <p>Äußere Systeme: Unterschreiten der zulässigen Vergleichsspannung der Beanspruchungsstufe B, C oder D (siehe KTA 3211.2) (Modul 3)</p> <p>Sicherheitsbehälter: Unterschreiten der zulässigen Vergleichsspannung der Beanspruchungsstufe 1, 2 oder 3 (siehe KTA 3401.2) (Modul 3)</p>
Radiologisches Sicherheitsziel	
Störfallplanungswerte der Strahlenschutzverordnung §49 (Störfall-LL)	Störfallplanungswerte der Strahlenschutzverordnung §49 (Modul 3)

Abb. 5-6 Vergleich der einzuhaltenden Nachweiskriterien für Transienten-Störfälle der Sicherheitsebene 3

Damit erlauben die Regelwerksseiten den Nachweisführenden einen ersten Überblick über die Anforderungen an Ereignisanalysen. Durch den Vergleich zwischen derzeit gültigem Regelwerk und den neu entwickelten „Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke“ wird deutlich, welche Änderungen in den Anforderungen an neue Ereignisanalysen in Zukunft zu erwarten sind.

5.4 Einstellung von Erkenntnissen aus Entwicklungs- und Validierungsrechnungen

Im Rahmen dieses Arbeitspunktes wurden die Erkenntnisse aus Entwicklung und Validierung von ATHLET für das Störfallhandbuch ausgewertet, aufbereitet und entsprechende Handbuchseiten erstellt. Die dokumentierten Erfahrungswerte aus der Entwicklung und Validierung liefern wichtige Erkenntnisse für durchzuführende Störfallanalysen, indem sie über relevante Effekte bei Störfällen und die Güte der Nachbildung und Nachrechnung in ATHLET informiert. In gleicher Weise liefern diese Informationen nützliche Hinweise bei der Bewertung der mit ATHLET durchgeführten Störfallanalysen. Zudem können die im Rahmen von Validierungsrechnungen erstellten ATHLET-Modellierungen als Ausgangspunkt für die Erstellung von Störfallanalysen oder als Datenbasis zu Vergleichszwecken dienen.

Auf Grundlage der Dokumentationen zu den Validierungsrechnungen wurden folgende Inhalte im SfH eingebunden:

- DWR-spezifische Validierungsmatrizen für den großen Bruch, für kleinere/mittlere Lecks und für ausgewählte Transienten
- Übersicht über durchgeführte Nachrechnungen sowie tabellarische Auflistungen dieser Nachrechnungen von ausgewählten Integralversuchen bzw. Betriebstransienten (Versuche/Nachrechnung) für deutsche DWR
- Erkenntnisse zu Eigenschaften des Codes ATHLET und ggf. auftretenden Effekte (sortiert nach Effekten und Codeversion)

Die DWR-spezifischen Validierungsmatrizen stellen folgende Zusammenhänge komprimiert dar und ermöglichen somit einen guten Einstieg zu den Fragestellungen:

- Welche physikalischen Phänomene treten bei welchen Tests auf?
- Welche Testanlage ist zur Validierung welches Phänomens geeignet?
- Welcher Test wurde in welcher Testanlage durchgeführt?

Über die Matrizen können für durchzuführende Störfallanalysen erste Anhaltspunkte bzgl. der relevanten Dokumentation und der auftretenden Phänomene abgeleitet werden.

In den Tabellen zum Stand der Nachrechnung von ausgewählten Integralversuchen bzw. Betriebstransienten (Versuche/Nachrechnung) für deutsche DWR werden sortiert nach den Kategorien großer Bruch, kleines und mittleres Leck und Transienten detaillierte Informationen zu den in den Versuchsanlagen durchgeführten Tests aufgelistet. Verfügbare Dokumentationen zum Versuch wurden in das Handbuch aufgenommen und verlinkt. Zudem sind weitere Quellen angegeben, die bei Bedarf beschafft und in das Handbuch eingepflegt werden können. In Abb. 5-7 ist ein Ausschnitt der Tabelle für „kleines und mittleres Leck“ dargestellt. Die in den Quellen enthaltenen Informationen können einen wichtigen Beitrag bei der Neuerstellung wie auch bei der Bewertung von Störfallanalysen liefern, da auf die auftretenden Effekte, die Vorgehensweise bei der Modellierung und die Güte der Nachmodellierung mit ATHLET eingegangen wird. Soll beispielsweise vom Analysten eine Leckrechnung (kleines Leck unter typischen konservativen Randbedingungen) für einen DWR durchgeführt werden, so erhält der SfH-Nutzer weiterführende Hinweise durch Hinzuziehen der Ergebnisse der Nachrechnung aus dem PKL-Versuch E2.2 (siehe Tab. 5-4, erste Zeile). Die entsprechende Referenz „/STF 04/“ erklärt beispielsweise den Einfluss der Nodalisierung des unteren/oberen RDB-Ringraums bei einer 2 von 4 Loop Sicherheitseinspeisung und gibt entsprechende Empfehlungshinweise für eine sachgerechte Modellierung. Kenntnisse aus Rechnungen zu Einzelmodellen (in der Referenz „/STF 04/“ beispielsweise das Bortransportmodell und das Kondensationsmodell mit dem Einspeisemodell „INJECTION“) mit entsprechenden Parameterstudien anhand experimenteller Daten erlauben den Analysten ferner Abschätzungen für die Größenordnung von Unsicherheiten. Entsprechende Hin-/Verweise auf Validierungs-Nachrechnungen sind bei der Durchführung von Störfallanalysen hilfreich und teils notwendig um qualitative Analysebewertungen nachvollziehbar darstellen zu können.

Tab. 5-4 Ausschnitt aus der Tabelle zum Stand der Nachrechnung von ausgewählten Integralversuchen bzw. Betriebstransienten (kleines und mittleres Leck)

Versuchsanlage	Testnr.	Kurzbeschreibung	ATHLET	Referenz
PKL-III	E 2.2	Small CL leak, start of natural circulation with HP and LP injection into two CLs	Mod2.0A	/STF04/
PKL-III	E 2.3	Small HL leak, start of natural circulation with HP injection into two HLs and accumulator injection into 4 HLs	Mod2.0B	/STF06a/
PKL-III	F 1.2	Concentration of low borated water at heat exchanger exits during two-phase natural circulation and reflux condenser	-	-
BETHSY	4.1a	Two phase natural circulation with different mass inventories in the primary circuit	Mod1.0D	/TEH91/
BETHSY	5.1a	Variation of mass inventories in the secondary circuit	Mod1.1A	/RIN93a/
BETHSY	3.4a	Natural circulation with 2 isolated SGs, similar to PKL III B3.1	Mod1.1A	/SCH94/
BETHSY	4.3b	Multiple steam generator u-tube rupture	Mod1.1A	/RIN93/
BETHSY	4.1a TC	Two phase natural circulation with constant core power 5%	Mod1.1C	/SCH98/
BETHSY	6.2 TC	5% cold leg break, without HP ECC, similar to LSTF-SB-CL-18 and LOBI-BL-34	Mod1.1C	/SCH98/
BETHSY	7.2 c	Reflux condenser mode with nitrogen in primary circuit	Mod1.1C	/SCH98/
LOBI II	A2-77A	Primary side behavior with different mass inventories	Mod1.0D	/KIR89/
LOBI II	A1-82	LOCA with 1% cold leg break, hot leg HP ECC injection	Mod1.2D	/RIN01a/
LOBI	A2-81	LOCA with 1% cold leg break, cold leg HP ECC injection, ISP-18	Mod1.0D	/BUR89/
LOBI II	A1-91	1% cold leg break, with hot ECC injection	Mod1.0B	/SCH89/
LOBI II	BL-01	5% cold leg break	Mod1.0D	/KYN89/

Im Weiteren wurden Erkenntnisse aus der Durchführung der Validierungsrechnungen mit ATHLET zusammengetragen und aufbereitet. Die Informationen wurden hierzu für

das Störfallhandbuch in eine thematisch gegliederte Tabelle aufgenommen. Von großer Bedeutung ist dabei, dass Analyseergebnisse immer im Bezug zu zugrunde liegenden Randbedingungen, getroffenen Modellannahmen und Vereinfachungen stehen. Eine übersichtliche, tabellarische Zusammenfassung kann aber keine allgemeingültige Aufarbeitung mit sämtlichen Eigenschaften (unter denen das Ergebnis anwendbar ist) enthalten. Als Einstieg zum Thema wurde dennoch im SfH eine übersichtliche Darstellung der Erfahrungen anhand einer Kurzbeschreibung gewählt; allerdings sollte der Einsatz der dargestellten „Erfahrung“ immer unter Anwendung des Verweises auf die entsprechenden Berichtsauszüge der dokumentierten Validierungsrechnungen geschehen (siehe Abb. 5-7).

Inhaltsverzeichnis

- Erstellen einer Störfallanalyse
 - Schnelleinstieg
 - Einführungsbeispiel
 - Simulationsumgebung
- Simulatoren und Eingabedatensätze
 - KWB B
 - KBR
 - KKG
 - GKN 1
 - GKN 2
 - KKP 2
 - KJU 2
- Rechnung
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen
- Analysenbewertung
- Diskussion Standardanalysen

Erfahrungen aus Validierungsrechnungen mit ATHLET

In den folgenden Tabellen sind Erfahrungen aufgeführt, die bei Validierungsrechnung mit ATHLET gemacht wurden. Die Auflistung soll als zusätzliche Informationsquelle für die Vorbereitung und die Interpretation von Störfallsimulationen dienen. Ggf. können die aufgeführten Erfahrungen Hinweise liefern, die zur Erklärung unerwarteter Effekte bei der Simulation beitragen.

Erfahrungen nach Effekten

- Borvermischung und -transport
- Counter Current Flow
- Vermischung und Kondensation
- Ein- und zweiphasiger Naturumlauf
- Nichtkondensierbare Gase
- Zweiphasige Strömung
- weitere Erfahrungen
- Empfehlungen zur Modellierung

Borvermischung und -transport

Erfahrung	Code-Version	Experiment	Bericht, Datum
• Das ATHLET-Multikanalmodell unterschätzt im Allgemeinen die Kühlmittelvermischung am Kerneintritt, und führt somit zu konservativen Ergebnissen für Reaktoranalysen	ATHLET Mod 2.1 Cycle C	ROCOM T6655	GRS-A-3522, April 2010; GRS-A-3453, Januar 2009
• Die ATHLET-Modelle sind eine für erste Abschätzungen von Vermischungsvorgängen geeignete und rechengünstige Methode.	ATHLET Mod 2.1 Cycle C	ROCOM T6655	GRS-A-3522, April 2010; GRS-A-3453, Januar 2009
• Die Analysen ohne Dichteinfluss liefern eine zu geringe Vermischung im Vergleich zu den Experimenten.	ATHLET Mod 2.1 Cycle C	ROCOM T6655	GRS-A-3522, April 2010; GRS-A-3453, Januar 2009
• Die Analysen mit geringem Dichteinfluss zeigen eine relativ gute Übereinstimmung mit den Experimenten aber auch mit der CFX-Analyse.	ATHLET Mod 2.1 Cycle C	ROCOM T6655	GRS-A-3522, April 2010; GRS-A-3453, Januar 2009

Abb. 5-7 Aufarbeitung der Erkenntnisse aus Validierungsrechnungen strukturiert nach Effekten

Informationen zur Simulation eines Kühlmittelverluststörfalls, zu den relevanten physikalischen Phänomenen und den eingesetzten Modellen können aus zahlreichen unterschiedlichen Nachrechnungen von Experimenten gewonnen werden. So liefert die Nachrechnung des Versuchs SB-PV-10 (0,1%-Leck im unteren Plenum bei Ausfall der Hochdruckeinspeisung) der Integralversuchsanlage LSTF (Large Scale Test Facility)

weiterführende Modellierungsinformationen zum zweiphasigen Naturumlauf bei der Anwesenheit von nicht-kondensierbaren Gasen. Dies kann hinsichtlich der Kühlbarkeit des Kerns dann von Bedeutung werden, wenn infolge der Notkühleinspeisung aus den Druckhaltern auch die Einspeisung von Stickstoff unterstellt wird. Auf Modellierungshinweise hierzu gelangt nun der Nutzer über die oben dargestellte Übersicht, wobei eine Recherche sowohl über den Effekt „Nichtkondensierbare Gase“ als auch „zweiphasiger Naturumlauf“ zu den entsprechenden Unterlagen führt.

