



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# SCHRIFTENREIHE REAKTORSICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

**AUSGEWÄHLTE PROBABILISTISCHE BRANDANALYSEN  
FÜR DEN LEISTUNGS-UND NICHTLEISTUNGSBETRIEB  
EINER REFERENZANLAGE MIT SIEDEWASSERREAKTOR  
ÄLTERER BAUART**

**BMU - 2005-666**



WIR STEUERN UM AUF ERNEUERBARE ENERGIEN.

**BMU – 2005-666**

**„Ausgewählte probabilistische Brandanalysen für den  
Leistungs-und Nichtleistungsbetrieb einer  
Referenzanlage mit Siedewasserreaktor  
älterer Bauart“**

**M. Röwekamp**

**M. Türschmann**

**W. Klein-Heßling**

**J. von Linden**

**E. Piljugin**

## **IMPRESSUM**

Dieser Band enthält einen Abschlussbericht über ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördertes Vorhaben. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BMU übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Eigentümer behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichts vor.

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

### **Herausgeber:**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat RS I 2  
Postfach 12 06 29  
53048 Bonn

ISSN 1612-6386

Erscheinungsjahr: 2005

## Kurzfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Weiterentwicklung von Methoden zur Durchführung probabilistischer Brandanalysen. Die verbesserte und systematisierte Methodik wurde beispielhaft zur Analyse von Brandereignissen in einer Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart angewendet. Dabei wurden sowohl Anlagenzustände des Leistungsbetriebs als auch des Nichtleistungsbetriebs betrachtet.

Es war nicht das Ziel der vorliegenden Studie, eine vollständige Brand-PSA für den Leistungsbetrieb und Nichtleistungsbetrieb der Referenzanlage durchzuführen. Vielmehr sollten die methodischen Weiterentwicklungen nur beispielhaft für die Referenzanlage erprobt werden.

Die generelle Vorgehensweise basiert auf den in einem separaten Bericht dargestellten methodischen Weiterentwicklungen zum mehrstufigen Auswahlverfahren (Screening) als erstem Schritt einer Brand-PSA. Die dazu erforderliche brand- und raumspezifische Informationssammlung erfolgt durch Sichtung aller verfügbaren Unterlagen zu den anlagen- und brandspezifischen Gegebenheiten der Referenzanlage. Ergänzt und verifiziert werden die der Anlagendokumentation entnommenen Informationen durch umfangreiche Anlagenbegehungen. Die Informationssammlung und -auswertung erfolgt datenbankgestützt.

Für die exemplarischen probabilistischen Analysen zu Bränden, die während des Leistungsbetriebs auftreten, wurden alle benötigten anlagenspezifischen Daten und Informationen für einige ausgewählte Gebäude der Referenzanlage (u. a. Reaktorgebäude ohne Sicherheitsbehälter, Schaltanlagegebäude) zusammengestellt. Anschließend wurde das Auswahlverfahren für diese Gebäude durchgeführt. In einem weiteren Schritt wurden, ausgehend von einem unterstellten Brand in einem zuvor mittels des Auswahlverfahrens ermittelten Raumbereich im Reaktorgebäude, der brandspezifische Ereignisablauf unter Einbeziehung von Brandsimulationsrechnungen aufgestellt, dessen Endzustände klassifiziert und die so erhaltenen probabilistischen Ergebnisse in das mit Fehler- und Ereignisbäumen beschriebene Anlagenmodell eingebunden.

Brandsimulationsrechnungen wurden für einen sicherheitstechnisch relevanten großen Raumbereich (Rohrleitungsbühne) im Reaktorgebäude sowie für einen großen Kabelraum im Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude durchgeführt. Diese Rechnungen ergaben für den Raumbereich im Reaktorgebäude, dass infolge des großen Raumvolumen, aus der klaren räumlichen Trennung von Komponenten und Kabeln verschiedener Redundanzzugehörigkeit durch Abstand und auch durch die vorhandenen Brandschutzbeschichtungen der Kabel nur Komponenten in unmittelbarer Nähe des eigentlichen Brandentstehungsortes durch Brandeinwirkung in ihrer Funktion beeinträchtigt werden können. Redundanzübergreifende Brandschäden sind nicht zu unterstellen.

Die rechnerischen Analysen für den Kabelraum im Schaltanlagegebäude führten zu dem Ergebnis, dass - je nach Lage der vom Brand direkt oder indirekt betroffenen Kabel - von einem Funktionsausfall der Kabel nach einer Zeitspanne von 6,5 - 15 min auszugehen ist. Außerdem muss eine Brandausbreitung auf den Kabeltrassen unterstellt werden, womit nach rund 7 min nahezu alle Kabel bestimmter Trassen als ausgefallen anzunehmen sind. Da die endgültigen Ergebnisse des Auswahlverfahrens eine geringe PSA-Relevanz dieses Raumbereichs erwarten ließen, war es nicht erforderlich, einen brandspezifischen Ereignisablauf aufzustellen und seine Endzustände zu klassifizieren. Die Ergebnisse der Brandsimulationsrechnungen lassen sich aber auf andere, nach dem Auswahlverfahren als relevant auszuwählende Räume bzw. Raumbereiche mit einem höheren Anteil an Kabeln übertragen und für die dortigen Detailanalysen nutzen.

Für Anlagenzustände des Nichtleistungsbetriebs waren auftragsgemäß vor allem mögliche Unterschiede in der Vorgehensweise bei den Analyseschritten Informationssammlung und Auswahlverfahren gegenüber dem Leistungsbetrieb herauszuarbeiten und zu prüfen, ob und inwieweit sich die Methodik für den Leistungsbetrieb auf den Nichtleistungsbetrieb übertragen lässt. Demzufolge erfolgte zunächst ebenfalls eine auf die für diese Betriebsphasen methodisch angepasste und entsprechend datenbankgestützte Informationssammlung. Auf Basis der für den Nichtleistungsbetrieb veränderten anlagenspezifischen Daten aus der Informationssammlung wurden Unterschiede bei der Anwendung des Auswahlverfahrens für den Nichtleistungsbetrieb festgestellt und erläutert.

Der große Raumbereich der Rohrleitungsbühne im Reaktorgebäude wurde ebenfalls detaillierten Analysen unterzogen. Diese beinhalten die Aufstellung und Quantifizierung

der probabilistischen Analyseketten ausgehend von der angenommenen Brandentstehung im ausgewählten Raumbereich, die Bestimmung der raumbezogenen Eintrittshäufigkeit, den sich unter Einbeziehung von Brandsimulationsrechnungen ergebenden brandspezifischen Ereignisablauf sowie die Einbindung der Ergebnisse in das mit Fehler- und Ereignisbäumen beschriebene Anlagenmodell im Nichtleistungsbetrieb. Die Brandeintrittshäufigkeit wurde unter Berücksichtigung der während des Nichtleistungsbetriebes stattfindenden Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten ermittelt. Die anlagenspezifische Auswertung ergab eine mittlere Brandeintrittshäufigkeit von  $3,5 \cdot 10^{-3}/a$  für den Nichtleistungsbetrieb. Die Analysen zeigen, dass bei allen in der PSA für den Nichtleistungsbetrieb untersuchten Betriebsphasen ein auslösendes Ereignis durch einen in diesem Raumbereich unterstellten Brand nicht zu erwarten ist. Die Brandauswirkungen im unmittelbaren Bereich der Brandentstehung können jedoch im untersuchten Fall zu einer Beeinträchtigung von Komponenten der in Bereitschaft stehenden verfahrenstechnischen Redundanz führen.

## Abstract

This report outlines the development of advanced methods for performing probabilistic fire risk analyses. The improved systematic methodology has been exemplarily applied for analysing fire events in a reference nuclear power plant with boiling water reactor designed to earlier standards during full power as well as low power and shutdown plant operational states.

It was not in the scope of this study to carry out a complete fire PSA for full power as well as for low power and shutdown states of the reference plant. However, the improved methodological approach should be exemplarily tested for the reference plant.

The general approach is based on improvements in the methodology with regard to the multi-step screening procedure as a first step of a fire PSA. Basis for the screening is a comprehensive plant and fire specific information collection for the reference plant. The information from the plant documentation is completed and verified by extensive plant walk-downs. The information collection and data processing is supported by establishing a flexible data base.

For the exemplary probabilistic analyses of fires during full power operation the required plant specific data and information have been collected for selected buildings (e.g. reactor building without containment, switchgear building) to perform the screening. In a further step, the fire specific event tree has been developed for a fire to be assumed in a plant area selected by the screening of the reactor building under consideration of the results of fire simulations. The final states of the event tree have been classified and the probabilistic results have been included in the plant PSA model with its event and fault trees.

Fire simulations have been performed for a safety related large plant area (piping platform) inside the reactor building as well as for a large cable room in the switchgear building. For the area inside the reactor building, the results lead to the conclusion that due to the large volume of the compartment, the physical separation of equipment and cables belonging to different redundant trains by space, as well as to existing protective cable coatings only components in the close vicinity of the fire source can be impaired by the fire. Fire induced damages in several redundancies are not to be assumed.

The calculations for the cable room in the switchgear building gave the result that depending on the location of the cables being affected directly or indirectly by the fire, functional failures can be assumed after a period of 6.5 - 15 min. Furthermore, fire propagation on the cable trays has to be assumed, resulting in failures of nearly all cables on specific trays after approximately 7 min. The final results of the screening showed that the PSA relevance of this compartment is relatively low; therefore it was not necessary to develop a fire specific event tree and to classify its final states. Nevertheless, the results of the fire simulations can be applied in the frame of detailed analyses to be carried out for other rooms with a high amount of cables selected as significant ones by the screening.

One task of the project was to point out potential differences in the analytical steps information collection and screening between low power and shutdown states in comparison to full power operational states. Furthermore, it should be checked, if and in how far the methodological approach used for full power operational states can be also applied to low power and shutdown states. Therefore, in a first step, an information collection adapted to these plant operational states has been performed supported by a computerised data base. Based on the plant specific data considering low power and shutdown boundary conditions differences in the application of the screening approach for these plant operational states have been found and explained.

The large area of the piping platform again has been subject of detailed analyses including the development and quantification of the probabilistic analysis chain starting with a fire occurring in the selected compartment. It also includes the estimation of compartment specific fire occurrence frequency, the fire specific event tree considering results of fire simulations and the application of the results of the plant specific PSA model for low power and shutdown states described by event and fault trees. The fire occurrence frequency has been estimated taking into account maintenance and repair work during low power and shutdown. The plant specific estimation results in a medium fire occurrence frequency of  $3.5 \text{ E-}03/\text{a}$  for low power and shutdown states. The analyses clearly show that an initiating event is not to be assumed for all low power and shutdown plant operational states analysed in the PSA in case of a fire in this plant area. However, components of the process-oriented safety train in stand-by in the close vicinity of the fire source may be impaired by the fire effects.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Auswahlverfahren</b> .....	<b>6</b>
2.1	Verfahren zur Identifizierung brandrelevanter Raumbereiche.....	6
2.2	Informationssammlung zur Durchführung des Auswahlverfahrens.....	9
2.2.1	Gebäude- und Raumidentifikation.....	11
2.2.1.1	Welche Gebäude der Anlage werden in die probabilistische Analyse einbezogen?.....	11
2.2.1.2	Raumidentifikation.....	15
2.2.2	Raumgeometrie.....	18
2.2.3	Brandspezifische Raumdaten .....	19
2.2.3.1	Brandbelastung .....	20
2.2.3.2	Brandmeldung .....	23
2.2.4	Brandbekämpfung.....	24
2.2.5	Raumnutzung.....	25
2.2.6	Anwesenheit von Personal in Räumen .....	26
2.2.7	Informationsbasis zur Durchführung der Brand-PSA (Zusammenfassung) .....	27
2.3	Durchführung des Auswahlverfahrens für den Leistungsbe trieb.....	30
2.3.1	Räume im Reaktorgebäude ZA.....	31
2.3.1.1	Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	31
2.3.1.2	Anwendung des Auswahlkriteriums 3 .....	36
2.3.1.3	Ergebnisse des Auswahlverfahrens nach Anwendung des Auswahlkriteriums 3 .....	46
2.3.2	Räume im Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude ZE .....	56
2.3.2.1	Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	57
2.3.2.2	Anwendung des Auswahlkriteriums 3 .....	60
2.3.3	Räume im USUS-Gebäude ZV .....	64
2.3.3.1	Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	65
2.3.3.2	Anwendung des Auswahlkriteriums 3 .....	66

2.3.4	Räume im Dieselgebäude ZK .....	68
2.3.4.1	Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	69
2.3.4.2	Anwendung des Auswahlkriteriums 3 .....	70
2.4	Anwendung des Auswahlverfahrens für den Nichtleistungsbetrieb .....	72
<b>3</b>	<b>Detailanalysen .....</b>	<b>77</b>
3.1	Anlagenspezifische und generische Daten für Detailanalysen .....	77
3.1.1	Anlagenspezifischen Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen .....	77
3.1.2	Datenerfassung und statistische Auswertung .....	80
3.1.3	Ermittlung und Bewertungsgrundlagen .....	82
3.1.4	Ermittlung anlagenspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen .....	83
3.1.4.1	Brandmeldeeinrichtungen .....	84
3.1.4.2	Brandschutzklappen in Lüftungsanlagen .....	88
3.1.4.3	Brandschutztüren .....	90
3.1.4.4	Feuerlöscheinrichtungen.....	91
3.1.5	Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse .....	95
3.1.6	Schlussfolgerungen aus den ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen ...	101
3.2	Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 während des Leistungsbetriebes.....	103
3.2.1	Brandspezifischer Ereignisablauf in ZA03.11.....	103
3.2.1.1	Brandsimulation ZA03.11.....	103
3.2.1.2	Brandeintrittshäufigkeit ZA03.11 .....	104
3.2.1.3	Anmerkungen zur Aufstellung und Quantifizierung eines brandspezifischen Ereignisablaufs in ZA03.11 .....	106
3.2.2	Systemtechnische Auswirkungen bei einem Brand in ZA03.11 im Leistungsbetrieb.....	111
3.3	Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZE00.08B während des Leistungsbetriebes.....	114
3.3.1	Brandrelevante Eigenschaften des Raums ZE00.08B .....	114
3.3.2	Brandeintrittshäufigkeit ZE00.08B.....	115
3.3.3	Brandsimulation in ZE00.08B.....	115

3.4	Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 während des Nichtleistungsbetriebes .....	127
3.4.1	Brandrelevante Eigenschaften des Raums ZA03.11 .....	127
3.4.2	Brandsimulation in ZA03.11 .....	136
3.4.2.1	Nodalisierung .....	137
3.4.2.2	Simulation des Kabelbrandes .....	140
3.4.3	Brand Eintrittshäufigkeit ZA03.11 .....	147
3.4.4	Aufstellung und Quantifizierung eines brandspezifischen Ereignisablaufs in ZA03.11 .....	151
3.4.5	Systemtechnische Auswirkungen bei einem Brand in ZA03.11 .....	151
3.4.6	Systemtechnische Auswirkungen durch einen brandbedingten Ausfall der Nebenkühlwasserpumpe VF23D101 .....	157
3.5	Anmerkungen zum Sicherheitsbehälter ZX.....	159
3.5.1	Brandrelevante Eigenschaften des Sicherheitsbehälters ZX .....	159
3.5.2	Brandfolgen im Sicherheitsbehälter während des Nichtleistungsbetriebs .....	164
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>167</b>
4.1	Methodische Weiterentwicklungen und Erkenntnisse .....	168
4.2	PSA Brand – Ergebnisse für den Leistungsbetrieb .....	172
4.3	PSA Brand – Ergebnisse für den Nichtleistungsbetrieb .....	177
4.4	Vollständigkeit der Analysen .....	179
<b>5</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>182</b>
5.1	Allgemeine Literatur .....	182
5.2	Anlagenspezifische Unterlagen.....	187

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Gebäudeauswahl zur Informationsrecherche (1) und zur Anwendung des Auswahlverfahrens für den Leistungsbetrieb (2) .....	14
Tab. 2-2:	Anzahl von Räumen in den Gebäuden.....	16
Tab. 2-3:	Klassifikation der Raumverbindungen .....	18
Tab. 2-4:	Raumgrenzen .....	19
Tab. 2-5:	Werte für Brandbelastung bei Abschätzungen .....	21
Tab. 2-6:	Heizwerte pro Mengeneinheit für ausgewählte Brandlasten (Werte aus KTA 2101.2) .....	21
Tab. 2-7:	Abschätzungen zur Brandlast pro m PVC-Kabel .....	22
Tab. 2-8:	Raumnummern in ZA .....	33
Tab. 2-9:	Verbindungen vom Reaktorgebäude ZA zu benachbarten Gebäuden	34
Tab. 2-10:	Nach Anwendungen der Auswahlkriterien 1 und 2 in ZA verbliebene Räume.....	34
Tab. 2-11:	Brandspezifische Eingangsgrößen für das Auswahlkriterium 3 (Beispiel für Raum ZA01.04 mit den berücksichtigten Ausbreitungswegen) .....	39
Tab. 2-12:	Spezifische Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten bei Brandauslösung in Raum ZA 01.04 unter Berücksichtigung der Ausbreitungstiefe (Basis: Tab. 2-11) .....	40
Tab. 2-13:	Brandwahrscheinlichkeiten unter der Bedingung, dass ein Brand in Raum ZA 01.04 ausgelöst wird.....	42
Tab. 2-14:	Durch Brandausbreitung betroffene Räume (Ausschnitt) .....	44
Tab. 2-15:	Abdeckende Brandszenarien.....	47
Tab. 2-16:	Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten.....	49
Tab. 2-17:	Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente .....	53
Tab. 2-18:	Raumnummern in ZE.....	56
Tab. 2-19:	Verbindungen vom BWS-Gebäude, Teil ZE zu benachbarten Gebäuden .....	57
Tab. 2-20:	Nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 in ZE verbliebene Räume .....	58

Tab. 2-21:	Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten.....	60
Tab. 2-22:	Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente .....	62
Tab. 2-23:	Raumnummern in ZV.....	65
Tab. 2-24:	Verbindungen vom USUS-Gebäude ZV zu benachbarten Gebäuden	65
Tab. 2-25:	Verbliebene Räume in ZV nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	66
Tab. 2-26:	Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten.....	66
Tab. 2-27:	Raumnummern in ZK.....	68
Tab. 2-28:	Verbindungen vom Dieselgebäude ZK zu benachbarten Gebäuden .	68
Tab. 2-29:	Verbliebene Räume in ZK nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2.....	69
Tab. 2-30:	Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten.....	70
Tab. 2-31:	Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente .....	72
Tab. 2-32:	Anlagenbetriebszustände .....	74
Tab. 2-33:	Dauer der Anlagenbetriebszustände [h] während der Revisionen 1998 bis 2001 .....	75
Tab. 3-1:	Anzahl der aktiven Brandschutzeinrichtungen und deren Prüfpraxis in der Referenzanlage .....	95
Tab. 3-2:	Ausfälle an Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage .....	96
Tab. 3-3:	Berechnung der Ausfallraten von Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage .....	97
Tab. 3-4:	Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten von Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage.....	99
Tab. 3-5:	Brandereignisse in KKW vom Typ SWR 69 in Deutschland.....	104
Tab. 3-6:	Jährliche Brandeintrittshäufigkeiten für Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb bei Nutzung unterschiedlicher Grundgesamtheiten .....	105
Tab. 3-7:	Daten für die Brandmeldung.....	109
Tab. 3-8:	Daten Brandbekämpfung.....	111

Tab. 3-9:	Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten für Teilräume in ZA03.11 .....	113
Tab. 3-10:	Brandlasten im Raum ZE00.08B und angrenzenden Räumen.....	118
Tab. 3-11:	Direkte Nachbarräume des Raums ZA03.11 .....	129
Tab. 3-12:	Meldeeinrichtungen in ZA03.11 und angrenzenden Räumen .....	134
Tab. 3-13:	Einteilung des Reaktorgebäudes über der Höhe .....	138
Tab. 3-14:	Auswertung der Liste der Arbeitsaufträge während der Revisionen.	149
Tab. 3-15:	Liste der im PSA-Modell enthaltenen Komponenten aus ZA03.11...	152
Tab. 3-16:	Brandeintrittshäufigkeiten in ZA03.11 (bezogen auf die verschiedenen Anlagenbetriebszustände) .....	155
Tab. 3-17:	Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen und Brand in ZA03.11 .....	156
Tab. 3-18:	Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen (ohne Brand)....	157
Tab. 3-19:	Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Brand in ZE01.10 oder ZM10.24 ..	158
Tab. 3-20:	Kabel im Raum ZX01.08.....	160
Tab. 3-21:	Berechnete Kabelbrandlasten in den Raumbereichen von ZX.....	161
Tab. 3-22:	Kabelbrandlasten im Sicherheitsbehälter (Ebenen) .....	162
Tab. 3-23:	Brandmelder im Sicherheitsbehälter.....	163
Tab. 3-24:	Brandrelevante Instrumentierung im Sicherheitsbehälter .....	164

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Durchführung des Auswahlverfahrens.....	8
Abb. 2-2:	Gebäudeanordnung der Referenzanlage (nicht maßstabgetreu, von /ENB 94b, 1/) .....	11
Abb. 3-1:	Vergleich der Mediane und Streubreiten ausgewählter Ausfallraten für aktive Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage (Ergebnisse aus Tab. 3-3, keine Verbreiterung).....	101
Abb. 3-2:	Generischer brandspezifischer Ereignisablauf .....	106
Abb. 3-3:	Ereignisablauf Brandbekämpfung.....	110
Abb. 3-4:	Nodalisierung für Brandsimulation in ZE00.08B .....	116
Abb. 3-5:	Nodalisierung erstellt den Gittergenerator GRIDGEN .....	117
Abb. 3-6:	Lage der Zündposition .....	119
Abb. 3-7:	Raumtemperaturen an der Zündposition (Plume) .....	121
Abb. 3-8:	Berechnete Temperaturen unterhalb der Decke .....	121
Abb. 3-9:	3D Ansicht der Temperaturen unterhalb der Decke bei t = 630 s.....	122
Abb. 3-10:	Berechnete Sauerstoff-Konzentration im Bodenbereich.....	123
Abb. 3-11:	Atmosphären- und Kabeloberflächentemperaturen.....	124
Abb. 3-12:	Brandausbreitung (Trassen der Zonen 34, 40, 46, 49).....	126
Abb. 3-13:	Brandausbreitung (Trassen der Zonen 33, 39, 45).....	126
Abb. 3-15:	Anordnung von Starkstrom- und leittechnischen Verteilerkästen sowie Lage der Kabeldurchführungen durch den Sicherheitsbehälter .....	130
Abb. 3-16:	Brandschutz- und Fluchtwegeplan ZA03.11 .....	136
Abb. 3-17:	Nodalisierung der Ebene 5.5 m im Reaktorgebäude der Referenzanlage .....	139
Abb. 3-18:	Entstehungsort des Brandes im Fall b.....	140
Abb. 3-19:	Darstellung der Kabeltrassen im COCOSYS Datensatz .....	141
Abb. 3-20:	Energiefreisetzung durch Lösungsmittel und Kabelbrand .....	142
Abb. 3-21:	Plume-Temperaturen oberhalb der Zündposition .....	143
Abb. 3-22:	Raumtemperaturen unterhalb der Zwischendecke.....	143
Abb. 3-23:	Raumtemperatur entlang der Kabeltrasse auf ca. 7m .....	144
Abb. 3-24:	Raum- und Targetoberflächentemperatur .....	144
Abb. 3-25:	Energiefreisetzung durch Lösungsmittel und Kabelbrand (Fall b)....	145
Abb. 3-26:	Plume-Temperaturen oberhalb der Zündposition .....	146
Abb. 3-27:	Raum- und Targetoberflächentemperatur .....	146
Abb. 3-28:	Brandentstehungsort im Raum ZA03.11 .....	154

### 3. Ausgewählte probabilistische Brandanalysen für den Nichtleistungsbetrieb der Referenzanlage

- Informationsbasis zum Raum ZA03.11 (Abschnitt 3.4.1)  
Am Beispiel des Raums ZA03.11 ist in diesem Abschnitt exemplarisch der Umfang der Informationen dargestellt, die in der Datenbank für alle Räume eines Gebäudes vorhanden sind.
- Detailanalysen zu Brandauswirkungen in ZA03.11 (Abschnitt 3.4)  
Zur Ableitung des brandspezifischen Ereignisablaufs wurden die Brandeintrittshäufigkeit in diesem Raum bestimmt (Abschnitt 3.4.3) und Brandsimulationsrechnungen durchgeführt (Abschnitt 3.4.2). Die Ergebnisse der Brandsimulation wurden auf den Leistungsbetrieb übertragen (Abschnitt 3.2.1.1).
- Anmerkungen zum Sicherheitsbehälter ZX (Abschnitt 3.5)

# 1 Einleitung

Eine PSA für das anlageninterne, übergreifende Ereignis Brand wird in zwei Schritten durchgeführt. Erster Schritt ist dabei, wie auch in /FAK 97/ dargestellt, ein Auswahlverfahren (englisch "Screening"), während der zweite Schritt in der Detailanalyse und probabilistischen Bewertung für nach dem Screening verbliebene Brand-szenarien besteht.

Der Screening-Prozess kann qualitativ oder quantitativ erfolgen oder auch mit einem kombinierten qualitativen und quantitativen Verfahren. Von der GRS wurde im Forschungsvorhaben RS 1112 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) ein solches kombiniertes qualitatives-quantitatives Auswahlverfahren nach brandspezifischen und systemtechnischen Gesichtspunkten entwickelt (vgl. /HOF 03/ und /FAS 01/). Das Verfahren beginnt mit einem weitgehend automatisierten brandspezifischen Auswahlschritt auf Basis einer umfangreichen anlagenspezifischen Informationssammlung. In einem weiteren Auswahlschritt werden dann die vorher nach Ausschluss mittels bestimmter brandspezifischer Auswahlkriterien verbliebenen und entsprechend bestimmter Ordnungskriterien vorsortierten Räume bzw. Raumbereiche einem quantitativen systemtechnischen Auswahlprozess unterzogen.

Im Rahmen der Überarbeitung der Fachbände zum PSA-Leitfaden wurde zunehmend deutlich, dass das von der GRS entwickelte kombinierte Auswahlverfahren noch einer stärkeren Automatisierung und Weiterentwicklung insbesondere der systemtechnischen Auswahl bedarf, um die Expertenentscheidungen soweit wie möglich verringern zu können.