5.5 Einstellung von Informationen durchgeführter Störfallanalysen

Ein Schwerpunkt des Vorhabens war die systematische Aufbereitung und Bereitstellung durchgeführter Störfallanalysen, welche u. a. in GRS-A-Berichten und technischen Notizen dokumentiert sind. Hierzu wurde eine Kategorisierung der durchgeführten Störfallanalysen hinsichtlich der Sicherheitsebenen 2, 3 und 4a und eine Sortierung nach dem Anlagentyp zugrunde gelegt. In Tab. 5-5 ist die Kategorisierung der durchgeführten Störfallanalysen hinsichtlich der Sicherheitsebene 2 im Auszug dargestellt. In dieser Tabelle sind die durchgeführten Störfallanalysen zusammen mit Hyperlinks zu den Analyseergebnissen eingepflegt, wodurch es möglich ist, auf alle durchgeführten Störfallanalysen zu einem Ereignis schnell zugreifen zu können. Außerdem wird durch diese Darstellung ein guter Überblick über die durchgeführten Störfallanalysen einer Sicherheitsebene gegeben.

Tab. 5-5 Tabellarische Darstellung der durchgeführten Störfallanalysen der Sicherheitsebene 2 (Auszug)

SE 2 Anomaler Betrieb/Störung (Bestimmungsgemäßer Betrieb)		
Nr.	Ereignisliste DWR bezogen auf Betriebsphase A,	Link zur Störfallanalyse
Veränderung der sekundärseitigen Wärmeabfuhr		
E2-01	Fehlfunktion im Frischdampf-System oder in der Speisewasserversorgung, die zu einer ungeplanten Temperatur-/ Druckabsenkung im Dampferzeuger bzw. im Primärkreislauf führt.	
E2-02	Fehlfunktion im Frischdampf-System oder in der Speisewasserversorgung, die zu einer ungeplanten Temperatur-/ Druckerhöhung im Dampferzeuger bzw. im Primärkreislauf führt.	
E2-03	Fehlerhaftes Schließen von Armaturen, das zu relevanten Änderungen im Frischdampf- oder Speisewasserdurchsatz führt.	

SE 2 Anomaler Betrieb/Störung (Bestimmungsgemäßer Betrieb)		
E2-04	Turbinenschnellschluss mit Öffnen der Umleitstation bzw. verzögertem Ausfall der Umleitstation	
E2-05	Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006
E2-06	Ausfall Hauptwärmesenke	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Konvoi; Nov 2010
E2-07	Lastabwurf auf Eigenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • GKN 1; September 2006 • Vor-Konvoi; Oktober 2009
E2-08	Ausfall einzelner Hauptspeisewasserpumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Konvoi; Nov 2010
Sekundärseitige Wärmeabfuhr – Leckagen		
E2-09	Leckage im Frischdampf- oder Speisewassersystem inklusive Dampferzeugerabschlammung innerhalb Sicherheitsbehälter	
E2-10	Frischdampf- oder Speisewasserleckage außerhalb Reaktorgebäude (nach 1. Absperrarmatur bzw. Festpunkt)	
Durchsatzänderung im Primärkreislauf		
E2-11	Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe	<ul style="list-style-type: none"> • GKN 1; September 2006 • Vor-Konvoi; Mai 2010 • GKN 2; Januar 1998
E2-12	Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • Vor-Konvoi; Oktober 2009

Die zweite Gliederungsweise erlaubt den Zugriff auf die durchgeführten Störfallanalysen nach der für die Simulation zugrunde gelegten Anlage bzw. dem Anlagentyp. Die folgende Tab. 5-6 gibt einen Überblick über die im SfH aufbereiteten und eingepflegten Störfallanalysen. Über diese Auflistung erfolgt auch der Zugriff auf Dokumentationen von Analysen, die sich nicht direkt in die oben genannten Ereignislisten zuordnen lassen. Die Spalte „Dokumentation“ der Tabelle führt zu weiteren Beschreibungen und Informationen zu den Ereignisanalysen.

Tab. 5-6 Überblick über die im SfH aufbereiteten und eingepflegten Störfallanalysen

Anlage	SE	Ereignis	Dokumentation	Jahr
KKG				
KKG	E2-05	Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: TSS vor und nach Leistungserhöhung 	2006
KKG	E2-12	Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen vor und nach Leistungserhöhung 	2006
KKG	E2-16	Fehlerhaftes Einspeisen bzw. Reduzierung der Entnahmeraten durch betriebliche Systeme oder Sicherheitssysteme: Fehlschließen der HD-Reduzierstation	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Fehlschließen der HD-Reduzierstation vor und nach Leistungserhöhung 	2006
KKG	E2-19	Fehler im Volumenregelsystem, die zu einer Verkleinerung des Kühlmittelinventars führen (Fehlöffnen der HD-Reduzierstation)	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Fehlöffnen der HD-Reduzierstation 	2006
KKG	E2-34	Notstromfall kürzer als 2 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Notstromfall 2 Stunden 	2006
KKG	E3-03	Ausfall betriebliche SPW-Versorgung (nur 2 NSPW-Pumpen)	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Ausfall betriebliche SPW-Versorgung 	2006
KKG	E3-05	Sekundärseitiges Leck bzw. sekundärseitiger Bruch innerhalb des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Sekundärseitiges Leck bzw. sekundärseitiger Bruch innerhalb des Sicherheitsbehälters 	2006
KKG	E3-24	„20 cm ² “-Leck am Reaktordruckbehälter unterhalb der Kernoberkante: Mittleres Leck innerhalb des Sicherheitsbehälters	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Mittleres Leck innerhalb des Sicherheitsbehälters 	2006
KKG	E4-04	Vollständiger Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung (mit ATWS)	<ul style="list-style-type: none"> • KKG; Dezember 2006 • GRS-A-3367 • Details: Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung mit unterstelltem Ausfall des Schnelabschaltsystems (ATWS) 	2006
KKP 2				
KKP 2	E3-20	Kleines Leck innerhalb SHB	<ul style="list-style-type: none"> • KKP 2; Juli 2002 • GRS-A-3052 	2002
KKP 2	E3-21	Mittleres Leck innerhalb SHB	<ul style="list-style-type: none"> • KKP 2; Juli 2002 • GRS-A-3052 	2002

Anlage	SE	Ereignis	Dokumentation	Jahr
		(Leckquerschnitt $\leq 0,1F$)		
KKP 2	E3-22	Großes Leck innerhalb SHB (Leckquerschnitt $> 0,1F$)	<ul style="list-style-type: none"> • KKP 2; Juli 2002 • GRS-A-3052 	2002
GKN 1				
GKN 1	E2-07	Lastabwurf auf Eigenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • GKN 1; September 2006 • GRS-A-3346 • Details: Analysesimulator für das Kernkraftwerk Neckar I (2004) 	2006
GKN 1	E2-11	Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe	<ul style="list-style-type: none"> • GKN 1; September 2006 • GRS-A-3346 • Details: Analysesimulator für das Kernkraftwerk Neckar I (2004) 	2006
GKN 2				
GKN 2	E3-20	Kleines Leck innerhalb SHB	<ul style="list-style-type: none"> • GKN 2; Juli 2002 • GRS-A-3068 	2002
DWR 1300 MWe generisch				
DWR 1300	E3-21	Mittleres Leck innerhalb SHB (Leckquerschnitt $\leq 0,1F$)	<ul style="list-style-type: none"> • GRS-A-3154 	2004
DWR 1300	E3-22	Großes Leck innerhalb SHB (Leckquerschnitt $> 0,1F$)	<ul style="list-style-type: none"> • DWR 1300 MWe generisch; April 2004 • GRS-A-3279 • GRS-A-3154 (2004) 	2005
Vor-Konvoi				
Vor-Konvoi	EX-0X	Lastwechseltransiente (Leistungsreduktion von 100% auf 50%)	<ul style="list-style-type: none"> • Lastwechsel Vor-Konvoi (2010) 	2010
Vor-Konvoi	EX-0X	Reaktorschnellabschaltung (RESA)	<ul style="list-style-type: none"> • RESA (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-06	Ausfall Hauptwärmesenke (TUSA + verblockter FDU)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfall Hauptwärmesenke (TUSA + verblockter FDU) (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-07	Lastabwurf auf Eigenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Lastabwurf auf Eigenbedarf (2009) 	2009
Vor-Konvoi	E2-08	Ausfall einzelner Hauptspeisepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfall Speisewassersystem (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-11	Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfall HKMP (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-12	Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfall HKMP (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-18	Dampferzeugerheizrohrleck	<ul style="list-style-type: none"> • Dampferzeugerheizrohrleck (2010) 	2010
Vor-Konvoi	E2-34	Notstromfall kürzer als 2 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> • Notstromfall (2010) 	2011

Anlage	SE	Ereignis	Dokumentation	Jahr
Vor-Konvoi	E3-03	Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung	• Ausfall Speisewassersystem (2010)	2010
Vor-Konvoi	E3-20	Kleines Leck innerhalb SHB	• Kühlmittelverluststörfall (2010)	2010
Vor-Konvoi	E3-22	Großes Leck innerhalb SHB (Leckquerschnitt grösser 0,1F)	• Kühlmittelverluststörfall (2010) • Kühlmittelverluststörfall (2011)	2010
Vor-Konvoi	E3-27	Fehlöffnen und Offenbl. DH-SiV	• Kühlmittelverluststörfall (2010)	2010
Vor-Konvoi	E3-37	Notstromfall länger als 2 h	• Notstromfall (2010)	2011
Vor-Konvoi	E4a-04	ATWS (Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung)	• ATWS (Ausfall Hauptspeisewasserversorgung) (2010)	2009
Vor-Konvoi	EX-0X	Ausfall der gesamten Speisewasserversorgung	• Ausfall Speisewassersystem (2010)	2010
Vor-Konvoi	EX-0X	Kleines Leck bei verblockter Frischdampfumleitstation (FDU)	• Kleines Leck bei verblockter Umleitstation (2010)	2010
Konvoi				
Konvoi generisch	E3-22	Großes Leck innerhalb SHB (Leckquerschnitt > 0,1F)	• GRS-A-2560	1998

Zu jeder aufbereiteten Störfallanalyse wurde eine Kurzzusammenfassung mit relevanten Informationen erstellt und verlinkt. Diese enthält u. a. einen Überblick über die wesentlichen Informationen wie Ereignistyp aus der Ereignisliste, Anlage, Ziel der Analyse, Anfangs- und Randbedingungen, Modellierung und Analyseergebnisse. Auf Basis dieser Angaben sollte es möglich sein, zu entscheiden, ob das gesuchte Rechenergebnis bereits durch eine durchgeführte Analyse ermittelt wurde und die durchgeführte Analyse für die jeweilige Fachberatung herangezogen werden kann. Eine detaillierte Beschreibung der Analyse ist in der Kurzzusammenfassung unter der Rubrik „Dokumentation, Titel, Datum“ zu finden: Hier liegt eine ausführliche Analysendiskussion entweder als Foliensatz, im Rahmen einer Aufarbeitung für einen GRS-A-Bericht oder als technische Notiz vor. Weitere verfügbare Unterlagen mit Bezug zur jeweiligen Störfallanalyse sind unter „Sonstiges“ in der Kurzzusammenfassung aufgeführt.