Im entsprechenden Arbeitspaket des BMU-Vorhabens SR 2418, in welchem diese Arbeiten erfolgt sind, wurde demzufolge die im Rahmen des Vorhabens RS 112 /HOF 03/ entwickelte und für eine moderne Druckwasserreaktoranlage im Leistungsbetrieb bereits erprobte Methodik zum Auswahlverfahren verbessert und weiter systematisiert. Gleichzeitig wurde untersucht, ob sich das Auswahlverfahren (Screening) auch für Anlagenzustände im Nichtleistungsbetrieb anwenden lässt.

Nachfolgend sind die Arbeiten für diese methodische Weiterentwicklung im Detail dargestellt. Das inzwischen deutlich verbesserte Auswahlverfahren wurde bei der PSA für eine Siedewasserreaktoranlage älterer Bauart (vgl. dazu /GRS 04/) erstmalig angewandt.

## 2 Auswahlverfahren

Die Durchführung einer probabilistischen Brandanalyse umfasst die Arbeitsschritte

- Identifizierung relevanter Raumbereiche durch ein Auswahlverfahren (Screening),
- Brandspezifische Detailanalysen für die relevanten Raumbereiche,
- Einbindung der brandspezifischen Ergebnisse in eine vorhandene PSA, die eventuell zu erweitern ist.

Nachfolgend wird nach einer kurzen Beschreibung des Verfahrens zur Identifizierung von brandrelevanten Raumbereichen (Abschnitt 2.1) das Auswahlverfahren auf die Gebäude der Referenzanlage angewendet. Es wird der in der Datenbank *BA SWR-69* zusammengestellte Informationsumfang beschrieben (Abschnitt 2.2) und schließlich bei der Auswahl von Räumen für eine Brand-PSA im Leistungsbetrieb (Abschnitt 2.3) als Grundlage genutzt (Anwendung des Auswahlverfahrens für Räume im Reaktorgebäude ZA, im Schaltanlagegebäude ZE, im USUS-Gebäude ZV und im Dieselgebäude ZK).

In Abschnitt 0 wird gezeigt, welche Daten der Informationsbasis geändert werden müssen, um das Auswahlverfahren auch für den Nichtleistungsbetrieb anwenden zu können.

### 2.1 Verfahren zur Identifizierung brandrelevanter Raumbereiche

Die Kernschadenshäufigkeit *FCDF* aufgrund eines Brandes ergibt sich aus der Summe der Kernschadenshäufigkeiten aller möglichen Brandszenarien. Ein Brandszenario ist charakterisiert durch den Brandausgangsort, die möglichen Brandverläufe (Ereignisbaum mit mehreren Sequenzen) und durch die dabei erzeugten Endzustände. Jede Brandlast kann durch Zündung zum Ausgangspunkt eines Brandes werden. Der Verlauf des Brandes wird durch vielfältige Einflüsse geprägt und wird meist vereinfacht in brandspezifischen Ereignisbäumen dargestellt. Jede Sequenz des brandspezifischen Ereignisbaums endet in einem Endzustand. Jeder Endzustand lässt sich durch die Menge der Komponenten charakterisieren, die aufgrund von Brand- oder Löscheinwirkung ausgefallen sind.

Da es nicht möglich und auch nicht notwendig ist, für jede Brandlast ein Brandszenario abzuleiten und zu quantifizieren, werden vereinfachende Annahmen getroffen. So geht man beim Auswahlverfahren davon aus, dass nicht jedes einzelne Brandgut im Kraftwerk mit dem entsprechenden Brandszenario separat zu betrachten ist, sondern dass Räume als komplexer Brandentstehungsort behandelt werden. Mit dem Auswahlverfahren werden aus der Menge aller Räume diejenigen bestimmt, die die größten Beiträge zur brandbedingten Kernschadenshäufigkeit liefern. Anders formuliert: mit dem Auswahlverfahren werden diejenigen Räume aussortiert, die einen vernachlässigbaren Beitrag zur Kernschadenshäufigkeit liefern.

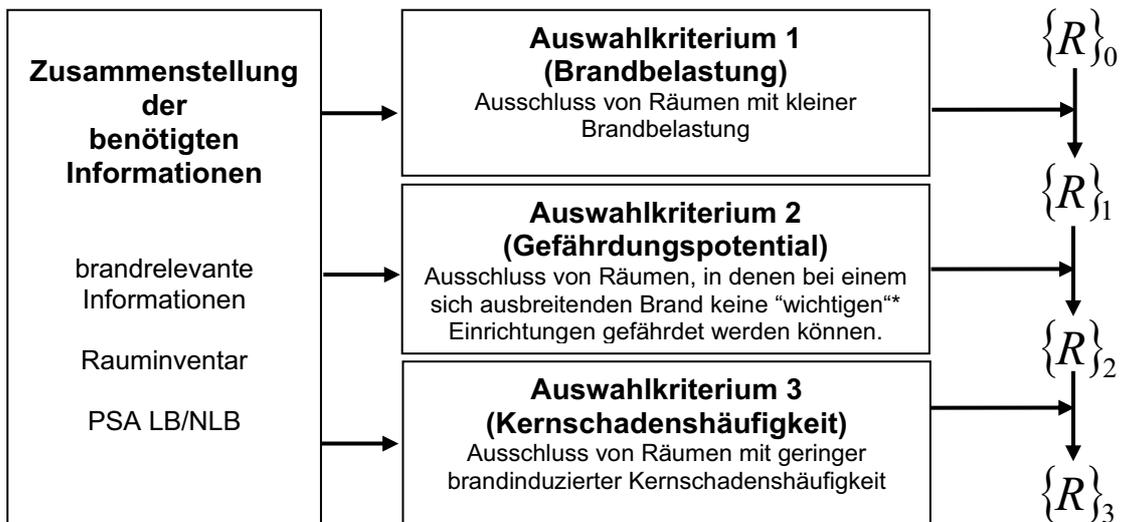
Eine Brand-PSA mit dem Ziel der Bestimmung der durch Brand verursachten Kernschadenshäufigkeit umfasst zwei Arbeitsschritte:

- Auswahlverfahren  
(siehe dazu Anwendung und Ergebnisse für die Referenzanlage in Abschnitt 2.3),
- Durchführung von Detailanalysen (siehe dazu einige Beispiele in Abschnitt 3).

In /TUE 04/ wird das Auswahlverfahren ausführlich beschrieben, hier wird nur ein kurzer Überblick gegeben.

Gegeben sei eine vollständige Zerlegung der Gebäude eines Kernkraftwerks in Räume  $\{R\}_0$ . Dann sind zur Durchführung des Auswahlverfahrens (siehe auch Abb. 2-1) folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- Zusammenstellung aller für den Auswahlprozess benötigten Informationen  
Das bedeutet sowohl Informationssammlung für jeden einzelnen Raum als auch die Bereitstellung sonstiger übergreifender Informationen.
- Durchführung der Auswahl Schritte  
Die endgültige Raumauswahl beruht auf der automatisierten Anwendung festgelegter Kriterien und auf Expertenentscheidungen, beides auf der Grundlage der zusammengestellten Informationen. Ergebnis des Auswahlprozesses ist eine Menge  $\{R\}_3$  von Räumen, für die Detailanalysen durchgeführt werden müssen.



$\{R\}_0$  - Menge aller Räume

$\{R\}_i$  - Menge der Räume nach Anwendung von Auswahlkriterium  $i$ ,  $\{R\}_i \subseteq \{R\}_{i+1}$ ;  $i = 0, 1, 2$

**Abb. 2-1:** Durchführung des Auswahlverfahrens

Die Informationen, die im Rahmen der Arbeiten zur probabilistischen Bewertung von Brandauswirkungen in der Referenzanlage zusammengestellt wurden, werden ausführlich in Abschnitt 2.2 beschrieben.

Das eigentliche Auswahlverfahren beruht auf der sukzessiven automatischen Anwendung von drei Auswahlkriterien. Nach jedem Auswahlschritt ist von Brand- und Systemexperten zu prüfen, dass durch die vereinfachende automatische Informationsauswertung keine wichtigen Räume aussortiert wurden. Die Auswahlkriterien sind nach /HOF 03/ folgendermaßen definiert:

- Brandbelastung  
Alle Räume mit einer Brandbelastung kleiner oder gleich  $90 \text{ MJ/m}^2$  werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.
- Gefährdungspotential  
Für jeden, nach Anwendung des ersten Auswahlkriteriums in der Analysemenge verbliebenen Raum wird festgestellt, ob bei einem Brand eine Gefährdung wichtiger Komponenten eintreten kann. Ist das nicht der Fall, kann der Raum ausgesondert werden. Komponenten werden für das Auswahlverfahren als wichtig eingeschätzt, wenn sie mit irgendeiner Ausfallart als Basisereignisse in dem PSA-

Modell der Anlage vertreten sind. Damit sind Komponenten erfasst, die in einer PSA bei der Beherrschung auslösender Ereignisse (Transienten, Kühlmittelverluststörfälle) eine Rolle spielen können. Bei Anwendung dieses Auswahlkriteriums werden neben dem Raum der Brandentstehung alle unmittelbar benachbarten Räume berücksichtigt, die offen mit diesem Raum verbunden sind.

– Kernschadenshäufigkeit

Für jeden, nach Anwendung des zweiten Auswahlkriteriums in der Analysemenge verbliebenen Raum wird die brandbedingten Kernschadenshäufigkeit auf der Grundlage der in der PSA vorliegenden Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalysen durch simulativ ermittelte Komponentenausfälle berechnet.

Die Durchführung des Auswahlverfahrens im Rahmen einer Brandanalyse für den Leistungsbetrieb wird in Abschnitt 2.3 für die Gebäude ZA, ZE, ZV und ZK erläutert. Für die Anwendung des Auswahlverfahrens für eine Brandanalyse für Betriebszustände des Nichtleistungsbetriebes werden in Abschnitt 0 Anmerkungen zu den zusätzlich erforderlichen Informationen gemacht.

## **2.2 Informationssammlung zur Durchführung des Auswahlverfahrens**

Als Voraussetzung für die Durchführung des Auswahlverfahrens muss die Übereinstimmung der Kodierung der Komponenten in der Anlagendatenbank einerseits und im PSA-Modell andererseits überprüft werden. Gegebenenfalls ist die Kodierung anzugleichen.

Grundlage für die Durchführung einer probabilistischen Brandanalyse und insbesondere der effizienten Durchführung des Auswahlverfahrens ist eine umfassende Informationssammlung zu den brandspezifischen Aspekten aller Räume in den Gebäuden des zu untersuchenden KKW. In /FAS 01/ wurde dazu die Grundstruktur einer Datenbank abgeleitet. In weiteren Projekten /HAI 01, HOF 03/ und der aktuellen Aufgabe probabilistischer Branduntersuchungen für die Referenzanlage wurde die allgemeine Datenstruktur weiter entwickelt. Diese allgemeine Struktur (siehe dazu auch die Beschreibung von Datenbankstruktur und -nutzung in /TUE 04/) wurde für die aktuelle Aufgabe den Gegebenheiten der Referenzanlage angepasst. Diese Datenbank wurde *BRANDANALYSE SWR-69*, kurz *BA SWR-69* genannt.

Die Beschreibung von Struktur und Nutzung der Datenbank *BA SWR-69* bezieht sich oft auf einzelne Datenbankobjekte (Tabellen, Abfragen, Berichte etc.). Datenbankobjekte werden durch spitze Klammern gekennzeichnet. Ein Bezug auf Tabellenfelder wird durch *kursive* Schreibweise deutlich gemacht.

Nach Eingabe der anlagenspezifischen Daten konnte die Datenbank *BA SWR-69* als Informationspool bei der Durchführung des Auswahlverfahrens genutzt werden. Auch nach Abschluss des Vorhabens steht *BA SWR-69* als flexible Informationsquelle für viele brandspezifische Fragestellungen zur Verfügung. Eine ständige Aktualisierung des Inhalts wird auch unter dem Gesichtspunkt einer Living-PSA empfohlen (siehe dazu auch eine weitere Anwendungsmöglichkeit in /TUE 02/). Die Möglichkeiten der Datenerfassung in *BA SWR-69* sind nachfolgend ausführlich erläutert; zur Nutzung der Datenbank im Rahmen des Auswahlverfahrens wird auf die Ausführungen in /TUE 04/ verwiesen.

Nachfolgend werden wichtige Gesichtspunkte der Erfassung brandspezifischer Daten beschrieben. Gleichzeitig sind Erfassungsdefizite vermerkt, die erst im Verlauf der Analyse festgestellt wurden und die wegen fehlender Informationen oder wegen des erforderlichen Aufwands nicht mehr behoben werden konnten.

Grundlage der Datenerfassung waren zahlreiche vom Kraftwerk zur Verfügung gestellte Unterlagen (siehe dazu das Verzeichnis der anlagenspezifischen Unterlagen in Abschnitt 5.2). Dabei konnten auch folgende elektronisch gespeicherte Datenquellen genutzt werden:

- Datenlisten aus dem Betriebsführungssystem (Datenbank *ABSY*)  
Aus dem Betriebsführungssystem wurde die Liste der Raumbezeichnungen einschließlich der in den Räumen vorhandenen Komponenten entnommen.
- PSA KKP-1 /ENB 98/  
Aus dem PSA-Modell (Programm RiskSpectrum<sup>®</sup>) wurde eine Liste der in der PSA modellierten Komponenten extrahiert.
- Kabel /KAB 03/  
Aus dem Kabelmanagementprogramm der Firma KAB-tec konnten folgende Informationen übernommen werden: Kabelbrandlast pro Raum, raumbezogene Kabelverläufe für ausgewählte wichtige Einrichtungen.

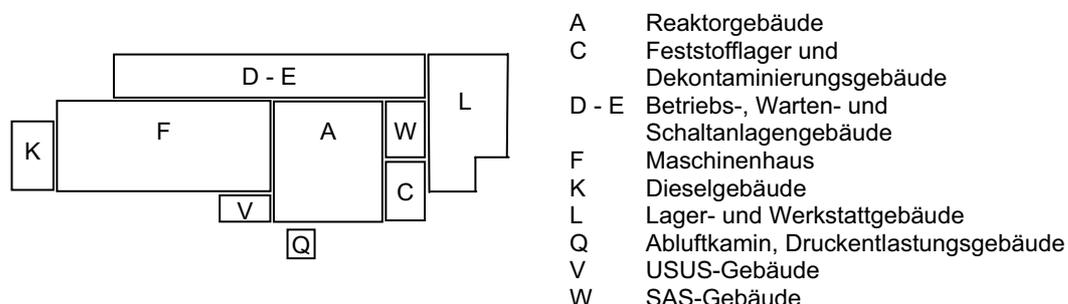
- Zur Verifizierung der Daten wurden Kraftwerksbegehungen durchgeführt. Die ersten Begehungen (Maschinenhaus mit Notstromdieselgebäude, Reaktorgebäude, USUS-Gebäude) fanden vom 28.01. bis 31.01.02 statt, weitere zum Abschluss der Revision 2002 am 15./16.05.02 (Sicherheitsbehälter und Sperrbereiche im Reaktorgebäude und im Maschinenbau) und am 04./05.06.02 (Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude). Zur Vorbereitung von Detailanalysen wurden weitere Begehungen von ausgewählten Räumen im Reaktorgebäude im Jahre 2003 (05.06.03 und 11.11.03) und in Räumen des Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäudes im Jahr 2004 (18.02.04) durchgeführt.

## 2.2.1 Gebäude- und Raumidentifikation

### 2.2.1.1 Welche Gebäude der Anlage werden in die probabilistische Analyse einbezogen?

Aus Praktikabilitätsgründen erfolgt in der Datenbank *BA SWR-69* eine gebäudeweise Auswertung, d.h. dass schon vor Beginn der probabilistischen Untersuchungen in Abhängigkeit vom Analyseziel entschieden werden sollte, für welche Gebäude der Anlage eine detaillierte Datenaufnahme erforderlich ist. Diese Herangehensweise setzt voraus, dass bei der Analyse die Möglichkeiten gebäudeübergreifender Brände gesondert betrachtet werden müssen. Tab. 2-1 enthält die Ergebnisse der Vorauswahl.

Die Referenzanlage besteht aus mehreren, teilweise aneinandergrenzenden Gebäuden (siehe Abb. 2-2). Die Kühlwasserbauwerke befinden sich außerhalb des in der Abbildung dargestellten Gebäudekomplexes.



**Abb. 2-2:** Gebäudeanordnung der Referenzanlage (nicht maßstabgetreu, von /ENB 94b,1/)

– Reaktorgebäude ZA und Sicherheitsbehälter ZX

Im Reaktorgebäude ZA befindet sich der stählerne Sicherheitsbehälter ZX, der den Reaktordruckbehälter mit den integrierten Axialpumpen, die Kondensationskammer sowie die Druckkammer mit dem Steuerstabantriebsraum umschließt. Dieser Teil des Reaktorgebäudes ist während des Betriebes inertisiert und ist somit für brandanalytische Untersuchungen nur bei Nichtleistungsbetrieb von Interesse. Außerhalb des Sicherheitsbehälters befinden sich das Brennelementlagerbecken, die Abwasseraufbereitungsanlage sowie weitere Reaktorhilfsanlagen.

Für alle Räume des Reaktorgebäudes ZA wurde eine umfassende Informationsrecherche durchgeführt.

– Maschinenhaus ZF

Das Maschinenhaus grenzt direkt an das Reaktorgebäude. Durch den geschlossenen, aktivitätsführenden Kreislauf zwischen Reaktor und Turbine ist es bei einem Siedewasserreaktor erforderlich, das Maschinenhaus in den Strahlenschutzkontrollbereich einzubeziehen. Aufgrund übergeordneter Sicherheitsanforderungen (Druckentlastung bei Kühlmittelverluststörfällen) gibt es zwischen Reaktorgebäude und Maschinenhaus Druckentlastungsöffnungen. Zur Verhinderung von Brand- und Rauchausbreitungen sind diese Öffnungen feuerbeständig ausgelegt.

Im Maschinenhaus befinden sich wesentliche Teile des Speisewasser-Dampf-Kreislaufs wie Turbine, Kondensator und Speisewasserpumpen. In der Referenzanlage gibt es kein separates Reaktorhilfsanlagegebäude. Alle wesentlichen Einrichtungen mit radioaktivem Inventar sind im Reaktorgebäude und im Maschinenhaus untergebracht. So sind z.B. auch Anlagen der Kühlmittelreinigung im Maschinenhaus zu finden. Probabilistische Brandanalysen zeigen insbesondere für das Maschinenhaus, dass die Risikosignifikanz von Bränden anlagenspezifisch zu bewerten ist. In vielen Anlagen befinden sich im Maschinenhaus nur wenige sicherheitsrelevante Einrichtungen. Dementsprechend wurde in vielen Fällen von detaillierten Analysen abgesehen. Andererseits befinden sich gerade im Maschinenhaus enorme Brandgutmengen. Außerdem zeigt die internationale Betriebserfahrung, dass hier mehr Brände als in anderen Gebäuden auftreten. In /NOW 01/ wird deshalb empfohlen, den Brandmöglichkeiten im Maschinenhaus mehr Bedeutung zuzumessen, als es bei den bisher durchgeführten Brand-PSA Praxis war. Für alle Räume des Maschinenhauses der Referenzanlage wurde deshalb mit einer umfassenden Informationsrecherche begonnen.

- Dieselgebäude ZK  
 Im Notstromdieselgebäude befinden sich die vier redundanten Notstromdieselaggregate mit den Vorratsbehältern für Dieselkraftstoff.  
 Für alle Räume des Dieselgebäudes wurde eine umfassende Informationsrecherche durchgeführt.
- Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude ZE - ZD  
 Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wird der teilweise zum Kontrollbereich gehörende Gebäudeteil ZD als Entstehungsort von Bränden mit schwerwiegenden Folgen ausgeschlossen. Die Möglichkeit des Übergreifens eines Brandes nach ZE kann vernachlässigt werden.  
 Im Gebäudeteil ZE befinden sich die Kabelverteilungen, die elektrischen Einrichtungen zur Energieversorgung, betriebliche und Sicherheitsleittechnik. Für alle Räume im Gebäudeteil ZE wurde eine umfassende Informationsrecherche durchgeführt.
- Feststofflager und Dekontaminierungsgebäude ZC  
 Im Feststofflager- und Dekontaminierungsgebäude werden die anfallenden festen radioaktiven Abfälle konditioniert und gelagert sowie aktive Anlagenteile dekontaminiert. Diese Anlagenbegehung hat ergeben, dass weitere Untersuchungen für dieses Gebäude im Rahmen der vorliegenden Analyse nicht erforderlich ist.
- USUS-Gebäude ZV, USUS-Pumpenhaus ZZ  
 Das USUS-Gebäude enthält das unabhängige Sabotage- und Störfallschutzsystem, welches aus zwei verfahrenstechnisch und elektrisch redundanten Strängen besteht. Diese Stränge sind brandschutztechnisch weitestgehend getrennt. Dieses mit einer unabhängigen Kühlwasserversorgung (Gebäude ZZ) ausgerüstete System ist bei Ausfällen im Fall von übergreifenden Einwirkungen dafür vorgesehen, die Ansteuerung der Schnellabschaltung und die Sicherheitsfunktion der Nachwärmeabfuhr sicherzustellen. Aufgrund der in diesem Gebäude vorhandenen hohen Brandlasten (Dieselkraftstoff) wird für alle Räume des USUS-Gebäudes ZV eine umfassende Informationsrecherche durchgeführt.
- Wasseraufbereitungs- und Heizungsgebäude, Kühlwasser-Pumpenhaus ZM  
 Das Wasseraufbereitungs- und Heizungsgebäude befindet sich in einem gesonderten, freistehenden Gebäudekomplex. Dort befinden sich neben einem Behälter der Speisewasserversorgung Filter-, Säure- und Laugenbehälter, die Pumpen der Vollentsalzungs- und Heizungsanlagen sowie das Heizöllager. Weiterhin ist noch das Kühlwasser-Pumpenhaus ZM zu erwähnen. Die dort befindlichen

Hauptkühlwasserpumpen dienen der Versorgung des Turbinenkondensators mit Kühlwasser in Betriebsphasen ohne Kühlturm. Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchungen werden diese Gebäude als Entstehungsort von Bränden mit schwerwiegenden Folgen nicht betrachtet.

– SAS-Gebäude ZW

Das Gebäude mit den Stickstofftanks des Schnellabschaltsystems wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet.

– Gebäudeübergreifender bautechnischer Brandschutz

Verbindungen zwischen angrenzenden Gebäuden wurden im Rahmen der Informationssammlung zusammen gestellt. Eine Ausbreitung von Bränden über mehrere Gebäude wird in der vorliegenden Brandanalyse ausgeschlossen. Die relevanten Gebäude stellen grundsätzlich getrennte Brandabschnitte gemäß Landesbauordnung dar. Die Überströmöffnungen in der Brandwand zwischen Maschinenhaus und Reaktorgebäude sind seit 1990 durch feuerbeständige Berstelemente der Feuerwiderstandsklasse F90 nach DIN 4102 /DIN 81/ ersetzt.

In Tab. 2-1 sind die Gebäude der Referenzanlage aufgeführt, für welche im Rahmen des Vorhabens eine umfassende Informationsrecherche vorgenommen (1) und für die schließlich auf dieser Grundlage das Auswahlverfahren durchgeführt wurde (2). In den Gebäuden ZD und ZF wurde mit der Informationsrecherche begonnen. Die Informationszusammenstellung ist auch Ausgangspunkt und Grundlage für die Anwendung des Auswahlverfahrens im Nichtleistungsbetrieb, zu den dabei zu beachtenden Änderungen siehe die Anmerkungen in Abschnitt 0.

**Tab. 2-1:** Gebäudeauswahl zur Informationsrecherche (1) und zur Anwendung des Auswahlverfahrens für den Leistungsbetrieb (2)

Gebäude		(1)	(2)
ZA	Reaktorgebäude	+	+
ZD	BWS-Gebäude, Teil ZD	(+)	
ZE	BWS-Gebäude, Teil ZE	+	+
ZF	Maschinenhaus	(+)	
ZK	Dieselgebäude	+	+
ZV	USUS-Gebäude	+	+
ZX	Sicherheitsbehälter	+	

### 2.2.1.2 Raumidentifikation

Zur Raumidentifikation gehören die Gebäudebezeichnung, die Raumnummer, eine Kurzbezeichnung und die Kote. Es wird weiterhin dokumentiert, ob der Raum zum Sperrbereich gehört.

In der Referenzanlage wird folgende Nomenklatur zur Raumbezeichnung genutzt: ZGxx.yy, dabei steht G für das Gebäude (siehe auch Abb. 2.2) und xx.yy steht für den Raum (xx Etage bzw. Ebene, yy Raumnummer).

In einigen Fällen erwies es sich aus praktischen oder brandrelevanten Gesichtspunkten heraus als nützlich, die vorgegebenen räumlichen Strukturen weiter zu unterteilen, z.B. wenn ein Raum in mehrere Brandabschnitte unterteilt oder zu groß ist (Korridore, Treppenhäuser). In solchen Fällen wurde die vorhandene Nomenklatur um eine Stelle ergänzt, ZG xx.yyz mit z = A, B, C, ... Als Beispiel können die Kabelkanäle ZA00.41 und ZA00.42 angeführt werden. Beide Kanäle sind jeweils durch eine T90-Tür in zwei Brandabschnitte unterteilt, d.h. in der Datenbank BA SWR-69 werden die Räume ZA00.41A, ZA00.41B und ZA00.42A, ZA00.42B unterschieden.

In den Gebäuden der Referenzanlage wurden die in Tab. 2-2 enthaltenen Räume und Raumbereiche festgelegt.

Bei der Durchführung des Auswahlverfahrens zeigte sich, dass in einigen Räumen eine detailliertere Aufteilung vorteilhafter gewesen wäre. In einer umfassenden detaillierten Brandanalyse müsste jedes Brandgut im Kraftwerk, das durch Zündung zum Ausgangspunkt eines Brandes werden kann, einzeln im Hinblick auf die dadurch möglichen Gefährdungen untersucht werden. Es ist meist unumgänglich (Reduzierung des Aufwands, begrenzte Detaillierung der Daten), im Auswahlverfahren ganze Räume als komplexen Brandentstehungsort zu behandeln, obwohl in einigen Räumen durchaus an mehreren Stellen Brände entstehen können.

**Tab. 2-2:** Anzahl von Räumen in den Gebäuden

Gebäude	Anzahl von Räumen	Bemerkungen
ZA	342	Bei 25 Räumen wurde vom Kennzeichnungssystem der Referenzanlage abgewichen und die Räume weiter unterteilt
ZD	65	Die Raumbezeichnungen wurden vom Kennzeichnungssystem der Referenzanlage übernommen. Ansonsten nur die Raumverbindungen in der Datenbank
ZE	177	Bei 9 Räumen wurde vom Kennzeichnungssystem der Referenzanlage abgewichen und die Räume weiter unterteilt
ZF	86	Bei 2 Räumen wurde vom Kennzeichnungssystem der Referenzanlage abgewichen und die Räume weiter unterteilt
ZK	25	Sämtliche Räume entsprechend Kennzeichnungssystem der Referenzanlage
ZV	36	Sämtliche Räume entsprechend Kennzeichnungssystem der Referenzanlage
ZX	6	Hier wurde, da keine Detailanalysen durchgeführt werden, insgesamt vom Kennzeichnungssystem der Referenzanlage abgewichen. In der Datenbank sind nur die 6 Ebenen verzeichnet. Dadurch wird eine Zuordnung der Kabelbrandlasten möglich. Nach Kennzeichnungssystem ist jede Ebene noch in 36 Räume unterteilt (alle 10 Grad).

Bei der Entwicklung und Anwendung des neuen Auswahlverfahrens wurde deutlich, dass für die Arbeiten an einer Brand-PSA eine geeignete Aufteilung der zu behandelnden Raumbereiche besonders wichtig ist. Es ist ein Kompromiss zwischen dem größten Detaillierungsgrad (jede einzelne Brandlast) und einer für die Analyse ausreichenden räumlichen Unterteilung zu finden. Grundsätzlich ist die räumliche Struktur eines Kraftwerksgebäudes durch das Kennzeichnungssystem der Anlage beschrieben. Eine weitere Unterteilung dieser so gekennzeichneten Räume sollte in Bezug auf die Informationsbereitstellung im Auswahlverfahren vorgenommen werden, wenn die Räume sehr groß oder wenn sie durch Brandbarrieren (Brandschutztüren in langen Kabelkanälen mit nur einer Raumkennzeichnung, brandschutztechnische Abschottung) unterteilt sind. Bei der hier durchgeführten Analyse für die Referenzanlage war allerdings eine weitere Unterteilung wegen des damit verbundenen erhöhten Aufwandes nicht immer möglich.

Bei einer Unterteilung bzw. Zusammenfassung der nach vorgegebenem Raumkennzeichnungssystem vorhandenen Räume sind vor allem folgende brandspezifische Sachverhalte zu berücksichtigen:

- Raumverbindungen

Vorhandene Verbindungen zu Nachbarräumen müssen dem richtigen "Teil"-Raum zugeordnet werden.

Brandschutztechnisch abgeschottete Kabelkanäle (in der Referenzanlage z.B. Promat-Kanäle) sollten als eigener Raum (siehe /TUE 04/) aufgefasst werden. Eine Verbindung zum eigentlichen Raum ist nur über Reparaturluken, falls vorhanden, möglich. Diese Luken haben meist eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten und sind somit wie klassifizierte Brandschutztüren der Feuerwiderstandsklasse T90 zu behandeln. Da die anlagenspezifische Dokumentation für die Referenzanlage solche Abschottungen nicht ausweist, konnten brandschutztechnisch abgeschottete Kabelkanäle nur anhand der Raumbegehungen erfasst werden.

- Brandbelastung

In manchen Fällen ist die Brandbelastung für alle Räume nach Kennzeichnungssystem gegeben. Eine Unterteilung eines Raums erfordert zumindest eine Abschätzung, ob sich die Brandbelastung für die "Teil"-Räume ändert. Nur wenn die Brandlasten wirklich homogen über den gesamten Raum verteilt sind, kann man die Brandbelastung auch für alle "Teil"-Räume als gleich annehmen.

Im Fall der Referenzanlage mussten die Brandbelastungen berechnet werden. Dabei wurde ein Kabelmanagementsystem der Firma KAB-tec genutzt. Die Kabel sind den Räumen nach Kennzeichnungssystem zugeordnet. Nur für manche Kabel wurde vermerkt, ob sie brandschutztechnisch abgetrennt (z.B. in einem Promat-Kanal) im Raum verlegt sind.

- Inventar

Komponenten sind den Räumen entsprechend dem Kennzeichnungssystem der Anlage zugeordnet. Das ist auch für Kabel der Fall. Bei einer Unterteilung der Räume ist festzustellen, in welchem "Teil"-Raum welche Komponenten bzw. welche Kabel sind. Das ist nur mit erheblichem Aufwand anhand von Aufstellungsplänen, Kabeltrassenplänen und Begehungen möglich.

## 2.2.2 Raumgeometrie

Die Informationen zur Raumgeometrie umfassen alle Daten, die den Raum als Teil des gesamten Gebäudes beschreiben. Dazu gehören vor allem Raumverbindungen und Raumabgrenzungen (Brandbarrieren). Zu jedem Raum ist anzugeben, wie er mit seinen Nachbarräumen verbunden ist.

Für die Referenzanlage wurden die in Tab. 2-3 angegebenen Raumverbindungen unterschieden.

**Tab. 2-3:** Klassifikation der Raumverbindungen

Kurzzeichen	Beschreibung	Bemerkungen
O	Offen	Zwischen den Räumen gibt es eine offene Verbindung. Das kann ein offener Durchgang, ein nicht geschlossenes Schott, eine Montageöffnung oder auch eine Lüftungsöffnung sein. Drahtgittertüren, Gitterroste (als Verbindungen nach unten) werden ebenfalls mit O gekennzeichnet. Kleine Öffnungen können extra gekennzeichnet werden (OK).
OK	kleine Öffnung	siehe unter O
L	Luke	Luke, meist im Boden- bzw. im Deckenbereich. Darunter fallen Notausstiege, Einstiege, Montageluken etc. Einige Klassifikationen sind vorgegeben: L90, LV.
LV	Luke, verschraubt	
L90	Luke L90	
T	Tür	Tür ohne besondere hervorzuhebende brandtechnische Eigenschaften; auch TP und TS
TP	Pendeltür	
TS	Schiebetür, Schiebetor	
TE	Tür mit Einzelzulassung	Sondertür bzw. Tür mit Einzelzulassung. Die Eigenschaften der Tür können im Datenbankfeld <i>Bemerkungen</i> näher spezifiziert werden.
Txx	Tür Txx	Tür mit Brandwiderstandsdauer xx Minuten; xx meist 15, 30, 60 oder 90 Minuten.

In Hinblick auf die Raumverbindungen ist festzustellen, dass eine vollständige Abbildung des Lüftungssystems fehlt. Aktuell sind in der Datenbank nur die dem jeweiligen Raum zugeordneten Lüftungsklappen über die Raum-Komponenten-Matrix recherchierbar. Sämtliche Brandschutz-, Rauch- und Wärmeabzugs- und Lüftungsklappen sind mit ihren Anlagenkennzeichnungen (AKZ) den einzelnen Räumen zugeordnet.

Eine vollständige Abbildung des Lüftungssystems wäre für zukünftige Untersuchungen wünschenswert, insbesondere die Analyse der Rauchausbreitung bei Bränden könnte dann raumspezifisch betrachtet werden. Weiterhin könnte überprüft werden, ob über die Lüftungskanäle eine unzulässige Aufheizung der Nachbarredundanz im Brandfall möglich ist. Für eine Abbildung in der Datenbank würde sich eine Liste der Lüftungskanäle mit ihren Eigenschaften anbieten. Jedem Raum werden dann die in den Raum führenden Kanäle zugeordnet. Bei vollständiger Erfassung kann dann zu jedem Raum eine Liste von Räumen erstellt werden, in die eine Rauchverschleppung bei Brand und Ausfall von Klappen und anderen Schließvorrichtungen möglich wäre. Als Einzelangaben zur Lüftung in einem Raum könnten der Gesamtquerschnitt natürlicher Ventilationsöffnungen im Raum (in m<sup>2</sup>) und der Zuluftvolumenstrom der Zwangsventilation (in m<sup>3</sup>/h) ergänzt werden.

Die für die Referenzanlage berücksichtigten Raumabgrenzungen sind in Tab. 2-4 dargestellt. Zu jedem Raum ist angegeben wie er von seinen Nachbarräumen abgegrenzt ist.

**Tab. 2-4:** Raumgrenzen

Kurzzeichen	Beschreibung	Bemerkungen
B	Brandwand	Nach DIN 4102 /DIN 81/ klassifizierte Wand mit einer Feuerwiderstandsdauer von 90 min und zusätzlichen Anforderungen an die Stand-sicherheit
F	feuerbeständige Wand	Nach DIN 4102 /DIN 81/ mit einer bestimmten Feuerwiderstandsdauer (z.B. 90 min, 60 min, 30 min, etc.) klassifizierte Wand (F90, F60, F30, etc.)
W	Wand	normale Wand ohne brandschutztechnische Besonderheiten

### 2.2.3 Brandspezifische Raumdaten

Zu den brandspezifischen Raumdaten gehören Angaben zu den Möglichkeiten der Brandentstehung (Brandlasten und Zündquellen im Raum), zu den Brandmeldeeinrichtungen und zu den Brandbekämpfungsmöglichkeiten. Die Zündmöglichkeiten im Raum sind vor allem von folgenden Faktoren abhängig:

- Anzahl der sich in Betrieb befindlichen mechanischen Komponenten (z.B. laufende Pumpen) im Raum,
- Vorhandensein elektrischer Einrichtungen im Raum (soweit nicht freigeschaltet) sowie
- Häufigkeit und Dauer der Anwesenheit sowie Art der Tätigkeit von Personal im Raum.

Diese Faktoren werden im Verfahren von Berry /BER 79/ zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit berücksichtigt (siehe auch Abschnitt 2.2.6).

### 2.2.3.1 Brandbelastung

Die Brandbelastung eines Raumes berechnet sich aus der Art und Menge der im Raum vorhandenen Brandgüter bezogen auf die Grundfläche des Raumes. Es wird zwischen Berechnung und Abschätzung unterschieden:

- Berechnung  
Sind die im Raum vorhandenen Brandgüter (insbesondere die Kabelisolationmaterialien), deren Mengen und die entsprechenden Brandlasten bekannt und eingegeben worden, ergibt sich die Brandbelastung aus der Summe dieser Brandlasten bezogen auf die Raumgröße.  
In der überwiegenden Anzahl der Fälle ergibt sich die Brandbelastung nur aus den Kabelbrandlasten. In einigen Fällen werden pauschale Zuschläge aufgrund weiterer im Raum vorhandener Brandgüter vorgenommen.<sup>1</sup> Dazu wurden folgende konservative Annahmen verwendet: 1 Fass Öl (2100 MJ), 1 Abfallbehälter (800 MJ), 50 kg Textilien (800 MJ), 50 kg Holz (900 MJ).
- Abschätzung  
Liegen nur wenig Informationen vor oder ist aus anderen Gründen keine Berechnung möglich, wurden nach Begehung die in
- Tab. 2-5 angegebenen Werte als Abschätzung genutzt und eingegeben.

---

<sup>1</sup> Beispiele zur Berechnung der Brandbelastung:  
Raum ZA01.04 (Kernsprühpumpe) - Neben der Kabelbrandlast sind während des Normalbetriebes auch 2 Fässer mit Öl im Raum. Die 2 Fässer werden mit 50 l gefüllt pauschal einbezogen.  
Raum ZA01.32 - Neben der geringen Kabelbrandlast ist ein Ölbehälter XB01B111 enthalten (Menge unbekannt). Es wird davon ausgegangen, dass die Brandbelastung dadurch größer als 90 MJ/m<sup>2</sup> wird. Eingegeben wird der Brandbelastungswert 101 MJ/m<sup>2</sup>.

**Tab. 2-5:** Werte für Brandbelastung bei Abschätzungen

Eingabewert in MJ/m <sup>2</sup>	Bemerkung
0	Im Raum ist nahezu keine Brandlast (Räume ohne Brandlast gibt es kaum, zumindest Kabel findet man in fast jedem Raum.)
1	Die Brandbelastung ist sehr gering (z.B. es konnten Brandgüter identifiziert werden, aber aufgrund der Raumgröße bleibt die Brandbelastung gering).
89	Brandbelastung < 90 MJ/m <sup>2</sup>
101	Brandbelastung > 90 MJ/m <sup>2</sup>
1001	Die Brandbelastung ist sehr groß; Brandbelastung >> 90 MJ/m <sup>2</sup> .

Tab. 2-6 und Tab. 2-7 dienen als Hilfsmittel bei der Abschätzung von räumlichen Brandbelastungen.

**Tab. 2-6:** Heizwerte pro Mengeneinheit für ausgewählte Brandlasten (Werte aus KTA 2101.2)

Brandgut	Heizwert [MJ/kg]
Aktivkohle	32,8
Aktivkohle	32,8
Baumwoll-Putzlappen	31,7
Glykol	16,6
Gummi (Kautschuk)	42,1
Heptan	44,6
Holzkippen	17,3
Hydrauliköl DTE	40,5
Kaltreiniger (Benzin)	42,8
Methanol	20,0
Öl	42,0
Papier	13,7
Polyethylen (Granulat)	43,2
Polyethylen mit 25% Chlor	31,6
Polypropylen	43,9
Polystyrol	39,2
PVC-Kabel	18,0
Schmierfett	41,4
Wasserstoff	120,0 (11 MJ/m <sup>3</sup> ) /WIK 04/

In Tab. 2-7 sind für verschiedene Kabeldurchmesser die Brandlast pro m Kabellänge angegeben. Dabei wurde angenommen, dass 75 % des Kabelvolumens aus PVC-Isolierung besteht. Die Dichte von PVC wurde mit 1,4 kg/dm<sup>3</sup> und die Brandlast mit 18 MJ/kg angenommen.

**Tab. 2-7:** Abschätzungen zur Brandlast pro m PVC-Kabel

Kabeldurchmesser [cm]	Isoliermasse pro m Kabel [kg]	Brandlast pro m Kabel [MJ]	Benötigte Kabellänge für eine Brandlast von ca. 90 MJ
0,5	0,021	0,378	mehr als 240 m
1,0	0,082	1,476	mehr als 60 m
2,0	0,329	5,922	ca. 15 m
3,0	0,742	13,356	ca. 7 m
5,0	2,062	37,116	ca. 2,5 m
8,0	5,278	95,004	kleinere Räume mit diesen Kabeln können nicht von vornherein mit Ausschlusskriterium Brandbelastung vernachlässigt werden.
10,0	8,247	148,446	

Es können drei Arten von Kabeln in Bezug auf den Brandschutz unterschieden werden:

- ungeschützte Kabel,
- geschützte Kabel  
(Kabel mit Dämmschichtbildnern, Kabel mit anderen Schutzbeschichtungen, Kabel der Qualifikation F30, FRNC (fire retardant nn corrosive)-Kabel im Sicherheitsbehälter ZX),
- abgeschottete Kabel  
(Kabel in Kabelkanälen der Qualifikation F90, in Promat-Kanälen).

Zur Brandlastberechnung<sup>2</sup> durch Kabelisolationsmaterial konnte auf das Kabelmanagementsystem der Fa. KAB-tec zurückgegriffen werden. Aufgrund der Kabelverläufe,

---

<sup>2</sup> Die Erfassung der Kabel, der Kabelredundanzen und der Komponentenzuordnungen ist nicht nur wegen der Brandbelastung von Bedeutung. Ergebnisse von Brand-PSA im Ausland zeigen, dass Brände in der Nähe von Kabelkreuzungen oder -annäherungen verschiedener Redundanzen von Sicherheitssystemen risikodominant sind /NOW 01/.

Kabelarten und Kabellängen wurden für alle Räume der Gebäude ZA (mit ZX), ZE, ZF, ZV und ZK die kabelbedingten räumlichen Brandlasten bestimmt /KAB 03/.

Die Brandlast ist die Summe der Brandgutmengen aus allen oben genannten Kabelarten. Da eine Unterscheidung nicht möglich war, ist bei der manuellen Durchsicht der automatisch erzeugten Raum-Rankinglisten insbesondere darauf zu achten, dass der Anteil abgeschotteter Kabel an der Brandlast berücksichtigt wird. Für ein automatisch durchzuführendes Auswahlverfahren wäre es günstig, wenn brandschutztechnisch in Kanälen abgeschottete Kabel von vornherein als Räume aufgefasst würden. Das ist aber nur dann sinnvoll, wenn eine Zuordnung der Kabel zu den Kanälen im Kabelmanagementsystem gegeben ist. Insbesondere für die Räume im Schaltanlagengebäude ZE ist beim Auswahlverfahren zu berücksichtigen, dass Räume mit geschotteten Kabeln sehr pessimistisch bewertet werden. Hier bedeutet im Auswahlverfahren ein "Raumausfall" den Ausfall aller Komponenten im Raum, also auch der Komponenten, die über die Kabel im abgeschotteten Kanal versorgt werden.

Es wurde weiterhin festgestellt, dass die Brandlast früher verlegter Kabel, die jetzt keine Funktion mehr haben, in den summarischen Brandlastwert und damit auch bei der Berechnung der Brandbelastung des Raumes eingeht /ENB 02c/.

Bei der Verwendung der Datenbank wurde auch festgestellt, dass bisher eine konsequente Angabe dazu fehlt, ob die Brandlasten geschützt oder ungeschützt sind. Der Beitrag zur Brandlastung eines Raumes durch ein geschütztes Brandgut kann nach KTA 2101.2 durch einen Faktor (Kombinationsbeiwert) verringert werden. Kabel können beispielsweise durch Brandschutzbeschichtungen geschützt oder in brandschutztechnisch geschotteten Kanälen verlegt sein.

Bei den Begehungen der Referenzanlage wurde auf wichtige Einschließungen von Brandgütern geachtet und sie wurden vorläufig als Kommentar in die Datenbank eingetragen, so dass diese Informationen bei der Expertendiskussion zur Verfügung stehen. In der Datenbank *BA SWR-69* sind die Brandlasten enthalten, die mit dem Kabelmanagementsystem der Fa. KAB-tec berechnet wurden.

### **2.2.3.2 Brandmeldung**

Für jeden Raum wird Art und AKZ der Brandmeldeeinrichtung angegeben. Als Kenngröße zur (automatischen) Einschätzung der Brandfortpflanzungsmöglichkeit in Nach-

barräume wird dabei unterschieden, ob direkt im Raum eine automatische Branderkennung und -meldung stattfindet oder ob eine Automatik nur außerhalb des Raumes installiert ist.

In der Referenzanlage lassen sich folgende Brandmeldemöglichkeiten unterscheiden:

- Flammenmelder,
- Ionisationsrauchmelder,
- Ionisationsrauchmelder mit Einzelparallelanzeige,
- Ionisationsrauchmelder mit Parallelanzeige,
- optische Rauchmelder,
- optische Rauchmelder mit Einzelparallelanzeige,
- optische Rauchmelder mit Parallelanzeige,
- Parallelanzeige für Brandmelder,
- Parallelanzeige für Brandmelder (Ionisation),
- Parallelanzeige für Brandmelder (optisch),
- Rauchmelder im Lüftungskanal,
- Türfeststellung – Rauchererkennung,
- Unterverteiler Brandmeldeanlage,
- Wärmedifferentialmeter.

In der Referenzanlage gibt es in den Gebäuden ZA, ZE, ZV und ZK keine Druckknopfmelder. Das Meldekonzept sieht dort bei einer Brandmeldung durch Personen die Meldung per Telefon vor.

#### **2.2.4 Brandbekämpfung**

Für jeden Raum wird Art und AKZ der Brandbekämpfungseinrichtung angegeben. Als Kenngröße zur (automatischen) Einschätzung der Brandlöschmöglichkeit wird unterschieden, ob direkt im Raum eine automatische Löschanlage installiert ist oder ob tragbare Feuerlöscher vorhanden sind.

In der Referenzanlage sind folgende Geräte und Hilfsanlagen zur Brandbekämpfung vorhanden:

- Kohlendioxidlöscher (mit Mengenangabe in kg),
- Pulverlöscher (mit Mengenangabe in kg),

- Pulverlöscher für Metallbrände (mit Mengenangabe in kg),
- Hydrant1 (Wasser),
- Hydrant2 (Schaum-Wasser),
- Schlauchanschlussventil,
- Sprühwasserlöschanlage (mit Angabe Löschbereich),
- Steuerschrank für Sprühwasserlöschanlage,
- Ventilstation (mit Angabe AKZ).

### **2.2.5 Raumnutzung**

Für jeden Raum ist in der Datenbank *BA SWR-69* eine Inventarliste (Anlagenkennzeichen AKZ) der im Raum vorhandenen Komponenten) abrufbar. Weiterhin wird angegeben, welche systemtechnischen Redundanzen im Raum vorhanden sind. Zur automatischen Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit pro Raum /TUE 04/ ist noch eine grobe Einschätzung (wenig, mittel, viel) zum Vorhandensein mechanischer und elektrischer Einrichtungen erforderlich.

Da die Datensammlung sich oft über einen langen Zeitraum hinzieht oder von mehreren Personen durchgeführt wird, ist es vorteilhaft, wenn für die Parameter des Verfahrens von Berry (siehe Abschnitt 2.2.6) eine Nomenklatur zugrunde gelegt wird. Nur so wird sichergestellt, dass ähnliche Räume auch gleich bewertet werden.

Das Inventarkriterium, das bei der automatischen Umsetzung des Auswahlkriteriums 2 benötigt wird, ist in Abhängigkeit von dem im Raum vorhandenen Inventar zu belegen. Das Inventarkriterium für einen Raum wird gesetzt, wenn wichtige betriebliche oder sicherheitstechnische Systeme und Kabel für ihre E- und leittechnischen Versorgung im Raum vorhanden sind. Als wichtig werden solche Systeme bezeichnet, deren Komponenten im PSA-Modell enthalten sind (vgl. Abschnitt 2.1).

Zur automatischen Belegung des Inventarkriteriums ist in der Datenbank *BA SWR-69* die Liste der Komponenten hinterlegt, zu denen Basisereignisse in den Fehlerbäumen des Anlagenmodells vorhanden sind.

Für das Auswahlverfahren wird eine Komponente als ausgefallen betrachtet, wenn sie selbst oder Kabel zu ihrer Ansteuerung bzw. zu ihrer Stromversorgung durch Brand beschädigt werden. Zur Anwendung der Auswahlkriterien 2 und 3 müssen demnach

neben dem Aufstellungsort (Raum) einer Komponente auch deren räumliche Kabelverläufe bekannt sein. Der Kabelverlauf von Komponenten ist mit vertretbarem Aufwand nur mit einem Kabelmanagementsystem feststellbar.

Aus Zeit- und Aufwandsgründen war es im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht möglich, eine Komponenten-Raum-Matrix so zu erstellen, dass zu jeder Komponente alle Räume zugeordnet werden können, durch die Versorgungs- und Steuerkabel der Komponente verlaufen. Die Firma KAB-tec lieferte diese Zuordnung nur für alle Kraftmaschinen (Komponenten mit AKZ-Kennung D) und Armaturen (Kennung S), die im PSA-Modell enthalten sind. Bei der Anwendung des Auswahlkriteriums 3 zeigt sich, dass für manche Entscheidungen zusätzlich auch die Kenntnis zur genaueren Funktion des Kabels (z.B. Kabel zur Ansteuerung einer Armatur oder Kabel für die Stellungsmeldung) hilfreich ist.

## **2.2.6 Anwesenheit von Personal in Räumen**

Für das Verfahren von Berry /BER 79/ zur Bestimmung raumspezifischer Eintrittshäufigkeiten werden bezüglich der Anwesenheit von Personal 5 Stufen unterschieden. Für die Referenzanlage wurden diese Werte anlagenspezifisch wie folgt interpretiert:

selten	Räume werden als selten begangen bezeichnet, wenn während des Betriebs kein Zutritt erfolgt (in der Referenzanlage vor allem in den Sperrbereichen) oder Personen nur sporadisch anwesend sind.
während der Rundgänge	Räume, die pro Schicht mindestens einmal begangen werden.
meistens	Das sind Räume, in denen z.B. ab und zu Reparaturarbeiten ausgeführt werden, häufig begangene Treppenträume und ähnliches
ein Drittel der Zeit	Diese Klassifikation wurde für die Referenzanlage nicht vergeben.
ständig	Wartenräume

## **2.2.7 Informationsbasis zur Durchführung der Brand-PSA (Zusammenfassung)**

Nachfolgend werden die für die Brand-Analyse benötigten Daten nebst wesentlichen Annahmen und Einschränkungen noch einmal zusammengefasst erläutert.

- **Raumidentifikation**

Vor Beginn der Arbeiten an einer Brand-PSA muss der Raumaufteilung besondere Aufmerksamkeit zukommen. Für das Auswahlverfahren ist Kompromiss zwischen dem größten Detaillierungsgrad (jede einzelne Brandlast) und einer für die Analyse ausreichenden räumlichen Unterteilung zu finden.

Als Ausgangspunkt für die Aufteilung der Gebäude in Räume wurde das Anlagenkennzeichnungssystem der Referenzanlage genutzt. Bei Abweichungen wurde das Anlagenkennzeichen um eine Stelle ergänzt.

Brandschutztechnisch abgeschottete Kabelkanäle konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht als gesonderte Räume aufgefasst werden. Das ist im Auswahlverfahren nur sinnvoll, wenn eine Zuordnung der Kabel zu den Kanälen gegeben ist und automatisch ausgewertet werden kann, welche Komponenten von ihnen versorgt werden.

Bei der Durchführung von Detailanalysen für einzelne Räume ist es vor allem bei größeren Räumen erforderlich, den Raum in kleinere Raumbereiche zu unterteilen. Für solche Räume ist die Komponenten-Zuordnung nicht mehr automatisch möglich, sondern nur noch anhand der Durchsicht von Anlagendokumentation oder durch Anlagenbegehungen zu erarbeiten. Das gilt insbesondere für Kabel.

- **Brandbelastung**

Die Brandbelastung der Räume ergibt sich im Wesentlichen aus der Kabelbrandlast. Die Kabelbrandlasten der einzelnen Räume wurden von KAB-tec berechnet /KAB 03/. Die Brandlast weiterer in den Räumen vorhandenen Brandgütern wurden nach Begehung bewertet und pauschal bei der Brandbelastung berücksichtigt.