Das Einstellen und die Aufarbeitung von Informationen der im Rahmen des SfH-Vorhabens durchgeführten Störfallanalysen erfolgten sehr eng und auch in Überschneidung mit dem Arbeitspunkt „Durchführung von Störfallanalysen“ (siehe nachfolgender Abschnitt 5.6).

5.6 Durchführung von Störfallanalysen

Das Vorhaben beinhaltet als weiteren Schwerpunkt die Durchführung von Störfallanalysen. Ziel war es hierbei Lücken bei der Abdeckung der Ereignislisten im Rahmen des SfH zu ergänzen. Die Auswertung der bereits durchgeführten Störfallanalysen im Rahmen von Arbeitspunkt 5.5 zeigte hierzu, dass die vorliegenden Analysen überwiegend unter sehr speziellen Randbedingungen durchgeführt wurden. Dies liegt daran, dass zum einen Qualifizierungsrechnungen (im Rahmen der Datensatzerstellung) mit den, zum Zeitpunkt der Transiente (z. B. Lastabwurf auf Eigenbedarf) und entsprechend dessen Ablaufs vorherrschenden Anfangs- und Randbedingungen durchzuführen sind. Zum anderen wurden in vorangegangenen Vorhaben Ereignisse zu sehr spezifischen Fragestellungen, die beispielsweise die Vorgaben bestimmter Ausfallannahmen betrafen, durchgeführt. Aus diesem Grund wurden im Folgenden insbesondere Analysen durchgeführt, die einerseits in ihrer Auswahl repräsentativ sind, um die gesamte Bandbreite der Sicherheitsebene 2 bis 4a abzudecken und andererseits auf Basis von „best-estimate“ Annahmen den grundsätzlichen Ablauf eines Ereignisses charakterisieren. Auf dieser Basis wurden die folgenden 23 Ereignisse simuliert, dokumentiert und in das Handbuch eingepflegt:

- Lastwechsel (LW)
- Lastabwurf auf Eigenbedarf (LAW-EB)
- Ausfall Hauptkühlmittelpumpe
 - Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe
 - Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen
- Reaktorschnellabschaltung (RESA)
- Ausfall Hauptwärmesenke (TUSA bei verblockter FDU)
- Notstromfall
- Ausfall Speisewassersystem, mit den folgenden „Einzelanalysen“:
 - Ausfall einer Hauptspeisewasserpumpe
 - Ausfall einer Hauptspeisewasserpumpe und der „Reservepumpe“
 - Ausfall aller Hauptspeisewasserpumpen

- Ausfall aller Hauptspeisewasserpumpen und der An- und Abfahrpumpen
- Ausfall der gesamten Speiswasserversorgung
- Kleines Leck im RKL (20 cm², am RDB Austritt)
- Großer Bruch im RKL
 - 2F-Bruch der HKML
 - 2F-Bruch DH-Anschlussleitung
 - 2F-Bruch DH-Anschlussleitung überlagert mit Notstromfall sowie Ausfall Dieselgenerator 3 und 4 (Einzelfehler und Instandhaltungsfall)
 - 2F-Bruch DH-Anschlussleitung überlagert mit Notstromfall, Ausfall Dieselgenerator 1, 3 und 4, Ausfall Hochdruckpumpen, Nichtverfügbarkeit der Druckspeicher und Ausfall Borierpumpen
- Fehlöffnen/Offenbleiben eines Druckhaltersicherheitsventils
- Dampferzeugerheizrohrleck, mit den folgenden Sonderfällen:
 - DE- Heizrohrleck I
 - DE-Heizrohrleck II (mit Notstromfall)
 - DE-Heizrohrleck III (mit Anstehen der Notkühlkriterien hervorgerufen durch den Ausfall aller HD- Förderpumpen)
- Kleines Leck (20 cm²) bei verblockter Frischdampfumleitung (FDU)
- ATWS (Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung)

Zu den o.g. Analysen wurden weiterführende Beschreibungen verfasst und in das SfH eingebunden. Diese sind grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilt und beinhalten Informationen zum grundsätzlichen anlagentechnischen Verhalten (relevant für das Verständnis des diskutierten Ereignisses), programmtechnische Hinweise zur Durchführung der Analysen und die Darstellung bzw. Diskussion der Analysenergebnisse. Diese Dokumentationen, welche in Form von Präsentationen als pdf-Dateien im SfH integriert wurden, dienen auch als Beispiele von Analysendiskussionen für neue Mitarbeiter und sollen ferner zu einer standardisierten Auswertung beitragen. Die folgende Abb. 5-8 zeigt exemplarisch die Aufbereitung dieser Analysen im Rahmen des SfH, wie diese u. a. in der Rubrik „Diskussion Standardanalysen“ zugänglich sind.

Diskussion "Ausfall Hauptwärmesenke"

1. Einführung und Besprechung des "Ausfalls der Hauptwärmesenke" (TUSA + verblockter FDU)
2. Durchführung eigenständiger Analysen
3. Diskussion der Analyseergebnisse

Folgende Unterlagen sind verfügbar:

- Der [Foliensatz mit Ereignisdiskussion](#)
- Simulationsdateien zur Durchführung der im Foliensatz dargestellten Analyse. Diese sind der Datensatz "DWR_Vorkonvoi.in", die "synops.atl"-Datei sowie die entsprechenden [Simulatorbilder](#) zur Ergebnisdarstellung in ATLAS.
- Weitere Dateien: [Full-Design.bmp](#) und [Full-Design.ds](#)
- [Ergebnis der ATHLET-Analysen auf PSIMUL](#) (zugriffsbeschränkt!)

Diskussion "Notstromfall"

1. Einführung "Notstromfall"
2. Kurzzeitiger "Notstromfall"
 - a) Besprechung des zu erwartenden Ablaufs
 - b) Eigenständige Analyse
 - c) Diskussion der Analyseergebnisse
3. Besprechung und Diskussion des langzeitigen Notstromfalls
4. Zusammenfassung Notstromfall

Folgende Unterlagen sind verfügbar:

- Der [Foliensatz mit Ereignisdiskussion](#)
- Simulationsdateien zur Durchführung der im Foliensatz dargestellten Analyse. Diese sind der Datensatz "DWR_Vorkonvoi.in", die "synops.atl"-Datei sowie die entsprechenden [Simulatorbilder](#) zur Ergebnisdarstellung in ATLAS.
- Weitere Dateien: [Full-Design.bmp](#) und [Full-Design.ds](#)
- [Ergebnis der ATHLET-Analyse auf PSIMUL](#) (zugriffsbeschränkt!)

GRS

Inhalt

- 1) Einführung und Besprechung des „Ausfalls der Hauptwärmesenke“
- 2) Durchführung eigenständiger Analysen
- 3) Diskussion der Analyse

DWR (Vorkonvoi) - Anlagenmüller 03.11.2010 2

GRS

Inhalt

- 1) Einführung Notstromfall
- 2) Kurzzeitiger Notstromfall
 - a) Besprechung des zu erwartenden Ablaufs
 - b) Eigenständige Analyse
 - c) Diskussion der Analyse
- 3) Besprechung und Diskussion des langzeitigen Notstromfalls
- 4) Zusammenfassung Notstromfall

DWR (Vorkonvoi) - Analysenmüller - Notstromfall 05.01.11 2

Abb. 5-8 Beispiele für die Aufbereitung der im Rahmen des SfH durchgeführten Störfallanalysen (Auszug)

In dem linken Bereich der Abb. 5-8 werden einerseits die Inhaltsverzeichnisse der Foliensätze aufgeführt und andererseits sämtliche Unterlagen bzw. Daten zur Verfügung gestellt, so dass die Möglichkeit gegeben ist, diese Analysen jederzeit selbst durchführen zu können.

Alle erstellten Foliensätze der durchgeführten Störfallanalysen besitzen die gleiche Struktur und eine ähnliche Vorgehensweise bei der Diskussion simulierter Störfälle. Auf dieser Basis kann ein standardisiertes Vorgehen zur Dokumentation abgeleitet werden. Hierzu werden ferner weitere Hinweise/Anleitungen gegeben, die die bei einer Bewer-

tung von Störfallanalysen notwendigen Arbeitsschritte enthalten und sich im Fall der Abb. 5-9 auf konkrete Analysen zur Wirksamkeit der Notkühlsysteme beziehen.

Wirksamkeit Notkühlsysteme

Der nachfolgende Foliensatz zeigt eine beispielhafte Diskussion der Wirksamkeit der Notkühlsysteme.

1.) Simulation der Ereignisse: Arbeitsschritte

- **Analyse des Ereignisses**
 - Was geschieht?
 - Um welches Ereignis handelt es sich? (Klassifizierung mit Hilfe des Störfallentscheidungsbaums)
- **Kontrolle der automatischen Maßnahmen**
 - Welche automatischen Maßnahmen sollten ausgelöst werden?
 - Durch welche Kriterien und wann sollten sie ausgelöst werden?
 - Erfolgt die Maßnahmen wie vorgesehen?
- **Kontrolle des Ereignisablaufs**
 - Welcher Ablauf ist nach Auslegung zu erwarten?
 - Welche Zustände müssten sich einstellen (Primärseite, Sekundärseite)?
 - Entspricht der Ablauf dem auslegungsgemäß zu erwartendem Ablauf? (Überprüfung aller wichtigen physikalischen Parameter)
- **Kontrolle der Schutzziele**
 - Gibt es Schutzzielverletzungen?
 - Wenn ja, welche Maßnahmen wären zu ergreifen?
- **Vergleich der physikalischen Parameter von drei verschiedenen Ereignissen**
 - Schlussfolgerungen

DWR(Vorkonvoi)-Analysesimulator 05/2011 5

Abb. 5-9 SfH-Auszug mit Arbeitsschritten zur Störfallanalysenbewertung anhand von Anwendungsbeispielen

Im Zuge der Durchführung von Störfallanalysen wurden zwei Themenbereiche, die den einzelnen Störfallanalysen übergeordnet sind, näher behandelt und entsprechend mit zusätzlichen Handbuchseiten aufbereitet:

1. Das schutzzielorientierte Vorgehen wird anhand von Einleitungen und Beispielen erläutert. Ziel war es, sowohl eine Einführung für neue Mitarbeiter in das Konzept der Schutzziele zu geben, als auch einen weiteren Beitrag zu einer standardisierten Analysendokumentation zu leisten. Die Aufarbeitung hierzu beinhaltet zunächst eine Einführung in das Schutzzielkonzept, eine beispielhafte (generische) Anleitung der Schutzzielkontrolle im Rahmen einer ATHLET-Analyse sowie die beispielhafte Anwendungen an den Fällen „Reaktorschnellabschaltung“, „kleines Leck bei verblockter FDU“ und „ATWS (Ausfall Hauptspeisewasserversorgung)“.

2. Das gestaffelte Sicherheitskonzept wurde in Zusammenhang mit Analysen zur „Parametrierung der Mindestanforderung an die Systemfunktion zur Nachwärmeabfuhr bei einem Kühlmittelverlust“ aufbereitet. Folgende Analysen wurden hierzu herangezogen:

- Fall 1: Kühlmittelverlust (Abriss der Druckhalter-Anschlussleitung) auf Basis von best-estimate Annahmen,
- Fall 2: Kühlmittelverlust (Abriss der Druckhalter-Anschlussleitung), überlagert mit Notstromfall sowie Ausfall Dieselgenerator 3 (Einzelfehler) und 4 (Instandhaltungsfall) – entsprechend der Genehmigungsanforderungen, und
- Fall 3: Kühlmittelverlust (Abriss der Druckhalter-Anschlussleitung), überlagert mit Notstromfall, Ausfall Dieselgenerator 1, 3 und 4, Ausfall Hochdruckpumpen, Nichtverfügbarkeit der Druckspeicher und Ausfall Borierpumpen.

Auf dieser Basis erfolgte sowohl die Ermittlung der Systemfunktionsmindestanforderung (mit dem Kriterium des Vermeidens einer möglichen Kernschädigung (Brennelementhüllrohrtemperatur < 1200°C)) als auch die dazugehörige Ermittlung der statistischen Eintrittshäufigkeit für die Ereignisse, basierend auf Daten der Deutschen Risikostudie Phase B /GRS 89/. In der folgenden Abb. 5-10 sind die Randbedingungen der Analysen (Fälle 1-3) im Überblick zusammengefasst.

1. Fall	2. Fall	3. Fall
Kühlmittelverlust	Kühlmittelverlust	Kühlmittelverlust
-	Ausfall Netzanschluss	Ausfall Netzanschluss
-	Ausfall Reserve-Netzanschluss	Ausfall Reserve-Netzanschluss
-	Ausfall Eigenbedarfsversorgung	Ausfall Eigenbedarfsversorgung
-	Ausfall Dieselgenerator 4	Ausfall Dieselgenerator 4
-	Ausfall Dieselgenerator 3	Ausfall Dieselgenerator 3
-	-	Ausfall Dieselgenerator 1
-	-	Ausfall Hochdruckpumpen
-	-	Ausfall Druckspeicher
-	-	Ausfall Borierpumpen

Abb. 5-10 Ausfallkombinationen bei Bruch einer Druckhalter-Anschlussleitung

6 Pflege des Störfallhandbuchs

Die Pflege des Störfallhandbuchs gestaltete sich für die einzelnen Themenbereiche unterschiedlich. Insbesondere die Informationen aus anderen Datenbanken, Verweise auf Intra- und Internetseiten und die fortschreitende Entwicklungen von Programmen erforderten eine regelmäßige Prüfung bzw. Aktualisierung des Handbuchs.

Das Handbuch umfasst über 700 Dateien (exklusive der Dateien für die ATHLET-Simulatoren) mit ca. 3,13 GB, mehr als 321 interne bzw. externe Links sowie 111 HTML-Dateien. Die Arbeiten bei der Erstellung des Handbuchs bringen es mit sich, dass ein besonderes Augenmerk auf die Pflege und insbesondere auf die Erhaltung der Konsistenz des Handbuchs zu legen ist.

Durch die Anwendung von Werkzeugen konnte der erforderliche Aufwand zur Pflege des Handbuchs reduziert werden. Dies ist umso wichtiger, je umfangreicher das Handbuch wird. Die herangezogenen Hilfsprogramme helfen einerseits nicht mehr mit Inhalten hinterlegte Verknüpfungen („tote Links“) aufzuspüren und andererseits Dokumente, deren Verknüpfung mit den Handbuchseiten verloren ging (sog. „orphan files“), zu identifizieren.

Zur Erhöhung der Nutzbarkeit wurden ferner entsprechende Anleitungen und Hilfestellungen u. a. zur Förderung einer proaktiven Teilnahme an dem Handbuch erstellt. Wie in der folgenden Abb. 6-1 erkennbar, richten sich diese sowohl an den Anwender als auch an den Entwickler:

- Anleitungen für den Anwender umfassen dabei Erklärungen und Erläuterungen zum Aufbau und der Struktur des SfH als HTML-Projekt und der zugrundeliegenden (Daten-)Struktur zur Erläuterung der umgesetzten, technischen Basis.
- Anleitungen und Hilfestellungen für den Entwickler zielen darauf ab, ein einheitliches Aussehen des SfH zu fördern und Eingabefehler zu vermeiden. So sollen ausgewählte Beispiele es auch den HTML-Laien in sehr kurzer Zeit ermöglichen, die Auszeichnungssprache HTML anwenden zu können. Die SfH-spezifischen Festlegungen und Vorgaben reduzieren weiter den Aufwand und tragen zur Ver-

meidung von Fehlern bei. Eine weitere Unterstützung wird bei der Einrichtung der SfH-Entwicklungsumgebung (siehe hierzu Abschnitt 4-4) gegeben.

The screenshot shows the 'Störfallhandbuch DWR' website. The top navigation bar includes 'Handbuch', 'Suche', 'Stand', 'Glossar', and 'Hilfe'. A 'Feedback' button is also present. The left sidebar contains an 'Inhaltsverzeichnis' (Table of Contents) with sections for 'Aufgaben' and 'Quellen'. The main content area is titled 'Hilfestellung zur Benutzung und (Weiter-)Entwicklung des SFH' and contains a table of contents for the current page, followed by 'Benutzerhinweise' and 'Informationen zum technischen Aufbau'.

Abb. 6-1 Hilfestellungen für die Anwendung und Entwicklung des SfH

Auch zur Unterstützung der Anwendung des Versionsmanagementsystems für die Simulatordaten wurden Anleitungen im Abschnitt „Erstellen von Datenbasen“ verfasst, die eine einheitliche Vorgehensweise sicherstellen sollen. Weiter wurde der Nutzerkreis des Versionsmanagementsystems, welches für die Entwicklung des Störfallhandbuches eingesetzt wurde, stark erweitert. Dies schafft die Möglichkeit, dass die Ersteller von Simulatoren und die Mitarbeiter, die Simulationen und Bewertungen von Störfällen mit ATHLET durchführen, ihre Ergebnisse und Erkenntnisse in das Störfallhandbuch einpflegen. Weiter wird die Möglichkeit geboten, das Versionsmanagement für die Entwicklung und Weiterentwicklung von Eingabedatensätzen und Simulatoren einzusetzen.

Auf Basis von Anwendungserfahrungen wurden Optimierungsmaßnahmen für einen effizienteren Umgang mit dem Störfallhandbuch umgesetzt. In erster Linie betraf dies weitere Erklärungen von Fachbegriffen und die Erhöhung der Verständlichkeit bei der Ergebnisdiskussion der Störfallanalysen. Weiter wurde die Gliederung der einzelnen

Punkte im Störfallhandbuch aus dem ersten Entwurf heraus iterativ angepasst, Begrifflichkeiten wurden präzisiert und beides in die Struktur des Inhaltsverzeichnisses und die Inhalte des Störfallhandbuches iterativ übertragen.

Die Entwicklung des SfH sah vor, Offline-Versionen des Störfallhandbuches erstellen zu können. Damit bei Nichtverfügbarkeit der Netzwerkressourcen die Konsistenz und Bedienbarkeit des Handbuches erhalten bleibt, sind Anpassungen notwendig. Die hierzu notwendigen Maßnahmen zur Anpassung der Verlinkungsstruktur konnten dabei weitestgehend automatisiert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die zentrale Aufgabe des Vorhabens war die Erstellung eines elektronischen Handbuchs für Störfallanalysen (SfH) unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik. Das SfH richtet sich dabei gleichermaßen an den Entwickler und Anwender von Störfallanalysen für den Leistungsbetrieb von Druckwasserreaktoren. Mit dem im SfH aufbereiteten Wissen wird insbesondere die Erstellung von Stellungnahmen zu Einzelthemen unterstützt, eine Beratung zum Einsatz neuerer Methoden und Rechenprogrammen geleistet sowie Aspekte der Sicherheitsbewertung erläutert. Die Darstellung des Inhalts erfolgte vor allem im Hinblick auf die Nutzbarkeit des SfH auch durch Anwender mit noch wenig Erfahrung im Themenbereich „Störfallanalysen“.

Die technische Umsetzung des SfH basiert auf der Entwicklung eines eigenständigen HTML-Projektes, welches vollständig in das GRS-Intranet integriert wurde. Die Datei- und Ablagestruktur nutzt für die SfH-Entwicklung bzw. der regelmäßigen Anwendung eine Versionsverwaltung durch ein Client-Server-System und bindet weiterhin bestehende Netzwerkkomponenten ein, die in erster Linie für eine Zugriffsbeschränkung restriktiver Daten eingesetzt werden. Die umgesetzte Lösung verzichtet auf den Einsatz spezieller Wissens-Management-Programme (wie Datenbanksysteme) und nutzt die Möglichkeiten, die durch das GRS-Informationsportal bereits gegeben werden. Alle relevanten Datei- und Dokumenttypen können somit im SfH unter Nutzung der Versionsverwaltung eingebunden und dargestellt werden. Eine Besonderheit der gewählten Umsetzung stellt die Möglichkeit dar, das SfH auch für eine Offline-Nutzung unter prinzipieller Erhaltung der Funktionalitäten zur Verfügung zu stellen.

Die Aufarbeitung der Inhalte im Rahmen des SfH folgte im Grundsatz den Vorgehensweisen bei der Durchführung von Störfallanalysen bzw. bei der Anwendung von Erkenntnissen aus Störfallanalysen für gutachterliche Fachberatungen. Die übergeordneten Themenfelder – entsprechend dem Inhaltsverzeichnis, wie diese der Abb. 7-1 zu entnehmen ist – sind:

- „Erstellen einer Störfallanalyse“ – in diesem Bereich erfolgte die Aufarbeitung sämtlicher Arbeitsschritte, die für die Durchführung von Störfallanalysen bedeutsam sind. Hierbei wurde insbesondere Wert auf die Unterstützung für die Anwen-

dung der Simulationssoftware und auf Diskussionen von Störfallanalysen anhand zahlreicher Beispiele gelegt. Ergänzt wird dieser Abschnitt mit spezifischen Unterlagen zu Anlagen- und Systemverhalten.

- „Erstellen von Datenbasen“ – darin werden Informationen zur Entwicklungsumgebung für die Erstellung von Eingabedatensätzen und Simulatoren sowie Anleitungen für Entwickler anhand von Beispielen bereitgestellt.
- „Bewertung einer Störfallanalyse“ – umfasst Hintergründe und Anleitungen für die Bewertung von Störfallanalysen. Ferner werden die Begriffe Schutzzielkonzept und das gestaffelte Sicherheitskonzept anhand beispielhafter Analysen erläutert.
- „Durchgeführte Störfallanalysen“ – dieser Abschnitt ist als Nachschlagebereich konzipiert und an alle Analysten (unabhängig vom Wissensstand) gerichtet. Eine Strukturierung der aufbereiteten Erkenntnisse der durchgeführten Störfallanalysen erfolgt dabei nach Sicherheitsebenen und Ereignisklassen (auf Basis der Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke) oder nach dem Anlagentyp. Die jeweiligen Ereignisse wurden hierzu anhand von standardisierten Kurzzusammenfassungen mit charakteristischen Merkmalen aufbereitet und mit Verweisen auf weiterführende, detaillierte Diskussionen dieser Ereignisse (im Form von Foliensätzen oder Berichtsauszügen) versehen.
- „Regelwerksgrundlagen“ – umfasst sämtliche Auszüge aus dem kerntechnischen Regelwerk, die für Störfallanalysen von Bedeutung sind. Hierbei wird sowohl auf das bestehende Regelwerk als auch auf die Sicherheitskriterien für KKW eingegangen.
- „Validierung ATHLET“ – darin werden Erkenntnisse und Erfahrungswerte aus der Entwicklungs- und Validierungsphase (insbesondere aus den durchgeführten Validierungsrechnungen) in diesem Abschnitt (für den Systemcode ATHLET) dargestellt.