- Raumverbindungen

Im Auswahlverfahren sind nach Annahme einer Brandentstehung in einem Raum sämtliche Brandausbreitungsmöglichkeiten zu bewerten. Dazu mussten alle Raumverbindungen sorgfältig erfasst und klassifiziert werden. Bei Unterteilungen von Räumen wurde darauf geachtet, Raumverbindungen dem richtigen "Teil"-Raum zuzuordnen.

- Raum-Komponenten-Zuordnung

In die Datenbank *BA SWR-69* konnte eine Tabelle eingefügt werden (Grundlage Kraftwerksinformation), die jedem Raum die darin befindlichen Komponenten mit ihren Anlagenkennzeichen zuordnet. Diese Tabelle enthält 91.625 Datensätze.

Im Rahmen des Projektes war es nicht möglich, eine entsprechende Tabelle für alle Kabel zur automatischen Zuordnung zu den Räumen zu erstellen. Da Fa. KAB-tec ein Kabelmanagementsystem erstellt hat, ist eine derartige Raum-Kabel-Zuordnung prinzipiell möglich. Das konnte an einem Beispiel gezeigt werden: Für sämtliche Pumpen und Armaturen in der verwendeten Basis-PSA (siehe übernächster Punkt) wurden alle Räume bestimmt, durch die Kabel zur Versorgung dieser Komponenten verlaufen und in einer Tabelle der Datenbank *BA SWR-69* abgelegt. Eine Klassifikation der Kabel nach ihrer Funktion konnte noch nicht vorgenommen werden. Eine Ausnahme bilden die Kabel für die Stellungsmeldungen der S/E-Ventile RA11-41S211/S221 und der Frischdampf-Isolationsventile RA11-41S101/S102 (vgl. Punkt "PSA Leistungsbetrieb").

- Wichtige Komponenten

Der Begriff der "wichtigen" Komponenten spielt eine bedeutende Rolle bei der Durchführung des Auswahlverfahrens. Ein Raum ist bezüglich weiterer Untersuchungen nur dann zu betrachten, wenn aufgrund eines Brandes in diesem Raum und seiner Ausbreitung die Möglichkeit des brandbedingten Ausfalls wichtiger Komponenten besteht.

In den probabilistischen Brandanalysen wurde angenommen, dass alle Komponenten wichtig sind, die als Basisereignisse in den Fehlerbäumen des PSA-Modells enthalten sind.

- Nutzung der PSA für auslösende Ereignisse bei Leistungsbetrieb

Für das Auswahlverfahren wurde die vom Betreiber erstellte PSA für das Referenzkraftwerk verwendet /ENB 98, ENB 98a/ (im Folgenden als "Basis-PSA" bezeichnet). Diese PSA wird gegenwärtig von der GRS überarbeitet. Die dabei schon durchgeführten Modelländerungen und Aktualisierungen sowie andere Erkenntnisse und konnten bei der Durchführung der brandanalytischen Untersuchungen nicht berücksichtigt werden. Die Basis-PSA wurde sowohl für das Auswahlverfahren als auch für die Detailanalysen genutzt.

Zur Anwendung des Auswahlkriteriums 2 im Auswahlverfahren (vgl. Abschnitt 2.1) wurde auf Grundlage der in der Basis-PSA modellierten Komponentenausfälle eine Tabelle der "wichtigen" Komponenten erstellt. Die in der Basis-PSA modellierten Ereignisablauf- und Fehlerbäume sowie die zugehörigen Zuverlässigkeitskenngrößen wurden zur Quantifizierung der Brandfolgen bei Anwendung des Auswahlkriteriums und bei der endgültigen Einbindung der brandspezifischen Ergebnisse in die PSA im Rahmen der Detailanalysen verwendet. Wie in /TUE 04/ (Abschnitt 4.3.3) dargelegt, wird im Auswahlverfahren pessimistisch unterstellt, dass in einem Raum, in dem ein Brand vorliegt, alle PSA-relevanten Funktionen der im Raum befindlichen Komponenten bzw. deren Kabel ausfallen.

Bei einer automatischen Generierung der Tabelle "wichtiger" Komponenten und bei der Quantifizierung der Brandfolgen ist darauf zu achten, dass die Kodierungen für die Komponenten in der Raum-Komponenten-Zuordnung mit denen in der PSA übereinstimmen (vgl. Abschnitt 4.3.3 in /TUE 04/). Nur so wird gewährleistet, dass die Räume automatisch identifiziert werden können, die "wichtige" Komponenten oder deren Kabel enthalten bzw. dass die Brandfolgen im PSA-Modell korrekt erfasst werden können. Da die in den Fehlerbäumen der Basis-PSA verwendeten Basisereignisse im Wesentlichen entsprechend der Kraftwerksanlagenkennzeichnung kodiert sind, ist diese Übereinstimmung mit wenigen Ausnahmen gegeben. In diesen Ausnahmefällen wurde die Kodierung in der Tabelle der Raum-Komponenten-Zuordnung derjenigen der PSA angepasst.

Wie unter dem Punkt "Raum-Komponenten-Zuordnung" erläutert, wurden für alle "wichtigen" Armaturen und Pumpen zusätzlich die Räume angegeben, die Versorgungs- bzw. Steuerungskabel dieser Komponenten enthalten, wobei mit Ausnahme der Kabel für die Stellungsmeldungen der S/E-Ventile RA11-41S211/S221

und der Frischdampf-Isolationsventile RA11-41S101/S102 keine Klassifikation der Kabel nach ihrer Funktion vorgenommen werden konnte. Mit der für das Auswahlverfahren getroffenen Annahme, dass alle PSA-relevanten Funktionen einer Komponente ausfallen, wenn sich diese Komponente oder deren Kabel in einem "Brandraum" befindet, würden die genannten Ventile auch dann als ausgefallen gelten, wenn "nur" die Kabel für die Stellungsmeldungen vom Brand betroffen sind. Ausfälle der Stellungsmeldungen können jedoch für die Funktion der Ventile bzw. für die entsprechenden Systemfunktionen vernachlässigt werden. Daher werden in einer für das Auswahlverfahren angepassten Raum-Komponenten-Zuordnung die Kabel für die Stellungsmeldungen speziell kodiert, d.h. es werden nicht wie sonst die Kodierungen der zugehörigen Komponenten (RA11-41S211/S221 bzw. RA11-41S101/S102) verwendet.

- Nutzung der PSA für auslösende Ereignisse bei Nichtleistungsbetrieb

Für die Brand-PSA konnte noch nicht auf eine von der GRS überarbeitete PSA für den Nichtleistungsbetrieb zurückgegriffen werden. Im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2467 wird gegenwärtig eine PSA für den Nichtleistungsbetrieb der Referenzanlage erarbeitet. Für die Brand-PSA konnte nur der derzeitige Bearbeitungsstand genutzt werden. Die in vorliegendem Bericht ausgewiesenen Ergebnisse sind deshalb als vorläufig zu betrachten.

### **2.3 Durchführung des Auswahlverfahrens für den Leistungsbetrieb**

Als Grundlage für die Anwendung der Auswahlkriterien (vgl. Tab. 2-1) wurde eine umfassende Informationszusammenstellung zu allen raumbezogenen brandrelevanten Daten der Anlage im Leistungsbetrieb realisiert (siehe dazu Abschnitt 2.2). Darauf aufbauend können die einzelnen Gebäude analysiert werden.

Nachfolgend wird die Anwendung des Auswahlverfahrens für das Reaktorgebäude ZA, für das Schaltanlagegebäude ZE, für das USUS-Gebäude ZV und das Diesel-Gebäude ZK in unterschiedlicher Tiefe beschrieben. Aus der Menge der Räume, für die Detailanalysen durchzuführen sind, wurden ZA03.11 (siehe Abschnitt 3.2) und ZE00.08B (siehe Abschnitt 3.3) ausgewählt.

### **2.3.1 Räume im Reaktorgebäude ZA**

Im Reaktorgebäude ZA gibt es 342 Räume (ohne Sicherheitsbehälter ZX).

Einen Überblick zu den Raumnummern gibt Tab. 2-8. Die Übergänge zu benachbarten Gebäuden sind in Tab. 2-9 zusammengestellt.

#### **2.3.1.1 Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2**

Entsprechend Auswahlkriterium 1 können alle Räume mit einer Brandbelastung von bis zu  $90 \text{ MJ/m}^2$  von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Im Reaktorgebäude ZA gibt es 53 Räume mit einer Brandbelastung von mehr als  $90 \text{ MJ/m}^2$ .

Nach Auswahlkriterium 2 wird nun für jeden dieser 53 Räume festgestellt, ob bei einem Brand eine Gefährdung wichtiger Komponenten eintreten kann. Ist das nicht der Fall, kann der Raum ausgeschlossen werden. Bei Anwendung dieses Kriteriums werden neben dem Raum der Brandentstehung alle unmittelbar benachbarten Räume berücksichtigt, die offen mit diesem Raum verbunden sind. Unter den 342 Räumen in ZA sind 77 Räume, die wichtige Komponenten oder deren elektro- bzw. leittechnischen Kabel enthalten.

Nach Anwendung von Auswahlkriterium 2 verbleiben 47 Räume (siehe Tab. 2-10, sowie fett rot gedruckt in Tab. 2-8). Eine manuelle Durchsicht dieser Räume ergibt weitere Einschränkungen aufgrund von Experteneinschätzungen. Dabei wurden u. a. folgende Informationen berücksichtigt:

- Schottung der Brandlasten,
- Lage des Raums im Gebäude (beim automatischen Vorgehen nach Auswahlkriterium 2 werden nur direkte Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt),
- Raumnutzung und
- Kenntnis von Nachrüstungen.

Als Ergebnis der Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 und der zusätzlichen manuellen Durchsicht wird das Auswahlverfahren für alle in Tab. 2-10 markierten 23 Räume (in Fettdruck) mit Anwendung des Kriteriums 3 fortgesetzt.

Die in Tab. 2-10 angegebenen Brandeintrittshäufigkeiten für die nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 verbliebenen Räume wurden mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich auf eine Brandeintrittshäufigkeit im Reaktorgebäude von  $8,0 \text{ E-}02/\text{a}$  (Abschätzung entsprechend amerikanischer Betriebserfahrung für Anlagen mit Siedewasserreaktor, Werte sind /HOF 03/ entnommen: Brände mit Elektro- und Leittechnik-Schränken als Ausgangspunkt  $5,0 \text{ E-}02/\text{a}$ ; Pumpenbrände  $2,5 \text{ E-}02/\text{a}$ ; sonstige Zündquellen  $5,0 \text{ E-}02/\text{a}$ ).

Der Wert von  $8,0 \text{ E-}02/\text{a}$  für die Brandeintrittshäufigkeit im Reaktorgebäude ist sehr pessimistisch. Im Rahmen der Detailanalyse für den Raum ZA03.11 (vgl. Abschnitt 3.2.1.2) wurden die deutsche Betriebserfahrung und die Brandereignisse in der Referenzanlage zur Bestimmung einer weitgehend anlagenspezifisch ermittelten Brandeintrittshäufigkeit für das Reaktorgebäude herangezogen. Es ergibt sich dabei mit  $7,2 \text{ E-}03/\text{a}$  ein um eine Größenordnung kleinerer Wert. Bei der Anwendung des Verfahrens von Berry zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit der einzelnen Räume ergeben sich dann bei Nutzung dieses anlagenspezifischen Wertes entsprechend kleinere Brandeintrittshäufigkeiten für die einzelnen Räume. Für die im folgenden Abschnitt 2.3.1.2 beschriebene Anwendung des Auswahlkriteriums 3 werden diese Häufigkeiten zugrunde gelegt.

Tab. 2-8: Raumnummern in ZA<sup>3</sup>

Raum - Etage	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01		2	2	3	3		3	3	3	2	2	3	
02		3	3	3	+	3	3	3	2	2	2	3	
03		+	+	2	+	+	+	+	+	2	+	+	+
04		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
05		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
06		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
07		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
08		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
09		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
10		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
11		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
12		+	2	2		+	+	+	+	+	+	+	+
13		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
14		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
15		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
16		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
17		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
18		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
19		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
20		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
21		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
22		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
23		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
24		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
25		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
26		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
27		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
28		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
29		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
30		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
31		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
32		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
33		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
34		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
35		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
36		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
37		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
38		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
39		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
40		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
41		2	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
42		2	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
44		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
45		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
46		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+

<sup>3</sup> Steht ein + in der Tab., wurde der Raum entsprechend Anlagenkennzeichnung übernommen. Eine Zahl k bedeutet, dass der Raum in k Unterräume geteilt wurde. Nach Anwendung der automatischen Auswahl mit den Kriterien 1 und 2 verbleiben 47 Räume. Diese Räume sind rot markiert.

**Tab. 2-9:** Verbindungen vom Reaktorgebäude ZA zu benachbarten Gebäuden

zum Gebäude	Räume
ZX - Sicherheitsbehälter	Montageöffnungen (nur bei Revision offen) von ZA08.04 (360 Grad) und ZA03.11 (270 Grad); Personenschleuse von ZA02.39 (330 Grad), Nebenschleuse von ZA02.28 (270 Grad)
ZE – BWS-Gebäude (Teil 1)	Notausstiege mit Feuerwiderstand 90' aus den Kabelkanälen ZA00.41A und ZA00.42A (zu ZE00.17 und ZE00.08); über Brandschutztür T90 aus ZA02.03 (zu ZE00.18) ZE02.24A (T90) ZA03.01A
ZF - Maschinenhaus	ZA06.03 (T90) ZF05.01; ZA02.11 (T, rauchdicht) ZF02.08
	Druckausgleichselemente: 2 Stück in ZA01.19 8 Stück in ZA06.27 (brandfest) 6 Stück in ZA06.28 (brandfest) 2 Stück in ZA06.29 (brandfest)
ZC – Feststofflager	ZA02.11 (S60) ZC01.02 ZA02.16 (T90) ZC02.14
ZV – USUS-Gebäude	ZA02.02A (T60) ZV02.05
ZD – BWS-Gebäude (Teil 2)	ZA02.01A (T60) ZD01.01

**Tab. 2-10:** Nach Anwendungen der Auswahlkriterien 1 und 2 in ZA verbliebene<sup>4</sup>  
Räume

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit [1/a] <sup>5</sup>
00.41A	Kabelkanal	1815	2,10 E-03
00.41B	Kabelkanal	2118	2,10 E-03
00.42A	Kabelkanal	1684	2,10 E-03
00.42B	Kabelkanal	2124	2,10 E-03
01.02A	Haupttreppenhaus	454	4,12 E-05

<sup>4</sup> Das Auswahlverfahren wird mit den fett markierten Räumen fortgesetzt (Anwendung Auswahlkriterium 3, siehe Abschnitt 2.3.1.2).

<sup>5</sup> Brandeintrittshäufigkeiten sind relativ mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich hier auf eine Brandwahrscheinlichkeit des Reaktorgebäudes von 0,08/a und auf die Anzahl der nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 bis 2 verbliebenen Räume. Diese Werte unterscheiden sich von denen in Tab. 2-11. Dort wurde zum einen das Verfahren von Berry pessimistisch nur auf die fett markierten Räume angewendet, zum anderen wurde von einer anlagenspezifischen Gebäudeeintrittshäufigkeit von 0,0072/a ausgegangen (vgl. Abschnitt 2.3.1.1).

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit [1/a] <sup>5</sup>
01.04	<b>Kernsprühpumpe</b>	206	2,65 E-04
01.07	<b>ZKW-Pumpe 1</b>	719	3,33 E-03
01.08	<b>ZKW-Pumpe 4</b>	143	3,33 E-03
01.10	<b>NK-Pumpe 2/ ZKW-Pumpe 2</b>	134	3,23 E-03
01.16	<b>Armaturen / Füllpumpe</b>	100	2,65 E-04
01.26	Destillatsammelbehälter 1 u. 2	222	2,65 E-04
01.27	Reinwasserbehälter 1 u. 2	159	2,65 E-04
01.29	<b>Rohrleitungsschacht Sammelbehälter TY30B101</b>	391	2,65 E-04
01.30	<b>Rohrleitungsschacht</b>	619	2,65 E-04
01.32	<b>Unterer Ringraum</b>	101	5,92 E-03
01.33	<b>Rohrleitungen / Sumpf</b>	260	2,60 E-03
01.34	<b>Montage – Bedienungsflur</b>	186	2,60 E-03
01.35	<b>Montage – Bedienungsflur</b>	800	2,60 E-03
02.02A	Haupttreppenhaus	103	4,12 E-05
02.04	Raum für Lichtverteiler	208	3,33 E-03
02.05	<b>Einspeisepumpe 1, Nachspeisepumpe 1</b>	480	3,33 E-03
02.06	Nachkühler 1, Zwischenkühler 1	91	4,03 E-04
02.08	Nachkühler 2, Zwischenkühler 2	95	4,03 E-04
02.12A	<b>Montage – Bedienungsflur</b>	188	2,12 E-03
02.12B	<b>Montage – Bedienungsflur</b>	188	2,12 E-03
02.22	Rohrleitungsschacht	93	2,12 E-03
03.11	<b>Rohrleitungsbühne</b>	106	3,33 E-03
03.19	<b>Rohrleitungen</b>	310	1,72 E-03
03.23	Montage – Bedienungsflur	319	3,33 E-03
04.01A	Haupttreppenhaus	110	4,12 E-05
04.02	<b>Rohrleitungsbühne</b>	150	3,14 E-03
05.02A	Haupttreppenhaus	136	2,65 E-04
05.03	<b>Montageflur</b>	135	2,12 E-03
05.05	<b>Montage-Bedienungsflur</b>	384	2,12 E-03
05.07	<b>Bedienungsraum</b>	165	1,63 E-04
06.02A	Haupttreppenhaus	92	4,12 E-05
06.05	Lagerbeckenfilter 2	106	2,15 E-04
06.10	<b>Montage-Bedienungsflur</b>	381	2,12 E-03

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit [1/a] <sup>5</sup>
06.25	Spülwassererhitzer	157	1,72 E-03
07.01A	Haupttreppenhaus	91	4,12 E-05
07.05	Bedienungsflur	211	2,12 E-03
07.27	Montageflur	101	2,12 E-03
08.01A	Haupttreppenhaus	101	4,12 E-05
<b>08.03</b>	<b>Montageflur, Steuerschrank für ISO-Ventile</b>	125	3,33 E-03
<b>08.10</b>	<b>Trocknungsluftpufferbehälter, Zusatzwasserbehälter</b>	101	2,12 E-03
09.21	Heizverteiler	101	2,65 E-04
09.22	Vorerhitzer	104	2,12 E-03

### 2.3.1.2 Anwendung des Auswahlkriteriums 3

Zur Anwendung des dritten Auswahlkriteriums wurden die nachfolgend beschriebenen Informationen verwendet:

- Brandeintrittshäufigkeit pro Raum  
Gegenüber den in Tab. 2-10 angegebenen Werten wurden für die Räume in Tab. 2-11 aktualisierte Brandeintrittshäufigkeiten verwendet (vgl. Abschnitt 2.3.1.1)
- Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffer (Schätzwert der Wahrscheinlichkeit, dass sich der Brand von einem Raum in einen Nachbarraum ausbreitet /TUE 04/).  
Die Ausbreitung in einen dem Raum der Brandentstehung unmittelbar benachbarten Raum wird als Ausbreitung der "Tiefe" 1 bezeichnet. Breitet sich der Brand von einem Raum der Tiefe 1 in einen wieder unmittelbar benachbarten Raum aus, liegt eine Ausbreitung mit der Tiefe 2 vor usw. Für das Auswahlverfahren wird eine Brandausbreitung bis zur Tiefe 3 berücksichtigt, d.h. der Brand kann sich maximal über jeweils drei Raumgrenzen ausbreiten. Die Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern bezeichnen die Wahrscheinlichkeiten, die für eine Brandausbreitung der Tiefe 1 gelten. Für die Tiefen 2 und 3 werden diese Wahrscheinlichkeiten jeweils um den Faktor 0,5 verringert /TUE 04/. Zur Anwendung des in /TUE 04/ beschriebenen Verfahrens ist es zweckmäßig, wenn die Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern für alle Räume in einem Brandübergangsvektor vorliegen (einschließlich der Brandübergänge in ein anderes Gebäude). Damit ist sichergestellt, dass in dem automatisierten Verfahren alle

Räume bis zur Tiefe 3 erfasst werden. Der Brandübergangsvektor für die Referenzanlage enthält insgesamt 478 Datensätze, davon entfallen 232 Datensätze auf die Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern aus Räumen des Gebäudes ZA.

– Brandbelastungen der Räume

Es wird angenommen, dass sich ein Brand aus einem Raum mit geringer Brandlast ( $< 90 \text{ MJ/m}^2$ , vgl. Abschnitt 2.2.3.1) nicht weiter in benachbarte Räume ausbreitet.

Neben den brandspezifischen Angaben werden zur Anwendung des dritten Auswahlkriteriums noch die folgenden Informationen benötigt:

– Raum-Komponenten-Zuordnung

Die Raum-Komponenten-Zuordnung wird der Datenbank (Programm MS ACCESS<sup>®</sup>) *Raum-Komponenten-Zuordnung* entnommen. Zur Bezeichnung der Komponenten wird das Anlagenkennzeichnungssystem verwendet, wobei auf Übereinstimmung der Abgrenzung und Kodierung mit derjenigen des PSA-Modells zu achten ist. In der PSA werden im allgemeinen die Betriebsmittel einer Komponente nicht getrennt modelliert (z.B. Schalter und Kabel eines Antriebs) sondern im Funktionselement für die zu betrachtende Ausfallart der Komponente zusammengefasst. Entsprechend werden in der Datenbank für die Raum-Komponenten-Zuordnung die Betriebsmittel einer Komponente durch deren Anlagenkennzeichen kodiert. Damit können sich Komponenten und auch Betriebsmittel einer Komponente (z.B. Kabel) in unterschiedlichen Räumen befinden, so dass eine Komponente mehreren Räumen "zugeordnet" sein kann. Die für die Referenzanlage für die Anwendung des dritten Auswahlkriteriums erstellte Datenbank enthält ca. 35.000 "Zuordnungen" (Datensätze). Diese Datensätze enthalten eine große Anzahl von Komponenten, deren brandbedingtes Versagen weder für den Eintritt einer Transiente noch für deren Beherrschung eine Rolle spielen (z.B. Komponenten der Abwasseraufbereitung). Für zukünftige Anwendungen des Auswahlverfahrens sollten diese Komponenten bereits vor Auswahl schritt 3 aussortiert werden, um unnötige Rechenzeiten zu vermeiden und insbesondere, um die Auswertungen der Rechnungen zu erleichtern (bei dem für die Referenzanlage durchgeführten Auswahlverfahren wurde noch die "vollständige" Zuordnung zugrunde gelegt). Als Ergebnis der Überprüfung der Übereinstimmung der Komponenten-Kodierungen in der Datenbank für die Raum-Komponenten-Zuordnung einerseits und der PSA andererseits mussten in der vorliegenden Brand-PSA die Kodierungen für mehrere Komponenten angepasst

werden. Es wurden hierzu die Kodierungen in der Datenbank *Raum-Komponenten-Zuordnung* geändert (Liste der Änderungen siehe /GRS 04c/).

– PSA-Modell

Das dem Auswahlverfahren zugrunde gelegte PSA-Modell enthält die Fehlerbäume und die zugehörigen Zuverlässigkeitskenngrößen aus der PSA für Leistungsbetrieb. Hierzu wurde die vom Betreiber zur Verfügung gestellte PSA ("Basis-PSA" /ENB 98, ENB 98a/) zugrunde gelegt. Die im Rahmen der Arbeiten zur Anpassung der Basis-PSA von der GRS durchzuführenden Modifikationen sind noch nicht abgeschlossen und konnten für die vorliegende Brand-PSA nicht genutzt werden. Für eine abschließende Bewertung der Ergebnisse aus dem Auswahlverfahren wäre zu überprüfen, ob sich aufgrund der Modifikationen signifikante Änderungen für die abgeschätzten Häufigkeiten brandbedingter Schadenszustände ergeben. Das war in diesem Vorhaben allerdings zeitlich nicht mehr möglich. Die zugrunde gelegten Fehlerbäume aus der Basis-PSA umfassen die zum Systemschadenzustand führenden Verknüpfungen der Systemfunktionen für die berücksichtigten auslösenden Ereignisse. Fehlerbäume und Zuverlässigkeitsdaten werden als ASCII-Dateien übergeben.

Die brandspezifischen Eingangsgrößen sind in Tab. 2-11 beispielhaft zusammengestellt für den Raum ZA01.04 (Brandentstehung) und alle Räume, in welche sich ein Brand – ausgehend von ZA01.04 – ausbreiten kann (bis zur Tiefe 3).

Anhand dieser Informationen kann für jeden der für die Anwendung des Auswahlkriteriums 3 verbleibenden Räume ein "spezifischer Brandvektor" erstellt werden, der die Brandübergangswahrscheinlichkeiten vom Raum der Brandauslösung in alle infrage kommenden Räume bis zur Tiefe 3 angibt.

Am Beispiel der in Tab. 2-11 gegebenen Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern ergeben sich die in Tab. 2-12 angegebenen spezifischen Übergangswahrscheinlichkeiten.

**Tab. 2-11:** Brandspezifische Eingangsgrößen für das Auswahlkriterium 3<sup>6</sup>  
(Beispiel für Raum ZA01.04 mit den berücksichtigten Ausbreitungswegen)

Brand-entstehung Raum 1	Brand-belastung [MJ/m <sup>2</sup> ] Raum 1	Brand-Eintritts-häufigkeit [1/a]	Brand-ausbreitung Raum 2	Brand-belastung [MJ/m <sup>2</sup> ] Raum 2	Wk Brandübergang <sup>3)</sup> Raum1 → Raum 2
01.04	206	3,6 E-05	01.12	265	3,00 E-05
			01.19 <sup>1)</sup>	65	2,70 E-03
			01.21 <sup>1)</sup>	3	6,00 E-03
			01.29	391	6,00 E-03
01.12	265	-	01.04	206	3,00 E-05
			01.30	619	6,00 E-05
			01.34	186	3,00 E-05
01.29	331	3,6 E-05	01.04	206	6,00 E-02
			01.19 <sup>1)</sup>	65	6,00 E-02
			02.22	93	1,00 E-00
01.30	619	3,6 E-05	01.12	265	6,00 E-04
			01.34	186	6,00 E-02
			02.23 <sup>1,2)</sup>	0	1,00 E-00
01.34	260		00.42B <sup>2)</sup>	2124	5,40 E-05
			01.01A <sup>1,2)</sup>	1	3,00 E-03
			01.05 <sup>1,2)</sup>	0	6,00 E-03
			01.10 <sup>2)</sup>	134	2,70 E-03
			01.11 <sup>1,2)</sup>	83	2,70 E-03
			01.20 <sup>1,2)</sup>	3	6,00 E-03
			01.21 <sup>1)</sup>	3	5,40 E-03
			01.30	619	6,00 E-03
			01.31 <sup>1,2)</sup>	0	5,40 E-03
			01.35 <sup>2)</sup>	800	3,00 E-03
			01.36 <sup>1,2)</sup>	0	6,00 E-03
			02.10 <sup>1,2)</sup>	35	3,00 E-03
			02.11 <sup>1,2)</sup>	27	6,00 E-03
02.22	93	-	01.19 <sup>1)</sup>	65	6,00 E-02
			01.29	391	1,00 E-00
			02.06 <sup>2)</sup>	91	3,00 E-01
			02.23 <sup>1,2)</sup>	0	1,00 E-00
			02.25 <sup>1,2)</sup>	64	2,00 E-02
			03.11 <sup>2)</sup>	106	6,00 E-02
<sup>1)</sup> Aufgrund der geringen Brandbelastung in diesem Raum keine weitere Brandausbreitung (vgl. Erläuterung im Text) <sup>2)</sup> Da ein Brand in diesem Raum nur durch Brandausbreitung der Tiefe 3 eintreten kann (vgl. Tab. 2-12, wird eine weitere Brandausbreitung nicht berücksichtigt (vgl. Erläuterung im Text) <sup>3)</sup> Im Text werden diese Größen Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern genannt.					

<sup>6</sup> Erläuterungen zu den in der Tabelle verwendeten Kenngrößen, ihrer Berechnung und Verwendung in dem der Tabelle vorangehenden Text (Abschnitt 2.3.1.2).

**Tab. 2-12:** Spezifische Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten bei Brandauslösung in Raum ZA 01.04 unter Berücksichtigung der Ausbreitungstiefe (Basis: Tab. 2-11)

Brand-entstehung	Brand-ausbreitung	Wahrscheinlichkeit Brandübergang	Ausbreitungstiefe
Raum 1	Raum 2	Raum 1 → Raum 2	
01.04	01.12	3,00 E-05	1
	01.19	2,70 E-03	1
	01.21	6,00 E-03	1
	01.29	6,00 E-03	1
01.12	01.30	3,00 E-05	2
	01.34	1,50 E-05	2
01.29	01.19	3,00 E-02	2
	02.22	5,00 E-01	2
01.30	01.12 <sup>1)</sup>	3,00 E-04	3 <sup>1)</sup>
	01.34	3,00 E-02	3
	02.23	5,00 E-01	3
01.34	00.42B	2,70 E-05	3
	01.01A	1,50 E-03	3
	01.05	3,00 E-03	3
	01.10	1,50 E-03	3
	01.11	1,40 E-03	3
	01.20	3,00 E-03	3
	01.21	2,70 E-03	3
	01.30	3,00 E-03	3
	01.31	2,70 E-03	3
	01.35	1,50 E-03	3
	01.36	3,00 E-03	3
	02.10	1,50 E-03	3
	02.11	3,00 E-03	3
02.22	01.19	3,00 E-02	3
	01.29 <sup>1)</sup>	0,5	3 <sup>1)</sup>
	02.06	0,15	3
	02.23	0,5	3
	02.25	1,00 E-02	3
	03.11	3,00 E-02	3
<sup>1)</sup> Übergang irrelevant (siehe Erläuterung im Text)			

Im dargestellten Beispiel können maximal 23 Räume vom Brand betroffen sein, wobei sich der Brand in einzelne Räume auf mehreren Wegen ausbreiten kann. Beispielsweise kann die Brandausbreitung in den Raum ZA01.19 sowohl vom Nachbarraum ZA01.04 (Brandausbreitungstiefe 1) als auch über den Raum ZA01.29 (Brandausbrei-

tungstiefe 2) erfolgen. Eine Brandausbreitung in Nachbarräume wird nicht unterstellt, wenn die Brandlast des Raumes unter  $90 \text{ MJ/m}^2$  liegt oder eine Brandausbreitungstiefe größer 3 vorliegen würde. So enthalten Tab. 2-11 bzw. Tab. 2-12 beispielsweise keine Übergangswahrscheinlichkeiten für eine Brandausbreitung aus Raum ZA01.19 (Brandlast  $65 \text{ MJ/m}^2$ ) oder ZA01.35 (Tiefe 4).

Der spezifische Brandvektor kann Übergangswahrscheinlichkeiten enthalten, die für die Ermittlung der Brandwahrscheinlichkeiten im Auswahlverfahren keine Rolle spielen. In Tab. 2-12 trifft dies für den Übergang von Raum ZA01.30 nach Raum ZA01.12 zu. Da sich ein Brand in ZA01.30 nur über ZA01.12 ausbreiten kann, ist die Angabe der Übergangswahrscheinlichkeit für die Ausbreitung in umgekehrter Richtung (von ZA01.30 nach ZA01.12) nicht erforderlich. Zur Vereinfachung des Rechenprogramms zur Erstellung des spezifischen Brandvektors wurde auf entsprechende Abfragen zur Identifikation und Eliminierung dieser Übergangswahrscheinlichkeiten verzichtet (vgl. /TUE 04/).

Anhand des spezifischen Brandvektors lässt sich für jeden der betroffenen Räume die bedingte Wahrscheinlichkeit ermitteln, mit der ein Brand durch Brandausbreitung in diesem Raum eintritt. Für das Beispiel der Brandauslösung in Raum ZA01.04 sind diese bedingten Wahrscheinlichkeiten in Tab. 2-13 angegeben.

Für das Auswahlverfahren interessieren allerdings nicht nur die Brandwahrscheinlichkeiten einzelner Räume, sondern vor allem die Wahrscheinlichkeiten mit denen ein Brand gleichzeitig in mehreren Räumen bestimmter Raumkombinationen (mit redundanzübergreifenden Komponentenausfällen) vorliegt. Bei der Ermittlung dieser Wahrscheinlichkeiten sind gegebenenfalls vorhandene Abhängigkeiten zwischen den Brand-Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Räume zu berücksichtigen. So besteht beispielsweise eine Abhängigkeit zwischen den Wahrscheinlichkeiten für einen Brand in Raum ZA01.29 und ZA02.22. Die Wahrscheinlichkeit für einen Brand in beiden Räumen ergibt sich dann nicht als Produkt der einzelnen Wahrscheinlichkeiten ( $1,8 \text{ E-}05$ ), sondern aus der Multiplikation der Wahrscheinlichkeit für einen Brand in ZA01.29 ( $W_{\text{ZA01.29}} = 6,0 \text{ E-}03$ ) mit der Brandübergangs-Wahrscheinlichkeit in Raum ZA02.22 ( $W_{\text{ZA29} \rightarrow \text{ZA02.22}} = 0,5$ ) zu  $W_{\text{ZA01.29\&ZA02.22}} = 3,0 \text{ E-}03$ .

Für einen Brand in mehreren Räumen sind insbesondere diejenigen Raumkombinationen von Interesse, für die sowohl die brandbedingte Auslösung einer Transiente

infrage kommt als auch brandbedingte Ausfälle mehrerer Redundanzen der zur Beherrschung der Transiente erforderlichen Systeme auftreten können.

**Tab. 2-13:** Brandwahrscheinlichkeiten unter der Bedingung, dass ein Brand in Raum ZA 01.04 ausgelöst wird

Raum ZA	Bedingte Brandwahrscheinlichkeit
00.42B	< 1 E-08
01.01A	< 1 E-08
01.05	< 1 E-08
01.10	< 1 E-08
01.11	< 1 E-08
01.12	3,00 E-05
01.19	2,90 E-03
01.20	< 1 E-08
01.21	6,00 E-03
01.29	6,00 E-03
01.30	< 1 E-08
01.31	< 1 E-08
01.34	< 1 E-08
01.35	< 1 E-08
01.36	< 1 E-08
02.06	4,50 E-04
02.10	< 1 E-08
02.11	< 1 E-08
02.22	3,00 E-03
02.23	1,50 E-03
02.25	3,00 E-05
03.11	9,00 E-05

Ein analytisches Verfahren zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für alle relevanten Raumkombinationen unter Berücksichtigung der genannten Abhängigkeiten wird als nicht zielführend angesehen, sofern von einer Brandausbreitungstiefe größer 1 auszugehen ist. Es wurde deshalb ein simulatives Verfahren entwickelt (Simulationsprogramm CRAVEX, vgl. /TUE 04/), das unter Verwendung des spezifischen Brandvektors die brandbedingten "Raumausfälle" und unter Verwendung der Raum-Komponenten-Datenbank die durch die Raumausfälle verursachten Komponentenausfälle simuliert.

Diese Simulation wird mit einer zweiten Simulation verknüpft, in der zusätzliche Zufallsausfälle PSA-relevanter Komponenten berücksichtigt werden. Anhand des zugrunde gelegten PSA-Modells lassen sich dann die mittleren Nichtverfügbarkeiten derjenigen Systemfunktionen ermitteln, die zur Beherrschung der entsprechenden Transienten erforderlich sind.

Bisher wird die brandbedingte Auslösung einer Transiente in der Simulation nicht berücksichtigt, da im allgemeinen Fehlerbäume zwar für die zur Beherrschung einer Transiente erforderlichen Systemfunktionen vorliegen, aber nicht für die Auslösung von Transienten. Die Häufigkeiten von Transienten werden in der PSA überwiegend direkt aus der Betriebserfahrung abgeleitet. Ob bzw. welche Transienten bei einem gegebenen Brandszenario ausgelöst werden können und wie hoch die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten sind, wird im vorliegenden Vorhaben durch Expertenschätzung ermittelt. Für die Simulation des Systemverhaltens (brandbedingte Ausfälle bzw. Zufallsausfälle) nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses wird stellvertretend für unterschiedliche Transienten das PSA-Modell (Ereignisablauf- und Fehlerbäume) für den "Notstromfall" herangezogen. Die Ereignisablauf- und Fehlerbäume für den "Notstromfall" decken die Transienten "Ausfall Speisewasser", "Ausfall Hauptwärmesenke mit vorhandenem Speisewasser", "Ausfall Hauptwärmesenke und Ausfall Speisewasser", und "Fehlschließen eines FD-Isolations-Ventils" weitgehend ab. Die Ereignisablauf- und Fehlerbäume sowie die Zuverlässigkeitsdaten (Zufallsausfälle) wurden der PSA entnommen, die vom Betreiber der Referenzanlage zur Verfügung gestellt wurde ("Basis-PSA"). Mittlerweile durch die GRS vorgenommene Modifikationen der Basis-PSA (z.B. neu ermittelte Zuverlässigkeitskenngrößen) konnten im vorliegenden Vorhaben nicht berücksichtigt werden.

Die Simulation mit CRAVEX wurde in einem ersten Schritt zunächst nur für die brandbedingten Raum- und Komponentenausfälle angewandt, d.h. noch ohne Berücksichtigung des PSA-Modells. Zur Simulation werden 100 000 Spiele verwendet. Die Ergebnisse lassen sich in der in Tab. 2-14 gezeigten Raum-Raum-Matrix darstellen. Zu jedem der 23 Räume im ZA-Gebäude, für die das Auswahlkriterium 3 angewendet wird (Spalten), sind die Wahrscheinlichkeiten angegeben, mit der sich ein Brand in einen der insgesamt ca. 350 Räume in ZA (Zeilen) ausbreitet. Beispielsweise würde bei Brandauslösung in ZA08.03 ein Brand in ZA08.10 mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 0,3$  eintreten. In Tab. 2-14 sind außerdem in Zeile 2 bzw. Spalte 2 die Summen der Wahrscheinlichkeitswerte über die jeweilige Spalte bzw. Zeile angegeben, die einen Hinweis auf die Relevanz der Räume mit Brandauslösung bzw. der von einer Brand-

ausbreitung betroffenen Räume liefern können und daher als Sortierkriterium dienen. Die Tabelle ist spaltenweise bzw. zeilenweise nach diesen Summenwerten der Wahrscheinlichkeiten sortiert.

**Tab. 2-14:** Durch Brandausbreitung betroffene Räume (Ausschnitt)

	Brand- aus- lösung in ZAxx.yy	08.03	05.03	01.29	05.07	05.05	03.11	...	01.33
<b>Raum</b>	<b>Summen</b>	4,14	3,68	2,91	2,84	2,37	2,14		1,00
ZA04.02	2,03	0	0	1,7E-02	0	0	1	...	0
ZA01.10	2,00	0	0	0	0	0	eps	...	0
ZA06.10	1,90	0	0	0	0	9,0E-01	0	...	0
ZA02.23	1,52	0	0	5,0E-01	0	0	1,6E-02	...	0
ZA08.03	1,30	1	0	0	0	0	0	...	0
ZA08.10	1,30	3,0E-01	0	0	0	0	0	...	0
ZA05.03	1,27	0	1	0	2,7E-01	0	0	...	0
ZA05.07	1,27	0	2,7E-01	0	1	0	0	...	0
ZA05.08	1,14	0	1,4E-01	0	1	0	0	...	0
ZA01.34	1,07	0	0	eps	0	0	eps	...	0
ZA03.11	1,06	0	0	3,5E-02	0	0	1	...	0
ZA01.04	1,06	0	0	5,9E-02	0	0	2,3E-04	...	0
ZA02.22	1,02	0	0	1	0	0	1,2E-02	...	0
ZA01.29	1,01	0	0	1	0	0	6,1E-03	...	0
ZA01.07	1,01	0	0	0	0	0	0	...	0
ZA01.08	1,01	0	0	0	0	0	0	...	0
ZA01.30	1,01	0	0	ε	0	0	0	...	0
ZA01.35	1,00	0	0	0	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ZA00.41 A	0,00	0	0	0	0	0	0	...	0

Anhand der entstehenden "Muster" lassen sich gegebenenfalls Brandentstehungsräume identifizieren, deren Brandszenarien abdeckend für andere Räume sind. Dies kann allerdings nur für eine erste qualitative Einschätzung der Relevanz der einzelnen Räume dienen, um geeignete "Kandidaten" für brandspezifische Detailanalysen zu ermitteln. Um letztlich Brandszenarien einzelner Räume bezüglich ihrer Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit als vernachlässigbar "aussortieren" zu können, müssen neben den Brandeintrittshäufigkeiten die Wahrscheinlichkeiten für den brandbedingten Eintritt auslösender Ereignisse und die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung der auslösenden Ereignisse erforderlichen Systemfunktionen abgeschätzt werden.

Die im ersten Schritt der Simulationen mit CRAVEX für ein bestimmtes Brandszenario ermittelten Raum- und Komponentenausfälle dienen als Basis für die Identifikation brandbedingter auslösender Ereignisse und der Abschätzung ihrer Wahrscheinlichkeiten. Es werden dabei die in der PSA für die Referenzanlage untersuchten Transienten berücksichtigt, für die ein detailliertes PSA-Modell mit Ereignis- und Fehlerbäumen sowie Zuverlässigkeitskenngrößen vorliegt. Brandinduzierte Lecks werden nicht unterstellt.

Enthalten die als Ergebnis einer CRAVEX-Anwendung erzeugten Komponentenlisten Komponentenausfälle, die allein oder in Kombination zu einem dieser auslösenden Ereignisse führen können, dann wird anhand der in den Monte-Carlo-Simulationen ermittelten Erwartungswerten der Ausfallwahrscheinlichkeiten eine Wahrscheinlichkeit für den brandbedingten Eintritt des auslösenden Ereignisses abgeschätzt. Brandbedingte Komponentenversagen wurden nicht weiter betrachtet, wenn sie Systemen angehören, die für den Eintritt der berücksichtigten Transienten keine Rolle spielen, wie z.B. (siehe Liste in /GRS 04c/):

- Brandmeldeanlage (MF),
- Erdbebeninstrumentierung (MS),
- Betriebsentwässerung (RT),
- Abwasseraufbereitung (TR),
- Konzentrataufbereitung (TT),
- Dekontaminationssystem (TU),
- Probeentnahmesystem (TV)
- Vergiftungssystem (TW),
- Abwassersammelsystem (TX).

Komponentenausfälle von Stand-by-Systemen werden ebenfalls nicht als Ursache für brandbedingte auslösende Ereignisse in Betracht gezogen. Dies gilt auch für bestimmte Komponentenarten, wie beispielsweise Hand- und Rückschlagarmaturen. Da im Rahmen dieses Vorhabens die Verläufe der Kabel für betriebliche Signale und Reaktorschutzsignale nicht ermittelt werden konnten (vgl. Abschnitt 2.2.7), wurden auslösende Ereignisse aufgrund von Fehlsignalen, die durch Brandeinwirkung auf

Kabel entstehen können, nicht berücksichtigt. Im Übrigen wurden die brandbedingten Komponentenversagen im Hinblick auf folgende Fälle klassifiziert:

- kein auslösendes Ereignis,
- brandbedingter Notstromfall,
- brandbedingter Ausfall Hauptspeisewasser,
- brandbedingter Ausfall Hauptwärmesenke mit/ohne Ausfall Hauptspeisewasser.

Die in den Simulationen ermittelten Wahrscheinlichkeiten für die brandbedingten Ausfälle (unter der Bedingung einer Brandauslösung im betrachteten Raum) werden zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für das entsprechende Ereignis verwendet.

Hinsichtlich der Methodik zur Ermittlung der brandinduzierten auslösenden Ereignisse und ihrer Wahrscheinlichkeiten für das Auswahlverfahren wird noch erheblicher Entwicklungsbedarf gesehen. Die Methodik sollte ein systematisches, weitgehend "automatisiertes" Vorgehen erlauben. Beim gegenwärtigen Stand sind ohne zusätzlichen systemtechnischen Analyseaufwand für jedes einzelne Brandszenario nur sehr grobe Abschätzungen zu den auslösenden Ereignissen möglich. Umso mehr wird der Schwerpunkt auf die im Folgenden kurz beschriebene Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten wesentlicher Systemfunktionen gelegt. Brandszenarien können dann auch ohne Analyseaufwand zu auslösenden Ereignissen vernachlässigt werden, wenn gezeigt werden kann, dass "abdeckende" auslösende Ereignisse mit hoher Zuverlässigkeit beherrscht werden können, d.h. dass das Brandszenario unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Brandentstehung einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Beherrschung dieser Ereignisse hat.

### **2.3.1.3 Ergebnisse des Auswahlverfahrens nach Anwendung des Auswahlkriteriums 3**

Das Simulationsprogramm CRAVEX wurde für die 23 Räume im ZA-Gebäude, die nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 verblieben sind, zunächst nur zur Ermittlung der brandbedingten Raum- und Komponentenausfälle (d.h. ohne Verwendung des PSA-Modells) angewendet. Durch den Vergleich der Brandszenarien für die einzelnen Räume konnten sechs Brandentstehungs-Räume identifiziert werden (Tab. 2-15), die durch die verbleibenden 17 Räume abgedeckt werden. Um sie im Sinne der

PSA-Abschneidekriterien vernachlässigen zu können, müssen jedoch auch für sie Schätzwerte der brandbedingten Schadenshäufigkeiten ermittelt werden. Die mit der ersten Anwendung des Auswahlverfahrens gemachten Erfahrungen zeigen, dass der Aufwand für diese vergleichende Betrachtung der Brandszenarien doch erheblich ist und im Sinne der Zielsetzung des Auswahlverfahrens nicht gerechtfertigt ist.

Es wurden daher für alle nach Anwendung des Auswahlkriteriums 2 verbliebenen 23 Räume Monte-Carlo-Simulationen mit dem Programm CRAVEX durchgeführt. Den Simulationen lagen zugrunde:

- Raum-Komponenten-Zuordnung ZA-ZE (siehe /GRS 04c/),
- Allgemeiner Brandvektor ZA-ZE (siehe /GRS 04c/),
- Fehlerbaum für den “Notstromfall“ und Zuverlässigkeitsdaten aus dem RiskSpectrum<sup>®</sup>-Projekt für die Referenzanlage (Basis-PSA).

**Tab. 2-15:** Abdeckende Brandszenarien

<b>Brandentstehung in Raum ZAx.yy</b>	<b>Abgedeckt durch Raum ZAyy.zz</b>	<b>Erläuterung</b>
01.08	01.07	Raum ZA00.42B im Szenario für ZA01.07 nicht enthalten, spielt jedoch wegen Ausfallwahrscheinlichkeit von $W_{ZA00.42B} = 0$ keine Rolle
01.33	01.32	In ZA01.33 keine PSA-Komponenten, alle anderen Räume mit kleineren Brand-Wahrscheinlichkeiten als bei Brandentstehung in ZA01.32
02.12B	02.12A	Identische Komponentenbelegung
03.19	03.11	Die in Räumen mit höherer Brand-Wahrscheinlichkeiten als bei Szenario ZA03.11 betroffenen PSA-Komponenten sind im Szenario ZA03.11 durch Brand-Wahrscheinlichkeiten = 1 abgedeckt
05.07	05.03	In Raum ZA05.07 keine PSA-Komponenten, alle anderen Räume kleinere Brand-Wahrscheinlichkeiten als bei Brandentstehung in ZA05.03
08.10	08.03	In Raum ZA08.10 keine PSA-Komponenten, alle anderen Räume mit kleineren Brand-Wahrscheinlichkeiten als bei Brandentstehung in ZA08.03

Zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für den "Notstromfall" und andere Transienten aufgrund eines Brandes steht gegenwärtig kein PSA-Modell zur Verfügung. Für die Beurteilung der Relevanz eines Brandszenarios werden daher zunächst neben den Brandeintrittshäufigkeiten nur die mittleren Nichtverfügbarkeiten derjenigen Systemfunktionen herangezogen, die zur Beherrschung der Transienten erforderlich sind, wobei für die erste praktische Anwendung des Auswahlverfahrens die Transiente "Notstromfall" herangezogen wurde. Der "Notstromfall" stellt mit einigen Ausnahmen die höchsten Anforderungen an die Systemfunktionen und deckt damit in weiten Bereichen die anderen Transienten ab. Höhere Anforderungen ergeben sich aber beispielsweise bei Transienten mit vorhandenem Speisewasser an den Überspeisungsschutz. Nach einer ersten Einschätzung würden sich die Ergebnisse des Auswahlverfahrens bzw. der Detailanalysen nicht signifikant verschlechtern.

Die mit CRAVEX ermittelten Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines Notstromfalls erforderlichen Systemfunktionen sind in Tab. 2-16 dargestellt.

Diese Tabelle enthält außerdem die Brandeintrittshäufigkeiten sowie die Produkte aus Brandeintrittshäufigkeiten und mittleren Nichtverfügbarkeiten. Diese Werte entsprechen den Häufigkeiten für den Eintritt eines Systemschadenszustandes, wenn für den brandbedingten Eintritt des "Notstromfalls" pessimistisch die Wahrscheinlichkeit  $W_{NSF} = 1$  angenommen wird. Die Ergebnisse in Tab. 2-16 beruhen auf Brandeintrittshäufigkeiten und Brandübergangswahrscheinlichkeiten, die im Verlauf der Analysen aktualisiert wurden (z.B. durch Einbeziehung während anlagenspezifischer Kenntnisse). Es wurden zunächst Simulations-Rechnungen mit sehr pessimistisch ermittelten Übergangswahrscheinlichkeiten durchgeführt, die für eine vernünftige Auswahl der relevanten Szenarien nicht brauchbar waren. Es ist also bereits beim Auswahlverfahren darauf zu achten, dass möglichst realistische Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten verwendet werden. Analoges gilt für die Brandeintrittshäufigkeiten. Auch hier wurden die für die ersten Einschätzungen zu relevanten Räumen nach Berry ermittelten Häufigkeiten durch realistischere Werte ersetzt (vgl. Abschnitt 2.3.1.1).

Die Räume mit Produkt-Werten  $< 1,0 \text{ E-}06/\text{a}$  werden vernachlässigt, ohne zusätzliche Analysen bezüglich des brandbedingten Eintritts einer Transiente. Die Vernachlässigungen sind nach den in der PSA anzuwendenden Abschneidekriterien entsprechend dem neuen Entwurf des PSA-Methodenbandes zulässig, wenn als Bezugswert die in der Basis-PSA ermittelte Kernschadenshäufigkeit von ca.  $3,0 \text{ E-}05/\text{a}$  angesetzt wird.

Für die verbleibenden 12 Räume werden im Folgenden die zum Ausfall der Systemfunktionen für den "Notstromfall" führenden Ausfallkombinationen diskutiert (in der Reihenfolge der Werte für die mittleren Nichtverfügbarkeiten).

**Tab. 2-16:** Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten

<b>Raum</b>	<b>A Brand- Eintrittshäufigkeit [1/a]</b>	<b>B Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen</b>	<b>A x B [1/a]</b>
ZA03.11	4,6 E-04	1,0 E+00	4,6 E-04
ZA04.02	4,3 E-04	1,0 E+00	4,3 E-04
ZA01.35	3,6 E-04	5,6 E-02	2,0 E-05
ZA08.03	4,6 E-04	2,5 E-02	1,1 E-05
ZA03.19	2,4 E-04	2,0 E-02	4,8 E-06
ZA02.12B	2,9 E-04	5,4 E-03	1,6 E-06
ZA06.10	2,9 E-04	5,3 E-03	1,5 E-06
ZA02.12A	2,9 E-04	5,3 E-03	1,5 E-06
ZA05.05	2,9 E-04	5,2 E-03	1,5 E-06
ZA05.03	2,9 E-04	5,1 E-03	1,5 E-06
ZA08.10	2,9 E-04	4,7 E-03	1,4 E-06
ZA01.29	3,6 E-05	3,5 E-02	1,3 E-06
ZA01.10	4,4 E-04	7,8 E-04	3,4 E-07
ZA02.05	4,6 E-04	6,6 E-04	3,0 E-07
ZA01.07	4,6 E-04	5,0 E-04	2,3 E-07
ZA01.34	3,6 E-04	3,4 E-04	1,2 E-07
ZA01.32	8,1 E-04	9,4 E-05	7,7 E-08
ZA05.07	2,2 E-05	1,4 E-03	3,2 E-08
ZA01.08	4,6 E-04	6,4 E-05	2,9 E-08
ZA01.33	3,6 E-04	4,4 E-05	1,6 E-08
ZA01.04	3,6 E-05	1,4 E-04	5,1 E-09
ZA01.16	3,6 E-05	6,6 E-05	2,4 E-09
ZA01.30	3,6 E-05	5,4 E-05	2,0 E-09

- Brandentstehung in ZA03.11

Mit den Annahmen für das Auswahlverfahren fallen die Systemfunktionen zur Beherrschung des "Notstromfalls" brandbedingt mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  aus. Das Ergebnis wird durch die brandbedingten Ausfälle im Brandentstehungsraum ZA03.11 bestimmt. Brandbedingt fallen Armaturen für die Nachwärmeabfuhr durch KoKa (Kondensationskammer)-Kühlen aus, z.B.:

- Motorarmaturen TH16-46S101 öffnen nicht,
- Motorarmaturen TF12/22S102 öffnen nicht.