GRS Störfallhandbuch DWR Handbuch Suche Stand Glossar Hilfe

Feedback

Inhaltsverzeichnis

Aufgaben

- Erstellen einer Störfallanalyse
 - Schnelleinstieg
 - Einführungsbeispiel
 - Simulationsumgebung
- Simulatoren und Eingabedatensätze
 - KWB B
 - KBR
 - KKG
 - GKN 1
 - GKN 2
 - KKP 2
 - KKU 2
- Rechnung
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen
- Analysenauswertung
- Diskussion Standardanalysen

Erstellen von Datenbanken

- Modifikation
- Neuerstellung
- Entwicklungswerkzeuge
- Hinweise aus der Praxis

Bewertung einer Störfallanalyse

- Diskussion Schutzziele
- Wirksamkeit
- Sicherheitssysteme

Quellen

- Durchgeführte Störfallanalysen
 - Sicherheitsebene 2
 - Sicherheitsebene 3
 - Sicherheitsebene 4
- Regelwerksgrundlagen
 - SE 2
 - SE 3
 - SE 4a
- Validierung ATHLET
 - Validierungsmatrizen
 - Erfahrungen

Diskussion "Lastwechsel"

1. Einführung zum Thema "Lastwechsel" inklusive Diskussion des Teillastdiagramms, der Leistungsregelung und der Kühlmitteldruckregelung
2. Durchführung von Analysen zur Variation der Generatorleistung (Lastrampen)
3. Diskussion der Analyseergebnisse

Folgende Unterlagen sind verfügbar:

- Der [Foliensatz mit Ereignisdiskussion](#)
- Simulationsdateien zur Durchführung der im Foliensatz dargestellten Analyse: Diese ist der ATHLET-Datensatz "DWR_Vorkonvoi.in", und die zur Ergebnisdarstellung in ATLAS notwendigen Dateien "synops.atl" mit den einzelnen Simulatorbildern.
- Weitere Dateien: [Full-Design.bmp](#) und [Full-Design.ds](#)
- [Ergebnis der ATHLET-Analyse auf PSMUL](#) (zugriffsbeschränkt!)

Diskussion "Lastabwurf auf Eigenbedarf"

1. Einführung zum Thema "Lastabwurf auf Eigenbedarf" inklusive Diskussion der Turbinenregelung und von Begrenzungseinrichtungen
2. Analyse eines "Lastabwurfs auf Eigenbedarf"
3. Diskussion der Analyseergebnisse

Folgende Unterlagen sind verfügbar:

- Der [Foliensatz mit Ereignisdiskussion](#)
- Simulationsdateien zur Durchführung der im Foliensatz dargestellten Analyse. Diese sind der Datensatz "DWR_Vorkonvoi.in", die "synops.atl"-Datei sowie die entsprechenden Simulatorbilder zur Ergebnisdarstellung in ATLAS.
- Weitere Dateien: [Full-Design.bmp](#) und [Full-Design.ds](#)

Abb. 7-1 Auszug aus dem SfH mit aufgeklapptem Inhaltsverzeichnis und exemplarischer Darstellung diskutierter Störfallanalysen

Die einzelnen Themenfelder decken das Gebiet thermohydraulische Störfallanalysen umfassend ab, so dass zu unterschiedlichen Fragenstellungen und mit unterschiedlichem Kenntnisstand wichtige Ergebnisse und Erfahrungen zu Störfallanalysen aufbereitet vorliegen und den Sachverständigen der GRS im Rahmen laufender und künftiger Arbeiten zur Verfügung steht.

Die Zukunftsfähigkeit des SfH ist aus technischer Sicht dadurch sichergestellt, dass die vollständige Implementierbarkeit in das bestehende, interne GRS-Informationsportal gegeben ist, dies aber nicht im Widerspruch zur eigenständigen, unabhängigen Weiterentwicklung des SfH steht. Das eingesetzte Versionskontrollsystem schützt dabei vor Datenverlust. Eine wissenschaftlich wichtige Weiterführung des SfH wäre die Erweiterung des Störfallspektrums auf den Nichtleistungsbetrieb für den Druckwasserreaktor und die Berücksichtigung von Störfallanalysen für den Siedewasserreaktor (der Baulinie 72). Darüber hinaus sollten künftig auch Informationen aus gekoppelten Ana-

lysen in das SfH Eingang finden, wie sich diese z. B. aus der Anwendung neutronenphysikalischer Rechenprogrammen sowie von Simulationsprogrammen zur detaillierteren Berechnung des Stör- und Unfallverhaltens im Containment ergeben. Daneben sollte das SfH stetig den neueren Erkenntnissen und (Analysen-) Ergebnissen aus der Programmentwicklung und -validierung angepasst bzw. erweitert werden.

8 Literatur

Hinweis: Die Literatur zum Themenbereich „thermohydraulische Störfallanalysen“ für deutsche Druckwasserreaktoren (bezogen auf den Leistungsbetrieb) ist Basis und Bestandteil des SfH. Auf eine Auflistung an dieser Stelle wurde daher verzichtet.

/GRS 09/ Schaffung eines Handbuchs für Störfallanalysen deutscher Kernkraftwerke, 3609 R 01335, Anlage A, Vorhabenbeschreibung, AG-Nr. 2989, 2009

/GRS 89/ Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B, Gesellschaft für Reaktorsicherheit, 1989

/LIE 02/ Liesch, K. et. al.
Unterstützende Arbeiten und Analysen zur sicherheitstechnischen Bewertung der Kernkraftwerke der Baulinie WWER-440
Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2332, GRS-A-2991, Oktober 2002

/RIW 02/ Richter, W. et. al.
Unterstützende Arbeiten und Analysen zur sicherheitstechnischen Bewertung der Kernkraftwerke der Baulinie WWER-1000
Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2331, GRS-A-3075, November 2002

/RIW 05/ Richter, W. et. al.
Unterstützung des BMU durch Untersuchung und Bewertung der Sicherheit von Kernkraftwerken in den Staaten Mittel- und Osteuropas sowie bei internationalen Aktivitäten zur Verbesserung der Sicherheit und Minderung von Risiken – Beiträge zur sicherheitstechnischen Bewertung von KKW mit WWER-1000
Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2441, GRS-A-3231, August 2005

/SIK 09/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Revision D, April 2009

/WJP 02/ Weber, J. P. et. al.

Unterstützende Arbeiten und Analysen zur sicherheitstechnischen Bewertung der Kernkraftwerke mit RBMK-Reaktoren

Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2333, GRS-A-2995, November 2002

/WJP 05/ Weber, J.P. et. al.

Unterstützung des BMU durch Untersuchung und Bewertung der Sicherheit von Kernkraftwerken in den Staaten Mittel- und Osteuropas sowie bei internationalen Aktivitäten zur Verbesserung der Sicherheit und Minderung von Risiken – Beiträge zur sicherheitstechnischen Bewertung von KKW mit RBMK

Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2443, GRS-A-3233, August 2005

9 **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 4-1	Inhaltsverzeichnis des SfH	19
Abb. 4-2	Einstiegsseite des SfH (über das GRS Portal).....	20
Abb. 4-3	Offline-Suchfunktion im SfH	22
Abb. 4-4	Übersicht der Datenstruktur des SfH	23
Abb. 5-1	Inhalte des SfH im Überblick.....	26
Abb. 5-2	Einführungsbeispiel zu "Störfallanalysen" anhand eingebundenem Foliensatz.....	32
Abb. 5-3	Einstiegsseite zur Darstellung der Anforderungen aus dem derzeit gültigen Regelwerk und der Anforderungen der neuen „Sicherheitskriterien für KKW“ (Revision D).....	38
Abb. 5-4	Vergleich des Spektrums für Transientenstörfälle der Sicherheitsebene 3	39
Abb. 5-5	Vergleich der grundlegenden und speziellen Anforderungen an die Analyse von Ereignissen der Sicherheitsebene 3.....	40
Abb. 5-6	Vergleich der einzuhaltenden Nachweiskriterien für Transienten-Störfälle der Sicherheitsebene 3	41
Abb. 5-7	Aufarbeitung der Erkenntnisse aus Validierungsrechnungen strukturiert nach Effekten	45
Abb. 5-8	Beispiele für die Aufbereitung der im Rahmen des SfH durchgeführten Störfallanalysen (Auszug)	53

Abb. 5-9	SfH-Auszug mit Arbeitsschritten zur Störfallanalysenbewertung anhand von Anwendungsbeispielen	54
Abb. 5-10	Ausfallkombinationen bei Bruch einer Druckhalter-Anschlussleitung	55
Abb. 6-1	Hilfestellungen für die Anwendung und Entwicklung des SfH.....	57
Abb. 7-1	Auszug aus dem SfH mit aufgeklapptem Inhaltsverzeichnis und exemplarischer Darstellung diskutierter Störfallanalysen.....	61

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1	Übersicht der exemplarischen Bestandsaufnahme.....	11
Tab. 4-2	Herangezogene Quellen für die Erarbeitung der Abschnitte im SfH	14
Tab. 4-3	Einbindung von Informationen aus anderen Datensammlungen	15
Tab. 5-1	Auszug der SfH-Statustabelle bzgl. der Aufnahme von Informationen aus GRS-Berichten zu den GRS-Störfallsimulatoren.....	27
Tab. 5-2	Auszug der Statustabelle im SfH bzgl. der Aufnahme von Informationen aus GRS-Berichten zu durchgeführten Störfallanalysen.....	28
Tab. 5-3	Dokumentationen/Anleitungen zur Modellierung mittels G2 im SfH.....	33
Tab. 5-4	Ausschnitt aus der Tabelle zum Stand der Nachrechnung von ausgewählten Integralversuchen bzw. Betriebstransienten (kleines und mittleres Leck).....	44
Tab. 5-5	Tabellarische Darstellung der durchgeführten Störfallanalysen der Sicherheitsebene 2 (Auszug).....	46
Tab. 5-6	Überblick über die im SfH aufbereiteten und eingepflegten Störfallanalysen	48

Anhang A Auszug aus dem SfH: Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen

Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen

Inhalt

- [Einführung](#)
- [GRS-Methode](#)
- [Zentrale Elemente der GRS-Methode](#)
- [Methodenvergleich](#)
- [Anwendungsbeispiele](#)
- [Weitere Literatur](#)

Einführung

Die Bestimmung der Aussagesicherheit von Rechenergebnissen stellt ein wichtiges wissenschaftliches Themenfeld in der Anwendung von Rechenprogrammen dar. Im Rahmen der Anforderungen an die Nachweisführung in Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren wird hierbei auf den [Abschnitt 3.3 von Modul 6](#) der "Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerk" verwiesen, wonach "die Gesamtunsicherheit des jeweiligen Analyseergebnisses quantifiziert werden soll" (siehe auch [Abschnitt Regelwerksgrundlagen](#)).

Eine kurze Einführung zu Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen findet sich ferner auch auf der entsprechenden GRS-Kompetenzseite: [Einführung zu Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen](#).

Grundsätzlich können Methoden zur Durchführung von Unsicherheitsanalysen dahingehend klassifiziert werden, wie Informationen zu Unsicherheiten in die Analysen eingehen und wie sie verarbeitet werden. Unterschieden werden kann dabei zunächst in die Kategorien "Fortpflanzung von Eingangsunsicherheiten (engl. propagation of input uncertainties)" und "Extrapolation von Ergebnisunsicherheiten (engl. extrapolation of output uncertainties)". Die bei der GRS entwickelte Methode, welche sich international auch als [GRS-Methode](#) etabliert hat, zählt zur ersten Klasse. Vertreter der zweiten Klasse werden u.a. im [Abschnitt Methodenvergleich](#) aufgeführt.



GRS-Methode

Die GRS-Methode zählt zu den statistischen Vertretern bei der Bestimmung der Fortpflanzung der Eingangsunsicherheiten. Charakteristisch hierfür ist, dass das Wissen für nicht exakt bekannte Eingangsgrößen nicht durch einen "best-estimate"-Punktwert, sondern zunächst durch die Angabe von Bereichen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen über diese Bereiche quantifiziert wird. Die Ermittlung der Unsicherheit im Rechenergebnis erfolgt dann mittels statistischer Methoden und Auswertungen. Auf Basis von Monte-Carlo-Simulationen werden hierzu zufällige Stichproben aus den vorgegebenen Verteilungen gezogen und für jede Stichprobe eine Simulation durchgeführt.