Da sich alle Komponenten im Raum ZA03.11 befinden, spielt die Brandausbreitung in andere Räume numerisch keine Rolle.

- Brandentstehung in ZA04.02

Es gilt analog das für Raum ZA03.11 Gesagte.

- Brandentstehung in ZA01.35

Die mittlere Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung des Notstromfalls beträgt  $5,6 \cdot 10^{-2}$ . Brandbedingt fallen die Hochdruck-Einspeisungen mit dem Einspeisesystem TJ und dem Nachspeisesystem TM sowie der Durchdringungsabschluss der Frischdampfleitungen aus. In Kombination mit dem Nichtschließen eines S/E-Ventils führen diese Abläufe zu einem Systemschadenzustand. Der brandbedingte Ausfall der genannten Systemfunktionen ist u. a. auf folgende Komponentenversagen zurückzuführen:

- Einspeiseturbine TJ01D101 (startet nicht),
- druckseitige Einspeisearmatur TM01S105 (öffnet nicht),
- Magnetsteuerventile der Frischdampf-Isolationsventile TN73-76S235-238 und TN73-76S244-247 (öffnen nicht).

Das Ergebnis wird durch die Brandeinwirkung auf diese Komponenten bestimmt, die sich alle in Raum ZA01.35 befinden. Die Brandausbreitung in Nachbarräume hat keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis.

- Brandentstehung in ZA01.29

Als mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des Notstromfalls erforderlichen Systemfunktionen wurde  $3,5 \text{ E-}02$  ermittelt. Dominante brandbedingte Ausfallkombinationen, die zum Versagen des Nachkühlsystems und USUS führen, enthalten Armaturenversagen in allen vier bzw. zwei Redundanzen von TH und TF. Die Ausfälle sind auf Brandausbreitung in Nachbarräume, wie z.B. ZA04.02 und ZA03.11 zurückzuführen. Zufallsausfälle spielen eine untergeordnete Rolle.

- Brandentstehung in ZA08.03

Zur mittleren Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung des "Notstromfalls" von  $2,5 \text{ E-}02$  tragen sowohl brandbedingte Ausfälle im Brandentstehungsraum ZA08.03 bei, als auch Ausfälle in Nachbarräumen, in die sich der Brand ausgebreitet hat. So ergibt eine Vergleichsrechnung, bei der keine Brandausbreitung unterstellt wurde, nur eine mittlere Nichtverfügbarkeit von  $5,1 \text{ E-}03$ . Für die unmittelbaren Nachbarräume (Brandausbreitungstiefe = 1) mit PSA-relevanten Komponenten liegen die Brandeintrittswahrscheinlichkeiten zwischen  $1,5 \text{ E-}01$  und  $3,0 \text{ E-}01$ . Brandbedingte Ausfälle betreffen im Wesentlichen:

- Magnet-Vorsteuerventile TN73-76S235-247 für die Frischdampf-ISO-Ventile (Ausfall DDA-Frischdampfleitung),
- Motorventile RA06S101/S102 (Ausfall DDA-Hilfsdampfleitung).

- Brandentstehung in ZA03.19

Die Ausfallkombinationen entsprechen denen der Brandauslösung in Raum ZA08.03, wobei die mittlere Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen mit  $2,0 \text{ E-}02$  etwas geringer ist. Bezüglich der Brandausbreitung spielt Raum ZA03.11 eine wesentliche Rolle, die Wahrscheinlichkeit eines Brandes in diesem Raum beträgt  $2,0 \text{ E-}02$ .

- Brandentstehung in ZA02.12A, ZA02.12B

Die mittlere Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung des Notstromfalls ist bei beiden Räumen mit  $5,4 \text{ E-}03$  bzw.  $5,3 \text{ E-}02$  etwa gleich (simulationsbedingte Abweichungen). Der Hauptbeitrag aufgrund brandbedingter Ausfälle geht auf Versagen der Magnet-Vorsteuerventile für die Frischdampf-ISO-Ventile zurück (Ausfall

Frischdampf-DDA), wobei die Brandausbreitung in Nachbarräume von Raum ZA02.12A bzw. ZA02.12B keine Rolle spielt.

- Brandentstehung in ZA06.10

Als mittlere Nichtverfügbarkeit zur Beherrschung der Systemfunktionen wurde ein Wert von  $5,3 \cdot 10^{-3}$  ermittelt. Der Hauptbeitrag aufgrund brandbedingter Ausfälle geht auf den Ausfall des Nachspeisesystems und Versagen der Magnet-Vorsteuerventile für die Frischdampf-ISO-Ventile zurück (Ausfall Frischdampf-DDA). Mit dem Zufallsausfall eines S/E-Ventils (schließt nicht nach dem Öffnen) und dem Versagen des intermittierenden Bespeisens mit dem Nachkühlsystem führen die Abläufe zu einem System-schadenzustand. Die Brandausbreitung in Nachbarräume von Raum ZA06.10 spielt keine Rolle.

- Brandentstehung in ZA05.05

Es gilt das für Raum ZA06.10 Gesagte.

- Brandentstehung in ZA05.03

Die mittlere Nichtverfügbarkeit zur Beherrschung des Notstromfalls beträgt  $5,1 \cdot 10^{-3}$ . Die in Kombination mit Zufallsausfällen zu einem Systemschadenzustand führenden brandbedingten Komponentenausfälle entsprechen denen der Brandszenarien für die Räume ZA06.10 und ZA05.05. Der zusätzliche brandbedingte Ausfall der Armatur TH25S104 (druckseitige TH-Einspeiseleitung für Fluten) spielt numerisch eine untergeordnete Rolle.

- Brandentstehung in ZA08.10

In Raum ZA08.10 sind keine für die Beherrschung des Notstromfalls erforderlichen Komponenten. Zur mittleren Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen von  $4,7 \cdot 10^{-3}$  tragen Ausfälle bei, die aufgrund der Brandausbreitung in Nachbarräume eintreten. Dabei ist die Ausbreitung eines Brandes in Raum ZA08.03 mit  $W = 0,3$  am wahrscheinlichsten. Dominante Beiträge liefern brandbedingten Ausfälle, die zum Versagen des Durchdringungsabschlusses für das Einspeisesystem TJ und die Frischdampfleitungen führen, jeweils in Kombination mit Zufallsausfällen (S/E-Ventil schließt nicht nach dem Öffnen, Hochdruck-Einspeisung durch TM und intermittierendes Bespeisen mit TH).

**Tab. 2-17:** Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente

Raum	Brand-Eintrittshäufigkeit [1/a]	Wahrscheinlichkeit und Art des brandbedingten auslösenden Ereignisses		Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung der Transiente erforderlichen Systemfunktionen	Häufigkeit einer nicht beherrschten Transiente [1/a]
ZA03.11	4,6 E-04	1,0 E+00	AHWS <sup>1)</sup>	1,0 E+00	4,6 E-04
ZA04.02	4,3 E-04	1,0 E+00	AHWS	1,0 E+00	4,3 E-04
ZA01.35	3,6 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,6 E-02	2,0 E-05 <sup>2)</sup>
ZA08.03	4,6 E-04	1,0 E+00	AHWS	2,5 E-02	1,1 E-05 <sup>2)</sup>
ZA02.12B	2,9 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,4 E-03	1,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZA06.10	2,9 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,3 E-03	1,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZA02.12A	2,9 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,3 E-03	1,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZA05.05	2,9 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,2 E-03	1,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZA05.03	2,9 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,1 E-03	1,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZA08.10	2,9 E-04	3,0 E-01	AHWS	4,7 E-03	4,1 E-07
ZA01.29	3,6 E-05	1,2 E-01	AHWS	3,5 E-02	1,5 E-07
ZA03.19	2,4 E-04	3,0 E-02	AHWS+AHSPW	2,0 E-02	1,4 E-07
<sup>1)</sup> Bezeichnungen der auslösenden Ereignisse: AHWS: Ausfall der Hauptwärmesenke AHSPW: Ausfall Hauptspeisewasser  <sup>2)</sup> Pessimistisch gegensätzliche Ausfallarten für Magnetsteuerventile unterstellt (öffnen unbeabsichtigt bzw. öffnen nicht), siehe Text zu Raum ZA01.35					

Während zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung einer Transiente (als "Referenz-Transiente" wurde hier der "Notstromfall" zugrunde gelegt), das PSA-Modell herangezogen werden kann, liegen für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit der brandbedingten Auslösung einer Transiente keine PSA-Modellierungen vor. Für die 12 verbliebenen Szenarien werden daher für das Auswahlverfahren Expertenschätzungen zu den Wahrscheinlichkeiten des brandbedingten Eintritts einer Transiente durchgeführt. Diese Wahrscheinlichkeiten und die sich daraus ergebenden Häufigkeiten für eine nicht beherrschte Transiente (Systemschadenzustand) sind in Tab. 2-17 dargestellt. Mit dem in der PSA für Leistungsbetrieb ermittelten Gesamthäufigkeit für Systemschadenzustände von 3,0 E-05/a (Wert aus der Basis-PSA) und den in der PSA angewandten Abschneidekriterien (in Summe ein Beitrag zur Gesamthäufigkeit für Kernschadenzustände < 20 %) können demnach als Ergebnis des Auswahlverfahrens formal mindestens die letzten sechs der

in Tab. 2-17 aufgeführten Brandszenarien vernachlässigt werden. Die somit vernachlässigten Beiträge liegen mit kleiner  $6,0 \text{ E-}06/a$  unterhalb der 20 %-Schwelle. Dabei sind auch die bereits vorher vernachlässigten Beiträge (Tab. 2-16) berücksichtigt. Für die weiteren Detailanalysen wird Raum ZA03.11 ausgewählt, für den das Auswahlverfahren den höchsten Wert der Häufigkeit für eine nicht beherrschte Transiente liefert.

Die für das Auswahlverfahren abgeschätzten Häufigkeiten auslösender Ereignisse beruhen auf folgenden Grundlagen:

- Brandentstehung in Raum ZA03.11

Ausfall der Hauptwärmesenke durch Annahme des brandbedingten Versagens der Stromversorgung für die Magnetsteuerventile TN73-76S235/S237 oder TN73-76S244-S247 mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$ . Bei Ausfall der Stromversorgung öffnen die Magnetventile. Dies führt zum Schließen der Frischdampf-Isolationsventile.

- Brandentstehung in Raum ZA04.02

Es gilt das für Raum ZA03.11 Gesagte, d.h. auch hier wird brandbedingtes Versagen der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile unterstellt.

- Brandentstehung in Raum ZA01.35

Wie bei den Räumen ZA03.11 und ZA04.02 wird brandbedingtes Versagen der Magnetsteuerventile (öffnen unbeabsichtigt) für die Frischdampf-Isolationsventile mit der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeit  $W = 1$  angenommen. Als auslösendes Ereignis wird daher ein Ausfall der Hauptwärmesenke mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  unterstellt. Für die ermittelte Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen spielen jedoch brandbedingte Ausfälle dieser Magnetsteuerventile in der Ausfallart "öffnen nicht" die wesentliche Rolle (im Auswahlverfahren wird davon ausgegangen, dass bei Brandeinwirkung auf eine Komponente alle im Fehlerbaum modellierten Ausfallarten betroffen davon sind). Die Annahme beider gegensätzlichen Ausfallarten (öffnen unbeabsichtigt bzw. öffnen nicht) führt daher zu pessimistischen Abschätzungen für die Häufigkeiten von Schadenszuständen. Die tatsächlich zu erwartenden Ausfälle der Magnetsteuerventile durch Brandeinwirkungen sind durch Detailanalysen zu ermitteln.

- Brandentstehung in Raum ZA08.03

Wie beim Raum ZA01.35 führen die unterstellten brandbedingten Ausfälle der Magnetsteuerventile (öffnen unbeabsichtigt) für die Frischdampf-Isolationsventile zum Ausfall der Hauptwärmesenke mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$ . Die "gegensätzlichen" Ausfälle dieser Ventile (öffnen nicht) spielen auch hier für die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen eine Rolle, allerdings in geringerem Maße, da brandbedingt auch ein Ausfall des Durchdringungsabschlusses der Hilfsdampfleitung (Wahrscheinlichkeit  $W = 0,3$ ) vorliegt.

- Brandentstehung in einem der Räume ZA02.12A, ZA02.12B, ZA05.03, ZA05.05, ZA06.10

Es gilt das für den Raum ZA01.35 Gesagte.

- Brandentstehung in Raum ZA08.10

Aufgrund des brandbedingten Ausfalls der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile wird der Ausfall der Hauptwärmesenke unterstellt (Wahrscheinlichkeit  $W = 0,3$ ).

- Brandentstehung in Raum ZA01.29

Es wird brandbedingt der Ausfall der Hauptwärmesenke unterstellt und pessimistisch eine bedingte Wahrscheinlichkeit von  $W = 1,2 \text{ E-}01$  abgeschätzt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit wird der Ausfall der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile angenommen. Brandbedingte Ausfälle mit höheren Wahrscheinlichkeiten werden als vernachlässigbar für die Auslösung von Transienten eingeschätzt.

- Brandentstehung in Raum ZA03.19

Als brandbedingtes auslösendes Ereignis wird für den Ausfall der Hauptwärmesenke eine bedingte Wahrscheinlichkeit von  $W = 3,0 \text{ E-}02$  abgeschätzt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit fallen die Magnetsteuerventile der Frischdampf-Isolationsventile aus. Mit etwas geringerer Wahrscheinlichkeit (ca.  $2,0 \text{ E-}02$ ) sind auch Komponenten des Speisewassersystems vom Brand betroffen. Für das Auswahlverfahren wird daher

pessimistisch ein Ausfall der Hauptwärmesenke und Ausfall des Hauptspeisesystems mit der bedingten Wahrscheinlichkeit von  $W = 3,0 \text{ E-}02$  unterstellt.

### 2.3.2 Räume im Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude ZE

Im Schaltanlagegebäude ZE gibt es 177 Räume. Ein Überblick zu den Raumnummern ist in Tab. 2-18 gegeben. Die Übergänge zu benachbarten Gebäuden sind in Tab. 2-19 zusammen gestellt.

**Tab. 2-18:** Raumnummern in ZE<sup>7</sup>

Raum - Etage	0	1	2	3	4	5
01	+	+	+	+	+	+
02	3	2	+	+	+	+
03	+	+	+	+	+	+
04	+	+	+	+	+	+
05	+	+	3	5	+	+
06	2	+	+	+	+	+
07	+	+	+	+	+	+
08	2	+	+	+	+	+
09	+	+	+	+	+	
10	+	+	+	+	+	
11	+	+	+	+	+	+
12	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+	+
14	+		+	+	+	+
15	+		+	+	+	+
16	+		+	+	+	+
17	+		+	+	+	+
18	+		+	+	+	+
19	+			+	+	
20	+		+	+	+	
21	+		+	+	+	
22	+		+	2		
23			2	+		
24			2	+		
25			+			
26			+	+		
27			+	+		
28			+			
29		+	+	+	+	
30	+	+	+	+	+	
31	+	+	+	+		
32	+	+	+	+	+	
33	+	+	+	+	+	
34	+	+	+	+	+	
35	+		+		+	
36	+		+			
37			+			
38			+			
39			+			
40		+				
41		+				

<sup>7</sup> Steht ein + in Tab. 2-18, wurde der Raum entsprechend Anlagenkennzeichnung übernommen. Eine Zahl k bedeutet, dass der Raum in k Unterräume geteilt wurde. Nach Anwendung der automatischen Auswahl mit den Kriterien 1 und 2 verbleiben 48 Räume. Diese Räume sind rot markiert.

**Tab. 2-19:** Verbindungen vom BWS-Gebäude, Teil ZE zu benachbarten Gebäuden

Zum Gebäude	Räume
ZA - Reaktorgebäude	Notausstiege mit Feuerwiderstand 90' aus den Kabelkanälen ZA00.41A und ZA00.42A (zu ZE00.17 und ZE00.08); über Brandschutztür T90 aus ZE00.18 (zu ZA02.03)
BWS-Gebäude, Teil ZD	ZE00.06A (T30) ZD00.01; ZE01.02B (T90) ZD01.27; ZE02.05C (T90) ZD02.05
ZL, ZW	ZE00.06A (T60) ZW00.02; ZE03.24 (O) ZL03.14
ZF	ZE00.02A (L90) ZF00.02B; ZE02.24A (T60) ZF00.06 ; ZE00.13 (L90) ZF00.04; ZE03.21 (T90) ZF00.06
Dach	von ZF04.03
Ausgänge	ZE01.30, ZE01.31, ZE01.33; ZE01.40; ZE01.41

### 2.3.2.1 Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2

Räume mit einer Brandbelastung von höchstens 90 MJ/m<sup>2</sup> können von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden (Auswahlkriterium 1). Im Schaltanlagegebäude ZE gibt es 74 Räume mit einer Brandbelastung von mehr als 90 MJ/m<sup>2</sup>.

Entsprechend Auswahlkriterium 2 wird nun für jeden dieser 74 Räume festgestellt, ob bei einem Brand eine Gefährdung wichtiger Komponenten eintreten kann. Ist das nicht der Fall, kann der Raum ausgesondert werden. Bei Anwendung dieses Kriteriums werden neben dem Raum der Brandentstehung alle unmittelbar benachbarten Räume berücksichtigt, die offen mit diesem Raum verbunden sind. Unter den insgesamt 177 Räumen in ZE sind 62 Räume, die wichtige Komponenten oder deren elektro- bzw. leittechnischen Kabel enthalten.

Nach Anwendung von Auswahlkriterium 2 verbleiben 48 Räume (siehe Tab. 2-20, sowie fett rot gedruckt in Tab. 2-18). Eine manuelle Durchsicht dieser Räume ergibt weitere Einschränkungen aufgrund von Experteneinschätzungen. Dabei wurden u. a. folgende Informationen berücksichtigt: Schottung der Brandlasten, Lage des Raums im Gebäude (beim automatischen Vorgehen nach Auswahlkriterium 2 werden nur direkte Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt), Raumnutzung und Kenntnis von Nachrüstungen.

Nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 und einer zusätzlichen manuellen Durchsicht wird das Auswahlverfahren für alle in Tab. 2-20 markierten 38 Räume (in Fettdruck) mit Anwendung des Kriteriums 3 fortgesetzt.

Die in der Tab. 2-20 angegebenen Brandeintrittshäufigkeiten wurden mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich auf eine Brandeintrittshäufigkeit im Schaltanlagegebäude von  $8,0 \text{ E-}02/\text{a}$ . Dieser Wert beruht auf der französischen Betriebs Erfahrung /IPS 01/, dass die Anzahl der Brände im Reaktorgebäude ungefähr der Anzahl der Brände im Schaltanlagegebäude ist (siehe auch Abschnitt 2.3.1.1). Im Schaltanlagegebäude sind viele ähnlich ausgestattete Räume, d.h. auch die Parameter, die die Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit für die einzelnen Räume beeinflussen, sind für viele Räume gleich; deshalb gibt es auch nur wenig verschiedene Werte für die Eintrittshäufigkeiten.

**Tab. 2-20:** Nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 in  $\text{ZE}^8$  verbliebene Räume

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit <sup>9</sup> [1/a]
<b>00.01</b>	<b>Kabelkeller 0,4 kV</b>	1304	1,57 E-03
00.02A	Flur	517	2,49 E-05
00.02B	Flur	517	2,49 E-05
00.02C	Flur	517	2,49 E-05
<b>00.03</b>	<b>Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV</b>	1207	1,57 E-03
<b>00.04</b>	<b>Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV</b>	662	1,57 E-03
<b>00.05</b>	<b>Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV</b>	1342	1,57 E-03
00.06A	Flur	303	2,44 E-04
00.06B	Flur	303	2,44 E-04
<b>00.07</b>	<b>Kabelkeller</b>	685	1,57 E-03
<b>00.08A</b>	<b>Kabelkeller (links)</b>	836	1,57 E-03
<b>00.08B</b>	<b>Kabelkeller (rechts)</b>	285	1,75 E-03
<b>00.10</b>	<b>Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV</b>	1152	1,57 E-03
<b>00.11</b>	<b>Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV</b>	2767	1,57 E-03

<sup>8</sup> Das Auswahlverfahren wird mit den fett markierten Räumen fortgesetzt (Anwendung Auswahlkriterium 3).

<sup>9</sup> Brandeintrittshäufigkeiten sind relativ mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich hier auf eine jährliche Eintrittshäufigkeit im Schaltanlagegebäude von  $0.08/\text{a}$  und auf die Anzahl der nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 bis 2 verbliebenen Räume.

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit <sup>9</sup> [1/a]
00.12	Kabelkeller 0.4k V und 6 kV	1731	1,57 E-03
00.13	Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV	1672	1,57 E-03
00.14	Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV	1378	1,57 E-03
00.15	Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV	1756	1,57 E-03
00.16	Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV	906	1,57 E-03
00.17	Kabelkeller 0.4 kV und 6 kV	2035	1,57 E-03
00.18	Trafo- und Umrichter für ZUP	352	2,46 E-03
00.19	Trafo- und Umrichter für ZUP	291	2,46 E-03
00.36	Kabelkanal Red.1	1486	1,57 E-03
01.04	Schaltanlagen 200V	149	2,46 E-03
01.05	Gleichrichter EC26, Wechselrichter ER52	138	2,46 E-03
01.07	Schaltanlagen 0,4 kV Red 0	122	2,46 E-03
01.09	Notschaltanlagen 0,4 kV	148	2,46 E-03
01.10	Notschaltanlagen 0,4 kV	215	2,46 E-03
01.11	Notschaltanlagen 0,4 kV	124	2,46 E-03
01.12	Notschaltanlagen 0,4 kV	237	2,46 E-03
01.13	Notschaltanlagen 0,4 kV	103	2,46 E-03
02.20	Kabelboden 6 kV BV+BD	304	1,57 E-03
02.21	Kabelboden 6 kV BU+BC	210	1,57 E-03
02.23A	Kabelkanal	2330	1,57 E-03
02.23B	Kabelkanal	2330	1,57 E-03
02.24A	Kabelkanal	2490	1,57 E-03
02.24B	Kabelkanal	2490	1,57 E-03
02.25	Rangierverteilteraum 3	1305	2,46 E-03
02.26	Rangierverteilteraum 2	913	2,46 E-03
02.27	Kabelboden	191	1,57 E-03
02.28	Rangierverteilteraum 1	1131	2,46 E-03
02.38	Kabelkanal	393	1,27 E-03
03.07	Schaltanlagen Red 1 (Wechselrichter)	223	2,46 E-03
03.08	Schaltanlagen Red 2 (Wechselrichter)	232	2,46 E-03
03.17	Notanlage 6 kV BV; Blockanlage 6 kV BD	101	1,26 E-03
03.18	Notanlage 6 kV BU; Blockanlage 6 kV BC	101	1,26 E-03
03.19	Elektronikraum 3	101	1,26 E-03
03.20	Elektronikraum 4	101	1,26 E-03

Die Brandeintrittshäufigkeit von  $8,0 \text{ E-}02/a$  für das Schaltanlagegebäude ZE ist sehr pessimistisch. Im Rahmen der Detailanalyse für den Raum ZE00.08B (vgl. Abschnitt 3.3) wurden die deutsche Betriebserfahrung und die Brandereignisse in der Referenzanlage zur Bestimmung einer weitgehend anlagenspezifisch ermittelten Brandeintrittshäufigkeit für das Schaltanlagegebäude herangezogen. Es ergibt sich dabei mit  $1,9 \text{ E-}02/a$  ein wesentlich kleinerer Wert. Bei der Anwendung des Verfahren von Berry zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit der einzelnen Räume ergeben sich dann bei Nutzung dieses anlagenspezifischen Wertes entsprechend kleinere Brandeintrittshäufigkeiten für die einzelnen Räume. Für die im folgenden Abschnitt 2.3.2.2 beschriebene Anwendung des Auswahlkriteriums 3 werden diese Häufigkeiten zugrunde gelegt.

### 2.3.2.2 Anwendung des Auswahlkriteriums 3

Das Auswahlkriterium 3 wurde auf 38 Räume im Gebäude ZE (in Tab. 2-20 fett markiert) angewandt. Dabei wurde von aktualisierten Brandeintrittshäufigkeiten ausgegangen. Wie auch bei den Brandszenarien im Gebäude ZA wurden für alle Räume die Wahrscheinlichkeiten der Raum- und Komponentenausfälle sowie die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen simulativ ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2-21 dargestellt.

**Tab. 2-21:** Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten

Raum	<b>A</b> Brand- Eintrittshäufigkeit [1/a]	<b>B</b> Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen	<b>A x B</b> [1/a]
ZE01.07	6,3 E-04	1,1 E-01	6,7 E-05
ZE00.10	4,0 E-04	1,0 E-01	4,0 E-05
ZE00.36	4,0 E-04	6,0 E-02	2,4 E-05
ZE02.27	4,0 E-04	5,8 E-02	2,3 E-05
ZE03.08	6,3 E-04	3,3 E-02	2,1 E-05
ZE03.07	6,3 E-04	3,3 E-02	2,1 E-05
ZE01.04	6,3 E-04	1,1 E-02	7,2 E-06
ZE00.07	4,0 E-04	8,6 E-03	3,5 E-06
ZE00.04	4,0 E-04	5,8 E-03	2,4 E-06

<b>Raum</b>	<b>A Brand- Eintrittshäufigkeit [1/a]</b>	<b>B Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen</b>	<b>A x B [1/a]</b>
ZE00.03	4,0 E-04	5,5 E-03	2,2 E-06
ZE00.05	4,0 E-04	5,2 E-03	2,1 E-06
ZE03.18	3,2 E-04	5,0 E-03	1,6 E-06
ZE02.28	6,3 E-04	1,7 E-03	1,1 E-06
ZE02.26	6,3 E-04	1,4 E-03	8,9 E-07
ZE00.14	4,0 E-04	1,8 E-03	7,4 E-07
ZE00.12	4,0 E-04	1,8 E-03	7,2 E-07
ZE00.08B	6,0 E-04	1,2 E-03	6,9 E-07
ZE01.12	6,3 E-04	1,0 E-03	6,3 E-07
ZE00.15	4,0 E-04	1,2 E-03	4,8 E-07
ZE00.16	4,0 E-04	1,2 E-03	4,8 E-07
ZE01.13	6,3 E-04	6,8 E-04	4,3 E-07
ZE00.08A	4,0 E-04	1,1 E-03	4,2 E-07
ZE00.13	4,0 E-04	8,1 E-04	3,3 E-07
ZE01.10	6,3 E-04	3,4 E-04	2,1 E-07
ZE01.11	6,3 E-04	2,5 E-04	1,6 E-07
ZE02.20	4,0 E-04	3,6 E-04	1,5 E-07
ZE02.21	4,0 E-04	3,4 E-04	1,4 E-07
ZE00.11	4,0 E-04	3,1 E-04	1,2 E-07
ZE01.05	6,3 E-04	1,9 E-04	1,2 E-07
ZE02.38	6,3 E-04	1,5 E-04	9,5 E-08
ZE03.17	3,2 E-04	2,6 E-04	8,3 E-08
ZE00.18	6,3 E-04	1,3 E-04	8,2 E-08
ZE00.19	6,3 E-04	1,0 E-04	6,5 E-08
ZE02.25	6,3 E-04	7,5 E-05	4,7 E-08
ZE01.09	6,3 E-04	7,1 E-05	4,5 E-08
ZE00.01	4,0 E-04	4,3 E-05	1,7 E-08
ZE03.20	3,2 E-04	8,7 E-05	2,8 E-08
ZE03.19	3,2 E-04	4,6 E-05	1,5 E-08

Zur Ermittlung der für das Auswahlverfahren zugrunde zu legenden Häufigkeiten eines Systemschadenzustandes wurden für die 13 Räume mit Produkt-Werten  $> 1,0 \text{ E-06/a}$  die Wahrscheinlichkeiten für den brandbedingten Eintritt einer Transiente abgeschätzt. Diese Werte und die Ergebnisse für die Häufigkeiten für die nicht beherrschten Tran-

sienten (Systemschadenzustand) sind in Tab. 2-22 dargestellt. Als Ergebnis des Auswahlverfahrens sind für 12 der 13 Räume mit Produkt-Werten > 1,0 E-06/a weitere Untersuchungen durchzuführen<sup>10</sup>.

**Tab. 2-22:** Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente

Raum	Brand-Eintrittshäufigkeit [1/a]	Wahrscheinlichkeit und Art des brandbedingten auslösenden Ereignisses		Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung der Transiente erforderlichen Systemfunktionen	Häufigkeit einer nicht beherrschten Transiente [1/a]
ZE01.07	6,3 E-04	1,0 E+00	AHSPW	1,1 E-01	6,7 E-05
ZE00.10	4,0 E-04	1,0 E-01	AHWS <sup>1)</sup>	1,0 E-01	4,0 E-05
ZE00.36	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	6,0 E-02	2,4 E-05 <sup>2)</sup>
ZE02.27	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,8 E-02	2,3 E-05
ZE03.08	6,3 E-04	1,0 E+00	AHWS	3,3 E-02	2,1 E-05 <sup>2)</sup>
ZE03.07	6,3 E-04	1,0 E+00	AHWS	3,3 E-02	2,1 E-05 <sup>2)</sup>
ZE01.04	6,3 E-04	1,0 E+00	AHWS	1,1 E-02	7,2 E-06 <sup>2)</sup>
ZE00.07	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	8,6 E-03	3,5 E-06 <sup>2)</sup>
ZE00.04	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,8 E-03	2,4 E-06 <sup>2)</sup>
ZE00.03	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,5 E-03	2,2 E-06 <sup>2)</sup>
ZE00.05	4,0 E-04	1,0 E+00	AHWS	5,2 E-03	2,1 E-06 <sup>2)</sup>
ZE02.28	6,3 E-04	1,0 E+00	AHWS	1,7 E-03	1,1 E-06
ZE03.18	3,2 E-04	1,0 E-01	NSF	5,0 E-03	1,6 E-07
<p><sup>1)</sup> Bezeichnungen der auslösenden Ereignisse:            AHWS: Ausfall der Hauptwärmesenke            AHSPW: Ausfall Hauptspeisewasser            NSF: Notstromfall</p> <p><sup>2)</sup> Pessimistisch gegensätzliche Ausfallarten für Magnetsteuerventile unterstellt (öffnen unbeabsichtigt bzw. öffnen nicht), siehe Text zu Raum ZE00.36</p>					

<sup>10</sup> Für eine detaillierte Brandanalyse wurde der Raum ZE00.08B herangezogen (Abschnitt 3.3), für den im Auswahlverfahren eine vernachlässigbare Kernschadenshäufigkeit von 6,9E-07/a abgeschätzt wurde (vgl. Tab. 2-21). Die Auswahl dieses Raumes beruhte auf einem vorläufigen Ergebnis des Auswahlverfahrens, bei dem einerseits von einer wesentlich höheren, pessimistischen Brandeintrittswahrscheinlichkeit ausgegangen wurde (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) und andererseits brandbedingte Kabelausfälle der S/E-Ventile (Hauptventile) pessimistisch als Ausfälle dieser Ventile modelliert wurden.

Die für das Auswahlverfahren verwendeten Wahrscheinlichkeiten auslösender Ereignisse beruhen auf folgenden Schätzgrundlagen:

- Brandentstehung in Raum ZE01.07

Aufgrund der brandbedingt ausgefallenen Komponenten des Speisewassersystems RL (Wahrscheinlichkeit  $W = 1$ ) wird ein Ausfall des Hauptspeisewassers mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  unterstellt. Der Eintritt eines Notstromfalls aufgrund der ebenfalls mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausgefallenen Komponenten der elektrischen Energieversorgung kann vernachlässigt werden.

- Brandentstehung in Raum ZE00.36

Es wird vom brandbedingten Versagen der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile in der Ausfallart "öffnen unbeabsichtigt" (durch Versagen der Stromversorgung) mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausgegangen. Dies führt zu einem Durchdringsabschluss der zugehörigen Frischdampfleitungen, d.h. zum Ausfall der Hauptwärmesenke. Ausfälle dieser Ventile spielen ebenfalls für die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung der Transiente die wesentliche Rolle, allerdings in der Ausfallart "öffnen nicht". Die Annahme beider gegensätzlichen Ausfallarten (öffnen unbeabsichtigt bzw. öffnen nicht) führt daher zu pessimistischen Abschätzungen für die Häufigkeiten von Schadenszuständen. Die tatsächlich zu erwartenden Ausfälle der Magnetsteuerventile durch Brandeinwirkungen sind durch Detailanalysen zu ermitteln (vgl. Abschnitt 2.3.1.3).

- Brandentstehung in Raum ZE02.27

Wie bei Raum ZE00.36 wird vom brandbedingten Versagen der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile in der Ausfallart "öffnen unbeabsichtigt" (durch Versagen der Stromversorgung) mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausgegangen. Für die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung des Ausfalls der Hauptwärmesenke spielen diese Ventile jedoch keine Rolle.

- Brandentstehung in einem der Räume ZE00.03, ZE00.04, ZE00.05, ZE00.07, ZE01.04, ZE03.07, ZE03.08

Es gilt das für Raum ZE00.36 Gesagte.

- Brandentstehung in Raum ZE02.28

Wie bei Raum ZE00.36 wird vom brandbedingten Versagen der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile in der Ausfallart "öffnen unbeabsichtigt" (durch Versagen der Stromversorgung) mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausgegangen. Für die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung des Ausfalls der Hauptwärmesenke spielen neben diese Ventilen jedoch auch andere brandbedingte Ausfälle eine wesentliche Rolle.

- Brandentstehung in Raum ZE00.10

Es fallen brandbedingt Komponenten mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  aus, die betrieblich eingesetzt werden (bei Leistungsbetrieb), wie beispielsweise die Zwischenkühlwasserpumpe VH22D101. Diese Ausfälle führen nur zu einer Transiente, wenn zusätzlich weitere (unabhängige) Ausfälle auftreten. Als Wahrscheinlichkeit für den Eintritt einer Transiente wird pessimistisch  $W = 1,0 \text{ E-}01$  verwendet.

- Brandentstehung in Raum ZE03.18

Aufgrund der brandbedingten Ausfälle mehrerer Komponenten der elektrischen Energieversorgung, die mit zusätzlichen unabhängigen Ausfällen zum Notstromfall führen können, wird für das Auswahlverfahren pessimistisch eine Wahrscheinlichkeit von  $W = 1,0 \text{ E-}01$  für den Eintritt eines Notstromfalls angenommen.

### **2.3.3 Räume im USUS-Gebäude ZV**

Im USUS-Gebäude ZV gibt es 36 Räume. Einen Überblick zu den Raumnummern gibt Tab. 2-23. Die Übergänge zu benachbarten Gebäuden wurden in Tab. 2-24 zusammen gestellt.

**Tab. 2-23:** Raumnummern in ZV<sup>11</sup>

<b>Raum - Etage</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
01	+	+	+	+	+
02	+	+	+	+	+
03	+	+	+	+	+
04	+	+	+	+	
05	+	+	+	+	
06	+	+	+		
07	+	+	+		
08	+	+	+		
09	+	+			
10	+	+			

**Tab. 2-24:** Verbindungen vom USUS-Gebäude ZV zu benachbarten Gebäuden

<b>Zum Gebäude</b>	<b>Räume</b>
ZA - Reaktorgebäude	ZV02.05 (T60) ZA02.02 ZV02.05 ist ein Schleusenraum.

### 2.3.3.1 Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2

Nach Auswahlkriterium 1 können alle Räume mit einer Brandbelastung von bis zu 90 MJ/m<sup>2</sup> von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Im USUS-Gebäude ZA gibt es 15 Räume mit einer Brandbelastung von mehr als 90 MJ/m<sup>2</sup>.

Entsprechend Auswahlkriterium 2 wird nun für jeden dieser 15 Räume festgestellt, ob bei einem Brand eine Gefährdung wichtiger Komponenten eintreten kann. Ist das nicht der Fall, kann der Raum ausgesondert werden. Bei Anwendung dieses Kriteriums werden neben dem Raum der Brandentstehung alle unmittelbar benachbarten Räume berücksichtigt, die offen mit diesem Raum verbunden sind. Unter den 36 Räumen in ZV sind 10 Räume, die wichtige Komponenten oder deren elektro- bzw. leittechnischen Kabel enthalten.

Nach Anwendung von Auswahlkriterium 2 verbleiben 11 Räume (siehe Tab. 2-25 sowie fett rot gedruckt in Tab. 2-23). Eine manuelle Durchsicht dieser Räume ergibt weitere Einschränkungen. Als Ergebnis der Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 und einer zusätzlichen manuellen Durchsicht wird das Auswahlverfahren für die in Tab. 2-25 markierten 8 Räume (in Fettdruck) mit Anwendung des Kriteriums 3 fortgesetzt.

<sup>11</sup> Alle ZV-Räume wurden entsprechend Anlagenkennzeichnung übernommen. Nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 und 2 verbleiben die rot markierten Räume.

Die in Tab. 2-25 angegebenen Brandeintrittshäufigkeiten wurden mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich auf eine pessimistisch angenommene Brandeintrittshäufigkeit im USUS-Gebäude von 1,0 E-02/a.

**Tab. 2-25:** Verbliebene Räume in ZV nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2

<b>Raum</b>	<b>Raumbezeichnung</b>	<b>Brandbelastung [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Brandeintrittshäufigkeit<sup>12</sup> [1/a]</b>
01.03	Verbindungsflur	100	4,95 E-04
<b>02.03</b>	<b>HS-Schaltanlage II</b>	300	9,29 E-04
<b>02.04</b>	<b>HS-Schaltanlage I</b>	270	9,29 E-04
<b>02.06</b>	<b>Dieselraum II</b>	2075	1,47 E-03
<b>02.07</b>	<b>Dieselraum I</b>	2065	1,47 E-03
03.01	Haupttreppenhaus	230	4,95 E-04
<b>03.03</b>	<b>NS-Schaltanlage II</b>	268	9,29 E-04
<b>03.04</b>	<b>NS-Schaltanlage I</b>	267	9,29 E-04
03.05	Kontrollschacht	120	4,95 E-04
<b>04.04</b>	<b>Elektronikraum 6</b>	260	9,29 E-04
<b>04.05</b>	<b>Elektronikraum 7</b>	260	9,29 E-04

### 2.3.3.2 Anwendung des Auswahlkriteriums 3

Das Auswahlkriterium wurde auf 8 Räume im Gebäude ZV (in Tab. 2-25 fett markiert) angewandt. Dabei wurde wieder von aktualisierten Brandeintrittshäufigkeiten ausgegangen (Verfahren von Berry mit einer Gebäudeeintrittshäufigkeit von 6,0 E-03/a statt 1,0 E-02/a). Wie auch bei den Brandszenarien im Gebäude ZA und ZE wurden für alle Räume die Wahrscheinlichkeiten der Raum- und Komponentenausfälle sowie die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen simulativ ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2-26 dargestellt.

Die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines Notstromfalls erforderlichen Systemfunktionen liegen zwischen ca. 4 E-04 (Raum ZV03.03) und 5 E-05

(Raum ZV02.06). Zu den Ergebnissen tragen wesentlich Ereignisabläufe mit brandbedingten Ausfällen der Hochdruck-Einspeisung durch das Nachspeisesystem TM (Motorarmatur TM01S105 öffnet nicht) und des Durchdringungsabschlusses der Hilfsdampfleitung (Motorarmatur RA06S102 schließt nicht) in Verbindung mit zusätzlichen unabhängigen Ausfällen bei.

Die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines Notstromfalls erforderlichen Systemfunktionen liegen zwischen ca. 4 E-04 (Raum ZV03.03) und 5 E-05 (Raum ZV02.06). Zu den Ergebnissen tragen wesentlich Ereignisabläufe mit brandbedingten Ausfällen der Hochdruck-Einspeisung durch das Nachspeisesystem TM (Motorarmatur TM01S105 öffnet nicht) und des Durchdringungsabschlusses der Hilfsdampfleitung (Motorarmatur RA06S102 schließt nicht) in Verbindung mit zusätzlichen unabhängigen Ausfällen bei.

**Tab. 2-26:** Brandeintrittshäufigkeiten<sup>12</sup>, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten

Raum	A Brand-Eintrittshäufigkeit [1/a]	B Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen	A x B [1/a]
ZV03.03	6,6 E-04	3,7 E-04	2,4 E-07
ZV04.04	6,6 E-04	3,4 E-04	2,2 E-07
ZV02.03	6,6 E-04	3,1 E-04	2,0 E-07
ZV02.04	6,6 E-04	2,1 E-04	1,4 E-07
ZV03.04	6,6 E-04	1,4 E-04	8,8 E-08
ZV04.05	6,6 E-04	1,3 E-04	8,4 E-08
ZV02.07	1,0 E-03	6,3 E-05	6,6 E-08
ZV02.06	1,0 E-03	5,3 E-05	5,5 E-08

Für die nach den Auswahlritten 1 und 2 verbliebenen Räume des Gebäudes ZV liegen die Produkt-Werte aus Brandeintrittshäufigkeit und mittlerer Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung eines Notstromfalls erforderlichen Systemfunktionen unterhalb von 1,0 E-06/a. Analog zu dem für die Gebäude ZA und ZE angewandten

<sup>12</sup> Brandeintrittshäufigkeiten sind relativ mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich hier auf eine angenommene jährliche Brandhäufigkeit im USUS-Gebäude von 0.01/a und auf die Anzahl der nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 bis 2 verbliebenen Räume.

Abschneidekriterium können Brandszenarien, die von Räumen in ZV ausgehen, für die Kernschadenshäufigkeit vernachlässigt werden. Es werden daher auch keine Abschätzungen zu den Wahrscheinlichkeiten des brandbedingten Eintritts einer Transiente durchgeführt.

Insgesamt ergeben sich damit aus dem Auswahlverfahren für Räume des Gebäudes ZV vernachlässigbare Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit. Detailuntersuchungen von Brandszenarien in diesem Gebäude werden damit nicht für erforderlich gehalten.

### 2.3.4 Räume im Dieselgebäude ZK

Im Dieselgebäude gibt es 25 Räume. Einen Überblick zu den Raumnummern gibt Tab. 2-27. Die Übergänge zu benachbarten Gebäuden wurden in Tab. 2-28 zusammengestellt.

**Tab. 2-27:** Raumnummern in ZK<sup>13</sup>

<i>Raum - Etage</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
01	+	+
02		+
03	+	+
04	+	+
05	+	+
06	+	+
07	+	+
08	+	+
09	+	+
10	+	+
11		+
12	+	+
13	+	
70	+	
80	+	

**Tab. 2-28:** Verbindungen vom Dieselgebäude ZK zu benachbarten Gebäuden

Zum Gebäude	Räume
ZE – BWS-Gebäude	ZK00.70; ZK00.80; abgeschlossen mit Wasserschott; dahinter Brandwand zu ZE
ZF - Maschinenhaus	ZK00.09 (Wasserschott) ZF01.06A; ZK01.10 (Tür) ZF02.08
ZM - Kühlwasserbauwerk	ZK00.13 (T60, Schleusenraum mit Wasserschott) ZM00.93

<sup>13</sup> Alle ZK-Räume wurden entsprechend Anlagenkennzeichnung übernommen. Nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 und 2 verbleiben die rot markierten Räume in der Liste der zu untersuchenden Räume.

### 2.3.4.1 Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2

Entsprechend Auswahlkriterium 1 können alle Räume mit einer Brandbelastung bis zu  $90 \text{ MJ/m}^2$  von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Im Dieselgebäude ZK gibt es 18 Räume mit einer Brandbelastung von mehr als  $90 \text{ MJ/m}^2$ .

Entsprechend Auswahlkriterium 2 wird nun für jeden dieser 18 Räume festgestellt, ob bei einem Brand eine Gefährdung wichtiger Komponenten eintreten kann. Ist das nicht der Fall, kann der Raum ausgesondert werden. Bei Anwendung dieses Kriteriums werden neben dem Raum der Brandentstehung alle unmittelbar benachbarten Räume berücksichtigt, die offen mit diesem Raum verbunden sind. Unter den 25 Räumen in ZK sind 11 Räume, die wichtige Komponenten oder deren E- bzw. leittechnischen Kabel enthalten.

**Tab. 2-29:** Verbliebene Räume in ZK nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2

Raum	Raumbezeichnung	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Brandeintrittshäufigkeit <sup>14</sup> [1/a]
<b>00.01</b>	<b>Trafokühlwassersammelbehälter</b>	166	1,01 E-03
00.07	Kabelkanal	1213	5,13 E-04
00.08	Kabelkanal	2312	5,13 E-04
<b>01.02</b>	<b>DIESELAGGREGAT 1</b>	1505	1,17 E-03
<b>01.03</b>	<b>Steuer- und Reglerschränke für Diesel 1</b>	192	8,06 E-04
<b>01.04</b>	<b>DIESELAGGREGAT 4</b>	1508	1,17 E-03
<b>01.05</b>	<b>Steuer- und Reglerschränke für Diesel 4</b>	182	8,06 E-04
<b>01.06</b>	<b>DIESELAGGREGAT 2</b>	1501	1,23 E-03
<b>01.07</b>	<b>Steuer- und Reglerschränke für Diesel 2</b>	149	8,06 E-04
<b>01.08</b>	<b>DIESELAGGREGAT 3</b>	1505	1,17 E-03
<b>01.09</b>	<b>Steuer- und Reglerschränke für Diesel 3</b>	150	8,06 E-04

Nach Anwendung von Auswahlkriterium 2 verbleiben 11 Räume (siehe Tab. 2-29, sowie fett rot gedruckt in Tab. 2-27). Eine manuelle Durchsicht dieser Räume ergibt weitere Einschränkungen. Als Ergebnis der Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 und

<sup>14</sup> Brandeintrittshäufigkeiten sind relativ mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich hier auf eine angenommene jährliche Brandhäufigkeit im Dieselgebäude von  $1,0 \text{ E-02/a}$  und auf die Anzahl der nach Anwendung der automatischen Auswahlkriterien 1 bis 2 verbliebenen Räume.

einer zusätzlichen manuellen Durchsicht wird das Auswahlverfahren für die in Tab. 2-29 markierten 9 Räume (in Fettdruck) mit Anwendung des Kriteriums 3 fortgesetzt.

Die in der Tab. 2-29 angegebenen Brandeintrittshäufigkeiten wurden mit dem Verfahren von Berry bestimmt und beziehen sich auf eine pessimistisch angenommene Brandeintrittshäufigkeit im Dieselgebäude von 1,0 E-02/a.

### 2.3.4.2 Anwendung des Auswahlkriteriums 3

Das Auswahlkriterium wurde auf 9 Räume im Gebäude ZK (in Tab. 2-29 fett markiert) angewandt. Wie auch für die Räume in ZA, ZE und ZV wurde von aktualisierten Brandeintrittshäufigkeiten ausgegangen (hier: Verfahren von Berry mit einer Gebäudeeintrittshäufigkeit von 6,0 E-03/a statt 1,0 E-02/a). Analog zu den Brandszenarien in diesen Gebäuden wurden für alle Räume die Wahrscheinlichkeiten der Raum- und Komponentenausfälle sowie die mittleren Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung eines "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen simulativ ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2-30 dargestellt.

**Tab. 2-30:** Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten

Raum	A Brand- Eintrittshäufigkeit [1/a]	B Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen	A x B [1/a]
ZK00.01	6,7 E-04	1,1 E-02	7,3 E-06
ZK01.04	7,8 E-04	1,9 E-04	1,5 E-07
ZK01.02	7,8 E-04	1,8 E-04	1,4 E-07
ZK01.05	5,4 E-04	1,9 E-04	1,0 E-07
ZK01.06	8,3 E-04	5,9 E-05	4,9 E-08
ZK01.03	5,4 E-04	6,2 E-05	3,4 E-08
ZK01.08	7,8 E-04	4,4 E-05	3,4 E-08
ZK01.07	5,4 E-04	5,5 E-05	3,0 E-08
ZK01.09	5,4 E-04	4,8 E-05	2,6 E-08

Analog zum Vorgehen beim Auswahlverfahren für die anderen Gebäude können Räume mit Produkt-Werten  $< 1 \text{ E-}06/\text{a}$  für die weitere Brand-Untersuchungen vernachlässigt werden. Für den verbleibenden Raum ZK00.01 ergibt die Simulation die im Folgenden diskutierten relevanten Ausfallkombinationen, die zum Versagen der für den "Notstromfall" erforderlichen Systemfunktionen führen.

- Brandentstehung in ZK00.01

Die mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen beträgt  $1,1 \text{ E-}02$  und wird von Ausfallkombinationen mit brandbedingtem Versagen von Armaturen des Nebenkühlwassers VF für die Dieselmotorkühlung bestimmt. Es handelt sich im Wesentlichen um Öffnungsversagen von Rückschlagklappen (z.B. VF12-22S108/S109). Der brandbedingte Ausfall von Rückschlagklappen wird dabei pessimistisch für das Auswahlverfahren unterstellt. Die betroffenen Komponenten (bzw. deren Betriebsmittel) befinden sich im Raum ZK00.01. Die Brandausbreitung in Nachbarräume ist für das Ergebnis von untergeordneter Bedeutung. Es findet zwar eine Ausbreitung in Raum ZK00.12 mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,3 statt. Dieser Raum enthält aber keine PSA-relevanten Komponenten bzw. Betriebsmittel. Folgende Armaturen im Raum ZK00.01 spielen für die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen eine wesentliche Rolle.

Zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten für den brandbedingten Eintritt einer Transiente werden die Ergebnisse der Simulationen für die Gesamtheit der in den einzelnen Räumen befindlichen Komponenten (d.h. nicht nur die "PSA-Komponenten") herangezogen. Bei Brandauslösung in Raum ZK00.01 wird die mittlere Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen von brandbedingten Ausfällen von Armaturen des Nebenkühlwassers VF für die Dieselmotorkühlung bestimmt. Für die Häufigkeit eines Systemschadenszustandes ist in diesem Fall nur die Transiente "Notstromfall" von Bedeutung. Die bei einem Brand in ZK00.01 betroffenen Komponenten-Ausfälle geben jedoch keinen Hinweis auf den Eintritt eines "Notstromfalls". Auch bei einer pessimistischen oberen Abschätzung von  $1,0 \text{ E-}02$  für das brandbedingte auslösende Ereignis "Notstromfall" kann ein Brand in Raum ZK00.01 für die Häufigkeit eines Systemschadenszustands vernachlässigt werden.

**Tab. 2-31:** Brandeintrittshäufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten für Eintritt einer Transiente, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Häufigkeiten einer nicht beherrschten Transiente

Raum	Brand-Eintrittshäufigkeit [1/a]	Wahrscheinlichkeit und Art des brandbedingten auslösenden Ereignisses		Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung der Transiente erforderlichen Systemfunktionen	Häufigkeit einer nicht beherrschten Transiente [1/a]
ZK00.01	6,7 E-04	< 1 E-02	NSF	1,1 E-02	< 1 E-07

Insgesamt ergeben sich damit aus dem Auswahlverfahren für Räume des Gebäudes ZK vernachlässigbare Beiträge zur Kernschadenshäufigkeit. Detailuntersuchungen von Brandszenarien in diesem Gebäude werden damit nicht für erforderlich gehalten.

#### 2.4 Anwendung des Auswahlverfahrens für den Nichtleistungsbetrieb

Das Auswahlverfahren ist, auch für Anlagenzustände des Nichtleistungsbetriebs anwendbar, obwohl es für probabilistische Brandanalysen für den Leistungsbetrieb (siehe Abschnitt 2) entwickelt wurde.