Die Analyse zur Unsicherheit und Sensitivität von Anwendungen komplexer Rechenmodelle gibt Antworten auf folgende zwei Fragen:

1. Wie groß ist der gemeinsame Einfluss aller Eingangsunsicherheiten auf die Ergebnisse des Rechenmodells?
2. Welche dieser Eingangsunsicherheiten tragen am meisten zur Ergebnisunsicherheit bei?

Eine zentrale Rolle der GRS-Methode spielt dabei die Formel von Wilks. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet diese, dass die Anzahl der durchzuführenden Simulationsläufe nicht abhängig ist von der Anzahl der unsicheren Parameter (sofern die Anzahl der Rechenläufe deutlich größer ist als die Anzahl der unsicheren

Parameter), sondern abhängig ist vom geforderten Grad der Ergebnisabdeckung bei einer vorgegebenen statistischen Sicherheit. Bei einer einseitigen Toleranzgrenze ergibt dies bei der Vorgabe von 95%-Ergebnisabdeckung bei einer statistischen Sicherheit von 95% eine Anzahl durchzuführender Simulationsläufe von 59. Im Hinblick auf die Ermittlung einer maximalen Hüllrohrtemperatur bedeuten dies beispielsweise, dass der maximale, zeitunabhängige Wert der berechneten Hüllrohrtemperaturen aller 59 durchgeführten Rechenläufe das geforderte 95%/95%-Kriterium erfüllt. In der Literatur zu den unten aufgeführten [Anwendungsbeispielen](#) kann die GRS-Methode anschaulich nachvollzogen werden.

Auf Basis der durchgeführten Simulationsläufe zur Ausweisung der Unsicherheit können auch Sensitivitätsaussagen abgeleitet werden. Hierzu werden statistische Sensitivitätsmaße (z.B. Korrelationskoeffizienten, Regressionskoeffizienten oder Korrelationsverhältnisse) herangezogen.

Für die Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen für eine Ereignisanalyse mit ATHLET sind folgende Arbeitsschritte erforderlich:

1. Erstellung eines Eingabedatensatzes für ATHLET zur Nachbildung des zu untersuchenden Reaktors.
2. Auswahl derjenigen Eingabeparameter, deren Unsicherheiten für einflussreich auf das Ergebnis gehalten werden.
3. Quantifizierung der Parameterunsicherheiten
Für jeden der ausgewählten Eingabeparameter: Festlegung von Referenzwert, Wertebereich, Wahrscheinlichkeitsverteilung und evtl. weiterer Zusatzbedingungen und Abhängigkeiten, die im Zuge der Monte Carlo Simulation zu beachten sind.
4. Auswahl der Ergebnisparameter, für welche die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden sollen.
5. Durchführung der Variationsrechnungen mit ATHLET
6. Angabe quantitativer Unsicherheitsaussagen zu den Rechenergebnissen:
Aus der Gesamtheit der im vorhergehenden Schritt errechneten Ergebnisse werden quantitative Unsicherheitsaussagen, z. B. in Form von 95%/95% - Toleranzgrenzen und/ oder -bereichen hergeleitet.
7. Berechnung von Sensitivitätsmaßen:
Es erfolgt die Ermittlung der Rangfolge der Beiträge der einzelnen Eingangsunsicherheiten zur Ergebnisunsicherheit.
8. Darstellung und Interpretation der Analyseergebnisse:
Dazu zählen die resultierenden Unsicherheitsbereiche der Rechenergebnisse, die Sensitivitätsmaße und zusätzlich die gewonnenen Erfahrungen bei der Bestimmung der Wertebereiche und Wahrscheinlichkeitsverteilungen der unsicheren Modellparameter.

Die Anwendung der GRS-Methode bei der Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen wird durch das Programm **SUSA** ermöglicht. Dieses Programm unterstützt den Prozeß über den gesamten Arbeitsablauf. Weiterführende Informationen sind in den folgenden Dokumenten dargestellt:

- [Kurzbeschreibung SUSA \(GRS-Kompetenzseite\)](#)
- [SUSA Benutzerhandbuch und Anleitung \(pdf\)](#)
- Das Dokument "[Sensitivity analysis in the context of uncertainty analysis for computationally intensive models](#)" (pdf) gibt eine Hilfestellung in dem Umgang mit und in der Interpretation von Sensitivitätsmaßen (um z.B. Scheinkorrelationen weitestgehend ausschließen zu können).



Zentrale Elemente der GRS-Methode

Die Anwendung der GRS-Methode beinhaltet Methodenbausteine, deren Handhabung maßgeblich relevant für ein belastbares Ergebnis ist. Ferner ergeben sich bei der Durchführung einer Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse weiterführende methodische Fragestellungen. Einige Themen hierzu werden im Folgenden unter Angabe der weiterführenden Literatur dargestellt:

- Die Güte und Belastbarkeit des Ergebnisses wird wesentlich von der Quantifizierung der Eingangsunsicherheiten, d.h. von den Unsicherheiten im Kenntnisstand der Eingangsparameter geprägt. Die Wertebereiche und Verteilungen dieser Parameter haben unmittelbar Einfluss auf die zu ermittelnde Unsicherheit am Ergebnis und können auch direkt die statistischen Sensitivitäten beeinflussen.

Zur Bestimmung der Parameterunsicherheiten können u.a. folgende Dokumente hilfreich sein:

- [GRS-A-2911](#): Zusammenstellung von Methoden zur Quantifizierung von Parameter- und Modellunsicherheit unter Verwendung von Informationen aus Experimenten oder indirekter Experteneinschätzung
- [GRS-A-3279](#): In Abschnitt 5 dieses Berichts werden anhand der ATHLET-Modellparameter - Verdampfung bei kritischer Strömung - Turbulenzfaktor (TURB) und - Korrekturfaktor vertikaler Drift im Bündel (ODBUN) die Ermittlung der Parameterunsicherheiten unter Verwendung von Daten aus Einzeleffektexperimenten und Nachrechnungen gezeigt.
- [GRS-A-3443](#): In Abschnitt 3.5.1 werden alle unsicheren Eingangsparameter und deren Verteilungen zur Durchführung einer Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen für einen 2F-Bruch eines Referenz-DWR dargestellt.
- [ATHLET 2.2A Validation](#): In Abschnitt 6.4 werden alle unsicheren Eingangsparameter und deren Verteilungen zur Durchführung einer Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen für das Experiment LSTF Test SB-CL-18 dargestellt.
- Werden zur Ermittlung der Unsicherheit einer einseitigen Toleranzgrenze 59 Rechenläufe durchgeführt, so stellt zwar das Ergebnis die Einhaltung des 95%/95%-Kriteriums sicher, kann aber auch deutlich konservativer sein, da beispielsweise auch in 76% der Fälle das Ergebnis das 98%-Quantil überschreitet. Wie können diese "Konservativitäten" ohne zu große Zahl von Rechenläufen abgebaut werden?
 - [GRS-A-3443](#): In Abschnitt 2.1 wird die Konservativität von Unsicherheitsaussagen betrachtet.
- Wie können Unsicherheitsaussagen für mehrere Ergebnisgrößen durchgeführt werden?
 - [GRS-A-3443](#): In Abschnitt 2.2 werden multiple Unsicherheitsaussagen betrachtet.
- Lassen sich Sensitivitätsaussagen für Parametergruppen eines Teilmodells im Rechenprogramm gewinnen?
 - [GRS-A-3443](#): In Abschnitt 2.3 werden multiple Sensitivitätsindizes, welche eine methodische Ergänzung zur "einfachen Sensitivitätsanalyse" darstellen, untersucht.



Methodenvergleich

Die von der GRS vorgeschlagene Methode zur Bestimmung der Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen wird national und international zunehmend angewendet. Unabhängig hiervon wurden bzw. werden auch andere Methoden diskutiert und entwickelt. Hierzu gab bzw. gibt es internationale Vorhaben, aus denen die Beschreibung der unterschiedlichen Methodenansätze und ein Vergleich anhand von Anwendungsbeispielen ersichtlich wird.

In diesem Zusammenhang ist zunächst der **CSNI Workshop** zum Thema "**Uncertainty Analysis Method**" aus dem Jahre 1994 zu nennen. In diesem Rahmen wurden u.a.

- die Evaluierungsmethode CSAU (Codes Scaling, Applicability and Uncertainty),
- das Verfahren UMAE (Uncertainty Methodology based on Accuracy Extrapolation),
- die AEA-Methode und
- die GRS-Methode betrachtet.

Die Ergebnisse hierzu sind in einem zusammenfassenden Bericht ([Volume 1, \(pdf\)](#)) und einem 2. Band mit weiterführenden Methodenbeschreibung ([Volume 2, \(pdf\)](#)) dargestellt.

Die Anwendung dieser Methoden auf das Experiment LSTF-SB-CL-18 inkl. einer Bewertung wurden in der [UMS-Studie \(Uncertainty Method Study\) \(pdf\)](#) im Jahre 1998 veröffentlicht.

Im Jahre 2003 begann die OECD/NEA das Programm "Best Estimate Methods - Uncertainty and Sensitivity Evaluation (BEMUSE)". Dieses beinhaltet die Anwendung verschiedener Methoden der Uncertainty-Analyse

auf große Brüche und verfolgt folgende Ziele:

- die Bewertung der Praktikabilität, Qualität und Zuverlässigkeit der für die Reaktorsicherheit relevanten Best-Estimate-Analysen mit Quantifizierung der Unsicherheit,
- die Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses zu Fragen der Uncertainty-Analysen und
- die Förderung des Einsatzes solcher Methoden durch die Genehmigungsbehörden und die Industrie.

Das BEMUSE-Programm sah 2 Teile mit je 3 Phasen wie folgt vor:

- **Phase 1:** [\(pdf\)](#) Vorstellung der von den Teilnehmern zur Berechnung verwendeten Unsicherheitsmethodik
- **Phase 2:** [\(pdf\)](#) Nachrechnung des LOFT Experimentes L2-5 (einschließlich ausgewählter Parameterstudien bzw. Sensitivitätsanalysen).
- **Phase 3:** [\(pdf\)](#) Durchführung und Bewertung der Uncertainty-Analysen zu den Nachrechnungen des LOFT Experimentes mit ersten Schlussfolgerungen der angewandten Methodik und Vorschlägen für Verbesserungen.
- **Phase 4:** [\(pdf\)](#) Best-Estimate-Rechnung eines großen Bruchs für eine Referenzanlage (Anlage Zion in den USA) [Teil 2 \(pdf\)](#) (Anhänge A bis D) und [Teil 3 \(pdf\)](#) (Anhänge E bis G)
- **Phase 5:** [\(pdf\)](#) Durchführung von Uncertainty- und Sensitivitätsanalysen zu den Rechnungen für Zion (mit und ohne Verbesserungen aus Phase III) sowie Bewertung der Ergebnisse.
- **Phase 6:** [\(pdf\)](#) Statusbericht über die Arbeiten mit Klassifizierung der Methoden, Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Ein weiterer Methodenvergleich aus dem Jahr 2008 ist auch dem IAEA-Dokument der Safety Report Series No.52 "Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation" [\(pdf\)](#) zu entnehmen.



Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sind einige, der bei der GRS durchgeführten Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen aufgeführt.

GRS-Bericht	Jahr	Untersuchungsgegenstand	Weitere Informationen
GRS-A-3462	2009	<ul style="list-style-type: none">• ROSA / LSTF Versuch SB-PV-09	ATHLET 2.1B
GRS-A-3443	2008	<ul style="list-style-type: none">• 200%-Bruch (CL) DWR Zion (USA)• ThAI TH13 - ISP 47 (Experiment)	ATHLET 2.1B ASTEC (CPA)
GRS-A-3438	2008	<ul style="list-style-type: none">• 200%-Bruch (CL) Referenz-DWR (Reaktorleistung = 4000 MW)	ATHLET 2.1A
GRS-A-3436	2008	<ul style="list-style-type: none">• 200%-Bruch (CL) Referenz-DWR (Reaktorleistung = 4240 MW)	ATHLET 2.1A
GRS-A-3382	2007	<ul style="list-style-type: none">• 10% Frischdampfleitungsleck	ATHLET 2.0B
GRS-A-3367	2006	<ul style="list-style-type: none">• nicht absperbarer 10%-Bruch in der Frischdampfleitung innerhalb des Containments	ATHLET 2.0B

GRS-A-3279	2005	<ul style="list-style-type: none"> • 200%-Bruch (CL) Referenz-DWR (Reaktorleistung = 3765 MW) 	ATHLET 2.1A
GRS-A-3280	2005	<ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnung Experiment HDR T31.5 	COCOSYS
GRS-A-2963	2001	<ul style="list-style-type: none"> • LSTF-SB-CL-18 (Experiment) (5%-kaltseitiges-Leck) • 5%-Leck Referenz-DWR • LOFT L2-5 (Experiment) 	ATHLET 1.2A ATHLET 1.2B ATHLET 1.2C
GRS-A-2522	1997	<ul style="list-style-type: none"> • 5%-Leck (CL) Referenz-DWR 	ATHLET 1.1D
GRS-A-2496	1997	<ul style="list-style-type: none"> • LSTF-SB-CL-18 (Experiment) (5%-kaltseitiges-Leck) 	ATHLET 1.1A



Weitere Literatur

In den folgenden ausgewählten Dokumenten finden sich weitere Informationen mit Bezug zur Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen.

- Glaeser, H., [GRS Method for Uncertainty and Sensitivity Evaluation of Code Results and Applications](#), Research Article, Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2008
- Rehbom, H., Fischer, K.C., et. al., [Stellungnahme des VdTÜV zum Stand der Nachweismethoden für die Thermohydraulik bei Notkühl- und Schadensumfangsanalyse für Kühlmittelverluststörfälle](#), atw, 50. Jg. (2005) Heft 3, März 2005
- [IAEA-TECDO-1418](#), Implications of power uprates on safety margins of nuclear power plants, September 2004
- [IAEA-TECDO-1332](#), Safety margins of operating reactors, Analysis of uncertainties and implications for decision making, Januar 2003



Anhang B Auszug aus dem SfH: Einführung im Umgang mit ATHLET

Einführung im Umgang mit ATHLET

Im Folgenden werden einige grundlegende Informationen und anschließend praktische Beispiele gegeben, um einen Einstieg im Umgang mit dem Simulationscode ATHLET zu fördern.

ATHLET Basistraining (Stand: 2010)

Teil 1

- [Content Basic Training Course \(pptx\)](#)
- [The Thermo-hydraulic System Code ATHLET - A first Overview \(pptx\)](#)
- [ATHLET Thermo-Fluiddynamic Network Elements and their Linkage \(pptx\)](#)
- [Heat Conduction and Heat Transfer Module HECU \(pptx\)](#)
- [The General Control Simulation Module GCSM \(pptx\)](#)
- [Component Models in ATHLET \(pptx\)](#)
- [Steady State Calculation in ATHLET \(pptx\)](#)
- [Characteristics of ATHLET Input Data \(pptx\)](#)
- [How to Run ATHLET on Different Computer Platforms \(pptx\)](#)
- [ATHLET Support Software \(pptx\)](#)

Die Voraussetzungen sind nun für die ersten Übungsaufgaben geschaffen!

Teil 2

- [Momentum Flux Term in ATHLET \(pptx\)](#)
- [Specification of Flow Losses on PWR Primary System Simulation with ATHLET \(pptx\)](#)
- [Multi-Channel Representation of a Reactor Pressure Vessel with ATHLET \(pptx\)](#)
- [Boron Transport Model in ATHLET \(pptx\)](#)
- [Non-Condensable Gas Simulation in ATHLET \(pptx\)](#)
- [ECC Injection Models in ATHLET \(pptx\)](#)
- [ATHLET Time Advancement Method FEBE \(pptx\)](#)
- [Radiation Model in ATHLET / ATHLET-CD \(pptx\)](#)
- [Code Systems with ATHLET \(pptx\)](#)
- [The Analysis Simulator ATLAS \(pptx\)](#)

Übungsbeispiele

Die folgenden Übungsbeispiele dienen dazu, anhand von Aufgaben den Umgang mit ATHLET zu üben. Diese wurden für die Anwendung mit der Version ATHLET 2.2 Cycle A vorbereitet.

Schritt 1: "Warm-up"

Als Einstiegsdatensatz dient für die folgenden Übungen der Datensatz "**sample1.in**". Hierbei handelt es sich um einen rudimentären DWR-Datensatz, bei dem einviertel eines Kerns und entsprechend auch nur ein Loop modelliert sind.

Übungen

1. Nachvollziehen der Struktur des Eingabedatensatzes

Hilfestellungen / Lösungen

Basistraining: "Characteristics of ATHLET Input Data"

2. Änderung der Simulationsdauer (TE) auf 10 Sekunden	Eingadatenatz CW: Control; siehe hierzu auch Eingabedatenatzbeschreibung
3. Starten einer Rechnung	Basistraining: "How to Run ATHLET on Different Computer Platforms"
4. Darstellen der erzielten Ergebnisse mittels JSPlot, Excel und Quickplot	Basistraining: "ATHLET Support Software" Hinweis: Eine Auflistung der berechneten Größen ist im 6. Abschnitt des User Manuals zu finden.

Schritt 2: Einen Datensatz "lesen" lernen

Übungen

Hilfestellungen / Lösungen

1. Erzeugen einer ATHLET Input Grafik des Datensatzes	Basistraining: "ATHLET Support Software", siehe auch Beispielsvorlage
2. Wie erfolgt die Eingabe der Reaktorleistung im Datensatz?	
<ul style="list-style-type: none"> • Objektname und -daten des TH Kernkanals? • Objektname und -daten des an dem TH Kernkanal angebotenen Wärmeleitobjekts? • Wie viele unterschiedliche Brennstäbe und wie viele Brennstäbe insgesamt sind im Wärmeleitobjekt dargestellt? • Name und -daten des Brennstabobjektes? • Axiale Leistungsverteilung des Brennstabs? • Leistung pro Brennstab? • Gesamtkernleistung? 	<ul style="list-style-type: none"> • PV-COR1 • HPV-COR1-1 • 1 / 11400 • ROD11 • siehe K---- ROD11 • 82957.2 W • 945,7 MW
3. Durchführung einer Rechnung nach Änderung der Simulationsdauer auf 50 s	
<ul style="list-style-type: none"> • Welches Ereignis wird simuliert? • Durch welche Eingabe wurde das Ereignis ausgelöst? • Welche Randbedingungen des Modells werden durch das Signal "LOCA" initiiert und damit vorgegeben? 	<ul style="list-style-type: none"> • KMV • GCSM Control-Signal "LOCA" bei t = 10 s • DPP-MCP, DPP-FWP, A-VALVE1, A-FWWALVE, A-STVALVE, Q-CORE, CONDTEMP, SPCONTAIN, SHCONTAIN

Schritt 3: Erweiterungen am Datensatz durchführen

Übungen

Hilfestellungen / Lösungen

1. Implementierung eines neuen Heißstabes im bestehenden Kernkanal	Lösung durch Vgl. mit folgendem Datensatz
2. Implementierung eines neuen Kernkanals für den Heißstab	Lösung durch Vgl. mit folgendem Datensatz
3. Berechnung der Aufwärmspanne unter Nutzung von GCSM-Signalen	Lösung durch Vgl. mit folgendem Datensatz
4. Erweiterung des 1/4-Modells auf 1/1-Modell	Lösung durch Vgl. mit folgendem Datensatz

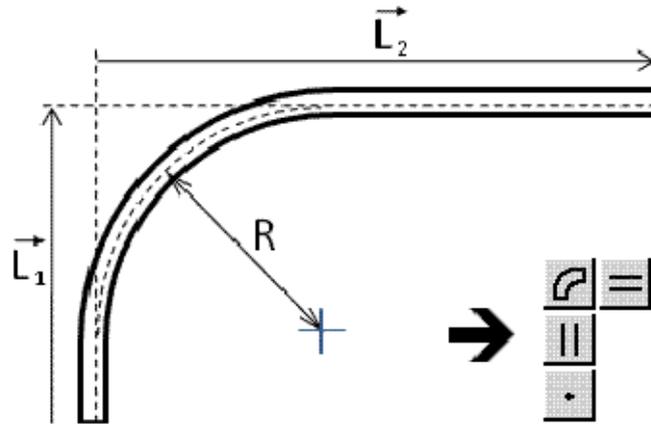
Anhang C Auszug aus dem SfH: Bedienungs-Hilfe zur Modellierung von Rohrleitungen mittels ATHLED

Geometrische Daten zu Rohrleitungen liegen oft in der Form von sogenannten Rohrleitungsisometrien vor. Bei dieser Darstellungsform wird die räumliche Orientierung und Länge von Rohrleitungsabschnitten durch die Weglängenabschnitte in drei Raumrichtungen angegeben. Für gebogene Rohrstücke (sog. Krümmer) ist meist der Radius und Winkelabschnitt angegeben.

Für die Erstellung von Datenbasen ist es nötig, Rohrleitungsisometrien in ATHLET Geometrie-Daten zu übersetzen (s. [Erklärung des PW GEOMETRY im ATHLET Manual](#)). Es wäre aufwändig diese Geometriedaten mittels eines Texteditors einzugeben. Hier hilft das von der GRS entwickelte Hilfsprogramm ATHLED. Für eine Einführung in dieses Programm sei auf die folgende Präsentation [ATHLED_into](#) verwiesen.

Da die Bedienung aber für den Benutzer anfangs recht ungewohnt sein kann, soll im Folgenden auf spezielle Eigenheiten des Hilfsprogramm ATHLED eingegangen werden:

- Die Oberfläche besteht aus zwei Fenstern, einem Auswahlfenster mit verschiedenen Komponenten und einem Zeichnungsfenster zum Zusammensetzen dieser Komponenten. Das Einfügen von Komponenten geschieht nicht mittels "Drag and Drop", sondern durch drei linke Mausklicks (Komponente im Auswahlfenster; Zeichnungsfenster; gewünschte Position).
- Nach Einfügen einer Komponente ins Zeichnungsfenster werden die Eigenschaften der Komponente folgendermaßen editiert:
 1. Linksklick auf die Komponente im Zeichnungsfenster
 2. Mittlere Maustaste Drücken und gedrückt halten
 3. `Attributes` auswählen und die mittlere Maustaste wieder loslassen
- Es wird im Zeichnungsfenster grundsätzlich von links nach rechts gearbeitet, d.h. es kann eine Komponente rechts neben dem Ende der Leitung eingefügt werden. Auch ist es möglich, die Leitung nach oben oder nach unten im Zeichnungsfenster zu erweitern, nicht aber nach links. Diese Eigenschaft erlaubt es NICHT die einmal festgelegte "Strömungsrichtung" (Richtung in der die Modellierung aufgesetzt wurde durch verschieben des Startpunktes an das Ende umzudrehen. Aus diesem Grund sei darauf hingewiesen, dass zu Beginn der Modellierung die Richtung feststehen muss (typischerweise vom RDB bzw. Primärkreis weg).
- Die erste Komponente der Rohrleitung muss ein "Punkt-Symbol" sein. In den Eigenschaften werden hier die Anfangskoordinaten der Rohrleitung definiert, wobei aber nur die Z-Koordinate für ATHLET eine Bedeutung hat.
- Nach dem Punkt-Symbol folgt meist ein gerades Rohrstück. Hier wird in den Eigenschaften X-, Y- und Z-Wegabschnitt angegeben. Diese Werte können direkt der Rohrisometrie entnommen werden. Bei dem ersten geraden Rohrstück der Leitung muss außerdem der Leitungsdurchmesser angegeben werden. Dieser wird dann für die folgenden Komponenten automatisch übernommen. Die Parameter Wandstärke (`Thickness`) und `Material` sind nur von Bedeutung, wenn auch `Heat-Conduction` Daten erzeugt werden sollen.
- Krümmer müssen stets zwischen zwei geraden Rohrstücken positioniert sein. Hierbei ist folgendes zu beachten:
 - Bei den Eigenschaften des Krümmers muss lediglich der Radius R angegeben werden. Der Winkelabschnitt und die Koordinaten des Kreismittelpunktes werden dann automatisch aus der Orientierung der anliegenden Rohrstücke berechnet. Die im Krümmer-Symbol dargestellte Krümmungsrichtung passt sich ebenfalls automatisch an.
 - Für die geraden Rohrstücke werden X- Y- und Z-Wegabschnitte angegeben. Die Länge der durch diese Wegabschnitte definierten Vektoren ergibt sich aus dem Schnittpunkt der beiden an den Krümmer anschließenden Orientierungsgeraden (s. Bild unten). Die für ATHLED nötige Eingabe entspricht hier genau den Werten, die in Rohrisometrie-Zeichnungen zu finden sind.



- Wurde die Rohrleitung auf der Zeichnungsebene fertig erstellt, so muss im Menü `edit→create` aufgerufen werden. Anschließend können über `edit→edit object` die ATHLET-Eingabedaten nach Schlüsselwörtern sortiert eingesehen und nachbearbeitet werden. Hier sollte insbesondere ein Name für das Objekt angegeben werden.
- Zur Konsistenzprüfung empfiehlt sich folgendes Vorgehen:
 0. Überprüfung ob die von ATHLED berechneten Winkelabschnitte der Krümmen mit den Angaben in der Rohrisometrie übereinstimmen.
 1. Überprüfung ob die von ATHLED berechneten Höhenkoordinaten mit den Angaben in der Rohrisometrie übereinstimmen.
- Um einen Fehler in der Software zu umgehen, der zu einer falschen Reihenfolge der Pseudo-Keywords in der Ausgabe-Datei führt, sollte zum Speichern der Rohrleitung folgendermaßen vorgegangen werden:
 1. `file→save as` (Dateinamen angeben)
 2. `file→reload document`
 3. `file→save`

Anhang D Auszug aus dem SfH: Neuerstellung eines Datensatzes

Neuerstellung eines ATHLET-Datensatzes

Inhalt

- 1. Grundversion (KMV, großer Bruch)
- 2. Version (KMV ohne DEHEIRO)
- 3. Version (Transienten und DEHEIRO)
- 4. Version (Erweiterung zum Analysesimulator)

Allgemeine Anmerkungen

Grundlegendes Entwicklungsziel ist, ein Optimum zwischen Analysegenauigkeit und der Modellierungsvereinfachung zu erzielen. Aufgrund der Komplexität eines anlagenspezifischen Analysesimulators ist es ratsam, in den ersten Entwicklungsschritten, Systeme und Regelungen stark vereinfacht nachzubilden und später, Zug um Zug, je nach verfolgtem Einsatzziel die Modellierungstiefe zu erhöhen.

Die folgende Darstellung zeigt grundsätzliche Entwicklungsschritte, die angefangen von einer ersten Version eines Anlagendatensatzes bis hin zum anlagenspezifischen Analysesimulator durchzuführen sind. Mit Hilfe der ATHLET-Input-Grafik (AIG) können Topologie, Objekte, Wärmeleitobjekte, Pumpen und Ventile in geometrischer Hinsicht überprüft werden. Bereits ab den ersten Schritten der Datensatzerstellung ist darüber hinaus die Nutzung der Analyseumgebung ATLAS sinnvoll, um Parameterverläufe als Trends darzustellen, bzw. in Form von Flaschfarbengrafiken verfolgen zu können.



Erstellen einer 1. Grundversion eines Anlagendatensatzes

Ziel der Entwicklung: Simulation des KMV-Störfalls "großer Bruch"

Charakteristische Merkmale:

- Minimum an Leittechnik (wenig betriebliche Regelungen, keine Begrenzungssysteme) => einfachster Datensatz
- sehr schneller Ablauf des Ereignisses ist aber nicht zu erwarten, weil die Leckausströmung zunächst sehr kleine Zeitschritte erzeugt.
- rudimentäre Nachbildung der Sekundärseite ausreichend

1. Schritt: Nachbildung RDB

Modellierungsumfang und -notizen:

- thermofluiddynamische Nachbildung des Reaktordruckbehälters auf Basis einer vorhandenen Vorlage
- Randbedingungen am Ein-/Austritt durch Fill und Time-Dependent-Volume bestimmt
- Wärmeerzeugung wird zunächst durch HEATADD simuliert
- stationäre Daten (bei Nennleistung) werden verwendet

Entwicklungsziele:

- Einstellen der Druckverluste
- Einstellen der Strömungsverteilungen (z.B. Bypässe)

Entwicklungsumgebung: Es existieren hierzu keine Unterstützungswerkzeuge, so dass "von Hand" im Eingabedatensatz (z.B. *.inp - Datei) gearbeitet werden muss.

2. Schritt: a) Nachbildung Dampferzeuger und b) Primärkreislauf

Modellierungsumfang und -notizen a):

- thermofluiddynamische Nachbildung der Dampferzeuger (DE), ggf. auf Basis vorhandener Vorlagen
- Randbedingungen am primär- und sekundärseitigen Ein-/Austritt durch Fill und Time-Dependent-Volumes vorgegeben

Modellierungsumfang und -notizen b):

- thermofluiddynamische Nachbildung der "noch ausstehenden" Primärseite (Hauptkühlmittelleitungen - HKML, Hauptkühlmittelpumpen - HKMP, Druckhalter - DH) und Verbinden der Modelle für RDB und DE
- Modell der HKMP u.a. abhängig von den zur Verfügung stehenden Unterlagen (Q/H-Kennlinie, homologe Kurven etc.)

Entwicklungsumgebung: Es existieren hierzu keine Unterstützungswerkzeuge, so dass "von Hand" im Eingabedatensatz (z.B. *.inp - Datei) gearbeitet werden muss.

3. Schritt: ggf. weitere Primärkreiskomponenten

Ggf. kann es notwendig sein, weitere Primärkreiskomponenten zu modellieren. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn es einen separaten Moderatorkreis gibt.

4. Schritt: Erweiterung um ein Kernmodell (punktkinetisches Modell)

Entwicklungsziele:

- Einfügen eines Brennstabmodells (HECU)
- Vorgabe der axialen Leistungsverteilung (ROD)
- Test mit Wärmeerzeugung durch ein GCSM-Signal
- Einfügen des neutronenkinetischen Punktmodells

Entwicklungsumgebung: Es existieren hierzu keine Unterstützungswerkzeuge, so dass "von Hand" im Eingabedatensatz (z.B. *.inp - Datei) gearbeitet werden muss.

5. Schritt: Vereinfachte thermofluiddynamische Modellierung der Not- und Nachkühlsysteme (inkl. Druckspeicher)

Entwicklungsumgebung: Im Falle vorliegender Isometrien kann ATHLED (künftig: CIAO - Conversion of Isometrics to ATHLET Objects) herangezogen werden. Ansonsten sind nur die wichtigsten Komponenten und deren Verknüpfung nachzubilden: Akku's, Pumpen (SEP und Not- und Nachkühlpumpen), ausgewählte Ventile und Leitungen.

6. Schritt: Erstellung der für den großen Bruch benötigten Leittechnik

Modellierungsumfang und -notizen::

- Reaktorschutzsystem
- Ansteuerung Not- und Nachkühlsystem
- Zum Teil sind die Regelungen parallel zu den Systemen/Komponenten zu entwerfen

Entwicklungsumgebung: Die Regelungen werden mit G2 entwickelt.

7. Schritt: Leckmodelle

Modellierungsumfang und -notizen:

- Einbau des Modells zur Simulation des Lecks
- Einfaches Containment-Modell (z.B. time-dependent-volume mit Vorgabe des Umgebungsdrucks)
- Ausströmmodell

Entwicklungsumgebung: Zur Erstellung des thermodynamischen Grundmodells existieren keine Unterstützungswerkzeuge, so dass "von Hand" in der *.in - Datei gearbeitet werden muss.



2. Version (KMV ohne DEHEIRO)

Ziel der Entwicklung: Simulation von KMV-Störfall-Spektrums (ohne DEHEIRO)

Grundsatz: Je geringer dabei die Leckgröße wird, desto anlagenspezifischer ist das Modell zu erstellen.

(Ergänzung: Angeregt durch das RS-System finden nahezu alle automatischen Maßnahmen bei DEHEIRO über die Begrenzungen statt!)

Charakteristische Merkmale:

- Sekundärseite ist bei kleinen Lecks und Mini-Lecks notwendig
- keine Begrenzungssysteme notwendig

Erweiterung Primärseite

Modellierungsumfang und -notizen:

- thermofluidynamische Nachbildung des DH-Abblasebehälters, Abblaseventil, Sicherheitsventile, etc.
- Volumenregelsystem mit Boreinspeisesystem (GCSM)
- Zusatzboriersystem (GCSM)
- Entwicklung weiterer Modelle zur Simulation primärseitiger Lecks

Entwicklungsumgebung: Die Nachbildung als GCSM-Modelle kann mittels G2 erfolgen.

Erweiterung Sekundärseite

Modellierungsumfang und -notizen:

- Frischdampfsystem (thermofluidynamisch)
- FD-Armaturenstation (thermofluidynamisch / GCSM)
- Turbinenschnellschluss- und Stellventile (thermofluidynamisch / GCSM)
- Turbosatz und Anzapfungen (GCSM)
- FD-Umleitsystem (thermofluidynamisch / GCSM)
- Kondensatsystem (GCSM)
- Speisewassersystem inkl. Speisewasserbehälter (thermofluidynamisch / GCSM)
- Notspeisesystem (GCSM)

Entwicklungsumgebung: Die Nachbildung als GCSM-Modelle kann mittels G2 erfolgen.

Erweiterung Leittechnik

Modellierungsumfang und -notizen:

- MKMT-Regelung
- Kühlmitteldruckregelung
- DE-Füllstandsregelung

- FD-Max-Druck-Regelung
- Turbinenregler
- Erweiterung Reaktorschutz
- Kondensatablaufregelung
- Stützdampfregelung

Entwicklungsumgebung: Die Nachbildung als GCSM-Modelle kann mittels G2 erfolgen.



3. Version (Transienten und DEHEIRO)

Ziel der Entwicklung: Simulation von Transienten (z.B. Ausfall Hauptwärmesenke, Ausfall HKMP, Notstromfall, Station Black Out und DEHEIRO)

Grundsatz: Je stärker die Anwendung auf Transienten, desto anlagenspezifischer werden die zu simulierenden Prozesse.

Leittechnische Erweiterungen

- Erweiterung der Reaktorleistungsbegrenzungen
- Reaktorleistungsregelung
- Erweiterung Turbinenregler
- Elektrische Stromversorgung



4. Version (Erweiterung zum Analysesimulator)

Ziel der Entwicklung: Umfangreicher anlagenspezifischer Analysesimulator

Charakteristische Merkmale:

- Bedienung der zur Simulation des Transientenspektrums notwendigen Eingriffe über Simulatorbilder (interaktive Oberflächen)
Dies bedeutet einen erheblichen Aufwand, wobei auch Funktionen bereitzustellen sind, die in der Anlage nicht existieren.
- Ergebnisauswertung über Simulatorbilder und Trendsets in ATLAS

Erweiterungen

Die Erweiterungen im Datensatz sind fallspezifisch zu prüfen, je nach gewünschtem Umfang und geplantem Einsatzgebiet des Analysesimulators.