Die für die Anwendung des Auswahlverfahrens im Nichtleistungsbetrieb notwendigen Änderungen der Informationsbasis werden nachfolgend erläutert. Zur praktischen Umsetzung der Änderungen in der Informationsbasis wird empfohlen, eine Kopie der Datenbank zur Brandanalyse im Leistungsbetrieb (hier: *BA SWR-69*) anzufertigen, die Datenänderungen dort einzutragen und dann die automatischen Prozeduren zur Bestimmung der Auswahlkriterien 1 und 2 sowie zur Datenübergabe für die Bestimmung des Auswahlkriteriums 3 zu nutzen.

Das eigentliche Auswahlverfahren beruht auf der sukzessiven automatischen Anwendung von drei Auswahlkriterien: (1) Brandbelastung, (2) Gefährdungspotential und (3) Kernschadenshäufigkeit (siehe Abb. 2-1).

In Bezug auf das Kriterium (1) Brandbelastung sind folgende Daten bzw. Datenänderungen zu berücksichtigen:

- Brandbelastung der Räume

Das Kriterium (1) zur Brandbelastung lautet, dass Räume mit einer Brandbelastung kleiner als  $90 \text{ MJ/m}^2$  von der weiteren Betrachtung als Brandentstehungsort ausgeschlossen werden können. Auch für Betriebszustände des Nichtleistungsbetriebs wird eine Vorauswahl der Räume auf der Grundlage der Brandbelastungen des Leistungsbetriebs vorgenommen. Da angenommen werden kann, dass die Brandbelastung eines Raumes während des Nichtleistungsbetriebes nicht kleiner wird, sind nach automatischer Anwendung des Kriteriums insbesondere die Brandbelastungen von solchen Räumen kritisch zu hinterfragen, die aufgrund einer nur unwesentlich geringeren Brandbelastung als  $90 \text{ MJ/m}^2$  ausgeschlossen wurden.

Dabei sind folgende Informationen anlagenspezifisch einzubeziehen, auffällige Besonderheiten sollten als Bemerkung in der Datenbank (Kopie für den Nichtleistungsbetrieb) vermerkt werden:

- Häufigkeit der Begehung eines Raums für Instandhaltungsarbeiten während der Revision

In der Referenzanlage konnte dazu die Datenbank der Arbeitsaufträge (siehe z.B. die Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit in ZA03.11, Abschnitt 3.2.1.2) ausgewertet werden.

- Welche Arbeitsmaterialien und sonstigen temporären Brandgüter werden während der Revisionsarbeiten zusätzlich in die Anlagenräume eingebracht?

Als Beispiel seien Schuhzonen genannt. Das sind Zonen, in denen temporär Schutzbekleidung für Arbeiten in stärker kontaminierten Raumbereichen gelagert wird. Während des Leistungsbetriebes sind ständig etwa 20 Schuhzonen eingerichtet (textile Brandlast; 1 Schuhzone ca.  $800 \text{ MJ}$ ). Bei Revision kommen ca. 10 bis 15 temporäre, örtlich wechselnde Schuhzonen hinzu /ENB 02b/.

Mit dem Kriterium (2) wird das Gefährdungspotential eines Brandes in einem Raum bewertet, indem gefragt wird, ob die Möglichkeit der Gefährdung von wichtigen Komponenten gegeben ist. Dabei wird überprüft, ob wichtige Komponenten im Brandentstehungsraum oder in einem mit dem Brandentstehungsraum offen verbundenen Nachbarräum vorhanden sind. In Bezug auf das Kriterium (2) sind folgende Datenänderungen im Nichtleistungsbetrieb zu berücksichtigen:

- Der Sicherheitsbehälter ZX ist während des Nicht-Leistungsbetriebes inertisiert, d.h. ZX muss bei Brandanalysen im Nichtleistungsbetrieb einbezogen werden (siehe dazu auch Abschnitt 3.5).

- Verbindungen zwischen den Räumen  
Im Nichtleistungsbetrieb wird konservativ angenommen, dass sämtliche Raumverbindungen offen sind. In der Datenbank müssen die Verbindungsdaten geändert werden.
- PSA für den Nichtleistungsbetrieb  
Die PSA für den Nichtleistungsbetrieb muss vorliegen, um die Liste wichtiger Komponenten generieren zu können.
- Liste wichtiger Komponenten  
Wie in der Brandanalyse für den Leistungsbetrieb wird auch für den Nichtleistungsbetrieb festgelegt, dass alle Komponenten, die bzgl. einer Ausfallart in den Fehlerbäumen des Kraftwerksmodells als Basisereignisse enthalten sind, wichtig sind. Diese Komponentenliste kann aus der PSA des Nichtleistungsbetriebes generiert werden.  
Mit dieser Komponentenliste kann dann das Inventarkriterium (siehe Abschnitt 2.2.5) in der Datenbank entsprechend geändert werden. Zusätzlich sind dem Kabelmanagementsystem alle Kabelverläufe dieser Komponenten zu entnehmen und das Inventarkriterium anzupassen.

**Tab. 2-32:** Anlagenbetriebszustände

<b>ABZ</b>	<b>Bezeichnung</b>
1-1	Leistungsbetrieb
2-1	Leistungsreduktion
2-2	Abkühlen über Hauptwärmesenke
2-3	Abfahrkühlen
3-1	RDB geschlossen
3-2	RDB geöffnet, Kern vollständig im RDB, Flutraum leer bzw. wird geflutet
3-3	RDB geöffnet, Kern vollständig im RDB, Flutraum geflutet
3-4	RDB geöffnet, Kern teilweise oder vollständig im BE-Becken
3-5	RDB geöffnet, neuer Kern vollständig im RDB, Flutraum geflutet
3-6	RDB geöffnet, Kern vollständig im RDB, Flutraum leer bzw. wird geleert
3-7	RDB geschlossen
4-1	Leistungssteigerung bis Synchronisation
4-2	Leistungssteigerung bis Vollast

In Bezug auf das Kriterium (3) Kernschadenshäufigkeit sind folgende Datenänderungen zu berücksichtigen:

- **PSA für den Nichtleistungsbetrieb**  
Die PSA für den Nichtleistungsbetrieb muss vorliegen, um entsprechend der simulierten Ausfälle von Komponenten die induzierte Kernschadenshäufigkeit berechnen zu können.
- **Anlagenbetriebszustände**  
Im Nichtleistungsbetrieb muss zwischen den verschiedenen Anlagenbetriebsphasen unterschieden werden. Dazu wurde in der Referenzanlage eine Standardrevision analysiert /GRS 02/. Für die PSA wurden die in Tab. 2-32 genannten Anlagenbetriebszustände unterschieden. In Tab. 2-33 ist die Dauer der Anlagenbetriebszustände der Jahre 1998 bis 2001 aufgezeichnet.

**Tab. 2-33:** Dauer der Anlagenbetriebszustände [h] während der Revisionen 1998 bis 2001

<b>ABZ</b>	<b>1998<sup>15</sup></b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001<sup>16</sup></b>	<b>max</b>
2-1	5,5	2	5	5	5,5
2-2	7	8	6,5	7	8
2-3	3	3	3,5	3	3,5
3-1	13	14	14	14	14
3-2	19	12	15	15,5	19
3-3	32,5	36	36	31,5	36
3-4	200	201	215	215,5	215,5
3-5	46	29	28,5	13,5	46
3-6	15	26	25,5	40	40
3-7	110	95	102	130,5	130,5
4-1	22	19,5	19	17	22
4-2	90	95,5	96	65	96
$\Sigma$	563,0	541,0	566,0	557,5	636,0

<sup>15</sup> Werte aus Basis-PSA /FAN 01/ für 1998 bis 2000

<sup>16</sup> Werte aus GRS-Studie /GRS 02/

- Das Verfahren von Berry
 

Mit dem Verfahren von Berry können die Brandeintrittshäufigkeiten in den Räumen eines Gebäudes relativ zu einer bekannten Brandeintrittshäufigkeit für das gesamte Gebäude bestimmt werden. Dabei werden die Räume bezüglich ihrer internen Zündmöglichkeiten anhand von fünf Parametern bewertet (vgl. Abschnitte 2.2.5 und 2.2.6).

  - Parameter Dauer der Anwesenheit von Personen im Raum
 

Es wird ein pragmatisches Vorgehen empfohlen. Für alle Räume (Ausnahme Sperrbereiche) sollte der Parameterwert “meistens“ gesetzt werden.
  - Parameter Flammpunkt
 

Für alle Räume, in denen Arbeiten durchgeführt werden, die zur Arbeits-erlaubnis zusätzlich einen Brandschutzschein benötigen, ist der niedrigste Flammpunkt anzusetzen. Dazu ist die Datenbank der Arbeitsscheine auszu-werten.
  - Parameter Umfang der mechanischen und elektrischen Einrichtungen im Raum
 

Im Nichtleistungsbetrieb sind ganze Systemstränge freigeschaltet. Das ist bei der Festlegung der Parameterwerte zu berücksichtigen.
  - Parameter Verteilung der Brandlasten im Raum
 

Parameterwerte verändern sich nicht (siehe dazu die Bemerkungen zu den Änderungen der räumlichen Brandbelastung im Nichtleistungsbetrieb).
  
- Wahrscheinlichkeiten für die Brandausbreitung
 

Die Liste der Wahrscheinlichkeiten der Brandausbreitung von Raum A zum Nach-barraum B ist neu zu berechnen, da sich insbesondere die Brandbarrieren zwi-schen den Räumen geändert haben.

## **3 Detailanalysen**

### **3.1 Anlagenspezifische und generische Daten für Detailanalysen**

In der vorliegenden Studie werden kernkraftwerksspezifische Daten zur Zuverlässigkeit der Funktion aktiver Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage für einen Betrachtungszeitraum von 9 Jahren (1993 - 2001) ermittelt. Diese Ermittlungen erfolgten anhand der Auswertung der Anlagendokumentation zu Ergebnissen aus wiederkehrenden Prüfungen (WKP) sowie - soweit zugänglich und auswertbar - auch aus der Betriebs- und Instandhaltungsdokumentation über mögliche Funktionsstörungen und Funktionsausfälle während des Betriebs.

Die ausgewertete Dokumentation umfasst unter anderem die WKP-Dokumentation einschließlich Prüfanweisungen und Prüfprotokolle, Arbeitsaufträge, Störungsmeldungen aus dem Anlagenbetrieb sowie die Wartungs- und Instandhaltungsdokumentation (siehe anlagenspezifische Literatur in Abschnitt 5.2). Dabei werden Daten für die folgenden Brandschutzeinrichtungen ermittelt und statistisch ausgewertet:

- Brandmeldezentralen und Brandmeldedetektoren,
- Brandschutzklappen in Lüftungseinrichtungen,
- Brandschutztüren,
- ortsfeste Löschanlagen, Löschwasserversorgung und Hydranten,

wobei für Teile dieser Einrichtungen oder bestimmte Funktionen, wie z.B. die elektrische Fernauslösung von Brandschutzklappen - sofern möglich und sinnvoll - ergänzend auch noch eigene Datenuntergruppierungen gebildet wurden. Auf diese Weise werden anlagenspezifisch Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen entsprechend dem Vorgehen in /ROE 00/ ermittelt.

#### **3.1.1 Anlagenspezifischen Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen**

Bei probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) werden für die Quantifizierung der Ereignis- und Fehlerbaumanalysen folgende - sehr unterschiedliche - Arten von Daten benötigt:

- Häufigkeit der auslösenden Ereignisse,
- Ausfallrate bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit von Komponenten aufgrund unabhängiger Ausfälle,
- Nichtverfügbarkeit von Systemen oder Teilsystemen infolge von Test, Instandhaltung etc.,
- Reparaturdauer (falls berücksichtigt),
- zeitlicher Abstand und Abfolge der wiederkehrenden Prüfungen (WKP) bzw. zeitlicher Abstand betrieblicher Anforderungen,
- Ausfallwahrscheinlichkeiten von Komponenten aufgrund gemeinsam verursachter Ausfälle (GVA),
- Wahrscheinlichkeit von Folgeausfällen sowie
- Ausfallwahrscheinlichkeiten für Personalhandlungen bzw. Wahrscheinlichkeiten für fehlerhafte Personalhandlungen.

Grundsätzlich sind für realitätsnahe Bewertungen soweit wie möglich anlagenspezifische Daten zu verwenden, d.h. Daten, die auf Basis der Betriebserfahrung der untersuchten Anlagen ermittelt wurden. Für einen Komponententyp mit einer ausreichenden Anzahl anlagenspezifischer Beobachtungen kann eine anlagen-spezifische Schätzung mit nicht-informativer a-priori-Verteilung erfolgen. Dies erklärt sich wie folgt: Der Ansatz von Bayes (siehe auch /HOR 90/ und /HOF 99/) und die daraus abgeleitete Formel erfordern immer die Angabe einer Vorinformation. Sofern bei der Auswertung von nur anlagenspezifischer Betriebserfahrung keine Vorinformation vorliegt, wird die Vorinformation als nicht-informative a-priori-Verteilung in die Berechnung eingebunden.

Um Resultate mit einer hinreichenden Aussagesicherheit zu erhalten, ist eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen bzw. eine genügend lange Beobachtungszeit erforderlich. Für die statistische Auswertung der Betriebserfahrung sind kurze Beobachtungszeiten, eine geringe Anzahl an auszuwertenden Komponenten, damit verbunden wenige Funktionsanforderungen und wenige beobachtete Ereignisse problematisch, da die Aussagekraft der Ergebnisse durch mathematische Unsicherheiten (Streubreiten) vermindert ist. Bei weniger als zwei Ausfällen im Beobachtungszeitraum, einer Beobachtungszeit von weniger als 1000 Stunden bzw. weniger als 100 Funktionsanforderungen werden die Streubreiten der Ergebnisse sehr groß, so dass die ermittelten Größen zunächst nur als Anhaltswerte verwendet werden können.

Oft muss für eine möglichst realistische Schätzung auf Beobachtungen aus anderen, mit der spezifischen Anlage vergleichbaren Anlagen zurückgegriffen werden, da der Beobachtungsumfang aus der zu bewertenden Anlage nicht ausreichend ist. Dabei muss angenommen werden, dass die Komponenten in den verschiedenen Anlagen hinsichtlich Bauart und Betriebsbedingungen lediglich ähnlich und nicht völlig identisch sind. Das bedeutet, in jeder der vergleichbaren Anlagen wird demzufolge der zu beurteilenden Komponente ihr eigenes individuelles Ausfallverhalten zugeordnet, so dass man mit einer Variabilität der Ausfallraten über die vergleichbaren Anlagen zu rechnen hat.

Der "Superpopulationsansatz" beschreibt einen mathematischen Ansatz, der über ein zweistufiges Bayes'sches Verfahren anhand von Beobachtungen aus den zur spezifischen Anlage vergleichbaren Anlagen eine "unbedingte generische Verteilung" erzeugt.

Die unbedingte generische Verteilung beschreibt die Variabilität des beobachteten Parameters (z.B. Ausfallrate) über die Anlagenpopulation und wird als Ausdruck für den a-priori-Kennntnisstand für die zu beurteilende spezifische Anlage verwendet. Diese unbedingte generische Verteilung wird als a-priori-Verteilung (Vorinformation) über das Bayes'sche Verfahren mit der anlagenspezifischen Beobachtung verbunden und man erhält eine a-posteriori-Verteilung, die den aktuellen Kennntnisstand über die Ausfallrate der spezifischen Anlage beschreibt.

Werden Aussagen über die Ausfallrate einer Komponente der spezifischen Anlage benötigt und liegen keine Beobachtungen aus der spezifischen Anlage vor, so wird die unbedingte generische Verteilung als Informationsquelle über den Kennntnisstand der anlagenspezifischen Ausfallrate verwendet.

Für die probabilistische Bewertung aktiver Brandschutzeinrichtungen werden grundsätzlich Nichtverfügbarkeiten der Einrichtungen pro Funktionsanforderung, d.h. im Brandfall, benötigt. Da in deutschen Kernkraftwerken praktisch keine Daten aus Brandereignissen vorliegen, werden die benötigten Nichtverfügbarkeiten aus Ergebnissen von wiederkehrenden Prüfungen an aktiven Brandschutzeinrichtungen abgeleitet. Dazu wurden in der Referenzanlage Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten der entsprechenden Brandschutzeinrichtungen bzw. Brandschutzkomponenten sowie der zeitliche Abstand (Prüfintervall) von wiederkehrenden Prüfungen ermittelt.

### 3.1.2 Datenerfassung und statistische Auswertung

Voraussetzung für die Durchführung der Arbeiten ist der Zugang zu der Betriebsdokumentation, welche die erforderlichen Informationen zum Betriebs- und Ausfallverhalten der betrachteten Brandschutzeinrichtungen enthält, sowie ein umfangreicher Informations- und Erfahrungsaustausch mit dem für diese Einrichtungen zuständigen Betriebspersonal.

Betrachtet werden für die Zuverlässigkeitsuntersuchungen von Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage alle dort installierten Brandschutzeinrichtungen mit aktiver Funktion. Diese werden als "aktive Brandschutzmaßnahmen" oder "-einrichtungen" (siehe /IAE 92/) bezeichnet. Als Datenbasis stehen dabei grundsätzlich die folgenden, in den Anlagendokumentationen enthaltenen Angaben zur Verfügung (siehe auch anlagenspezifische Literatur in Abschnitt 5.2):

- Prüfanweisungen und Prüfprotokolle für wiederkehrende Prüfungen (WKP),
- Arbeits- bzw. Instandhaltungsaufträge,
- Mängel- bzw. Mängeltagebücher,
- Reparaturberichte, sofern erforderlich, sowie
- gegebenenfalls auch Monats- und Jahresberichte der Anlage.

In diesen Dokumenten werden grundsätzlich alle bei WKP, betrieblichen Anforderungen, Inspektionen und Begehungen entdeckten Ausfälle und Funktionsstörungen an Komponenten und Systemen sowie Mängel und Beanstandungen festgehalten.

Im Gegensatz zu betrieblichen Systemen, die sich meist zumindest für eine begrenzte Zeitspanne in Betrieb befinden, werden Brandschutzeinrichtungen praktisch nur bei wiederkehrenden Prüfungen sowie ggf. infolge von Fehlalarmen aktiviert. Die Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen wurde daher in den BMU-Vorhaben SR 2092, SR 2309, SR 2369, SR 2418 und SR 2449 im Allgemeinen aufgrund der Ergebnisse aus wiederkehrenden Prüfungen einschließlich der Informationen aus den zugehörigen Instandhaltungs- und Arbeitsaufträgen und aus Mängellisten bzw. -tagebüchern ermittelt. Aus den so gewonnenen Rohdaten wurden mit dem statistischen Auswerteprogramm AURA /PES 95/ Erwartungswerte und Verteilungen für die Ausfallraten bzw. Nichtverfügbarkeiten pro Anforderung unter Verwendung des

Verfahrens von Bayes ermittelt. Die entsprechenden Berechnungsvorschriften für die Erwartungswerte sind /ROE 00/ zu entnehmen.

Grundsätzlich haben sich Prüfumfang und generelle Prüfdurchführung seit der vorangegangenen Ermittlung von Daten zur technischen Zuverlässigkeit von Brandschutzeinrichtungen /ROE 00/ nur unwesentlich verändert. Es gilt nach wie vor, dass sich die Prüfindervalle und der in den Prüfanweisungen dargestellte Umfang der wiederkehrenden Prüfungen wie auch deren Durchführung in verschiedenen Anlagen teilweise unterscheiden. Soweit dies Einfluss auf die Zuverlässigkeitskenngrößen haben könnte, wird dies bei der Ermittlung generischer Zuverlässigkeitsdaten für die verschiedenen Komponenten berücksichtigt. Tab. 3-1 gibt für die Referenzanlage die Anzahl der untersuchten Brandschutzeinrichtungen und deren jeweilige Prüfindervalle an.

In Tab. 3-3 und Tab. 3-4 sind die aus diesen Werten mit der Bayes'schen Methode bei Nutzung einer nichtinformativen a-priori-Verteilung ermittelten Ausfallraten und Ausfallwahrscheinlichkeiten enthalten. Die sich dabei ergebenden a-posteriori-Verteilungen wurden durch eine logarithmische Normalverteilung approximiert. Die statistische Unsicherheit der ermittelten Kenngrößen wird durch den Streufaktor  $k$  beschrieben. Um weitere, zum Teil schwer quantifizierbare Unsicherheiten nicht zu vernachlässigen, werden die Ergebnisverteilungen mit einer Korrekturverteilung multipliziert. Dabei wird sichergestellt, dass der Median gleich bleibt und sich nur die Unsicherheit (der Streufaktor) vergrößert. Zur Bestimmung der Korrekturverteilung wurde die Brandschutzeinrichtung mit dem kleinsten Streufaktor gewählt. Dies sind die Brandschutztüren. Die anlagenspezifischen Berechnungen ergeben sowohl bei der Ausfallrate als auch bei der Ausfallwahrscheinlichkeit von Brandschutztüren einen kleinen Streufaktor von 1,1 (ohne Verbreiterung). Es kommt hinzu, dass gerade die Anzahl der Ausfälle von Brandschutztüren sehr inhomogen über die Erfassungsjahre 1993 – 2001 verteilt ist (vgl. Tab. 3-2). Die Korrekturverteilung für alle Brandschutzeinrichtungen wurde so gewählt, dass der Streufaktor bei den Kenngrößen der Brandschutztüren von 1,1 auf 3,0 vergrößert wird. Die so erhaltene Korrekturverteilung wird anschließend auch auf alle anderen betrachteten Brandschutzeinrichtungen angewandt. Die Ergebnisse sind in Tab. 3-3 und Tab. 3-4 in Klammern angegeben.

### 3.1.3 Ermittlung und Bewertungsgrundlagen

Um eine sachgerechte Bewertung aller Angaben zu den untersuchten aktiven Brandschutzeinrichtungen und den dokumentierten Befunden vornehmen zu können, ist zu Beginn der Datenermittlung eine Begehung der jeweiligen Referenzanlage vorzunehmen, um die brandschutztechnischen Gegebenheiten kennen zu lernen. Im Rahmen der Vorhaben SR 2418 und SR 2449 erfolgte auch eine Begehung der Referenzanlage. Dabei konnten zahlreiche Fragen geklärt werden zu den jeweiligen räumlichen und anlagentechnischen Gegebenheiten, zur Funktionsweise der Komponenten und Systeme, der Durchführung von Prüfungen und Kontrollen, der Art der Instandsetzung und möglicher Reparaturen sowie zur Erkennung von Mängeln.

Weiterhin wurden vor der Auswertung der vorhandenen Datenbasis Systempläne und schematische Darstellungen zur Funktionsweise bestimmter Komponenten und Systeme, wie beispielsweise für ortsfeste Löschanlagen, eingesehen, um WKP-Befunde besser interpretieren und bewerten zu können.

Für die Auswertung der erfassten Daten ist der Einsatz flexibler Datenbanksysteme mit Erfassungs- und Auswerteprogrammen zweckmäßig. Von der GRS wurden bereits für frühere Untersuchungen (vgl. dazu /ROE 00/ und /ROE 97/) entsprechende Hilfsmittel entwickelt und für die jeweiligen Anwendungen modifiziert und weiterentwickelt.

Zur Auswertung werden die für die Brandschutzeinrichtungen gefundenen und dokumentierten Befunde /GRS 04b/ mit ergänzenden Angaben, wie Anlagenkennzeichnung (nach der AKZ- oder der KKS-Systematik), Raumbereich, Ausfalldatum, Ausfallart, Reparaturart, mögliche Folgefehler oder parallele Ausfälle an anderen Komponenten bzw. Systemen, in ein Rechnerprogramm zur Datenerfassung eingegeben. Weiterhin werden für alle zu untersuchenden Brandschutzeinrichtungen die Kenngrößen der WKP, wie z.B. die Zahl der Anforderungen bzw. Prüfungen und die Prüfintervalle, erfasst und in das Auswertungsprogramm eingegeben. Anschließend werden die so gewonnenen Rohdaten (siehe /GRS 04b/ dahingehend überprüft, ob es sich bei den Befunden bzw. Störungen um tatsächliche Funktionsausfälle der jeweils geforderten Brandschutzfunktion oder nur um beanstandete Mängel handelt, durch welche diese Funktion nicht gefährdet wird.

Nach einer abschließenden Diskussion der Ergebnisse dieser Auswertung mit dem für die Wartung und Instandhaltung der Brandschutzeinrichtungen zuständigen sachkun-

digen Betriebspersonal der Referenzanlage und einer daraus resultierenden Absicherung bzw. Korrektur der Daten lassen sich aus den Rohdaten mit Hilfe des Auswertungsprogramms dann anlagenspezifische Ausfallraten bzw. Nichtverfügbarkeiten für die Brandschutzeinrichtungen mit ihren entsprechenden statistischen Verteilungen ermitteln.

Als Bewertungsgrundlage für die vorliegende Studie wurden Betreiberunterlagen zu Wiederkehrenden Prüfungen (WKP) und deren Ergebnissen, die Instandhaltungsdokumentation der Betreiber, Störmeldungen des betreiberinternen Störungsmeldesystems sowie Systemschaltpläne für die zu untersuchenden Brandeinrichtungen und Brandschutzpläne der betrachteten Referenzanlagen ausgewertet. Dabei erfolgt die Erfassung der Rohdaten im Rahmen von brandschutztechnischen Begehungen der Referenzanlage und anschließenden Diskussionen mit dem für die Brandschutz- sowie probabilistischen Analysen zuständigen Fachpersonal aus den zu betrachtenden Anlagen unter Einbezug weiterer Fachleute, z.B. zur Elektro- und Systemtechnik. Die statistische Auswertung der Rohdaten erfolgt dann auf der Basis der bei der GRS entwickelten Methodik (siehe /ROE 00/).

Die brandschutztechnische Bewertung und Interpretation der erfassten Rohdaten wird von der GRS ingenieurmäßig anhand des geltenden Regelwerkes /KTA 00/ vorgenommen. Die detaillierten technischen Kriterien für die Bewertung der Befunde als "Ausfall" oder "kein Ausfall" sind in den nachfolgenden Abschnitten im Einzelnen erläutert.

### **3.1.4 Ermittlung anlagenspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen**

Für eine Brand-PSA sind möglichst anlagenspezifische Zuverlässigkeitskenngrößen für die aktiven Brandschutzeinrichtungen zu ermitteln, da diese das Betriebsverhalten solcher Komponenten in der zu untersuchenden Anlage am besten widerspiegeln. Nur in den Fällen, wo anlagenspezifische Daten entweder nicht vorliegen oder aber aufgrund zu geringer Gesamtheiten der jeweils zu betrachtenden Komponenten oder zu kurzer Betrachtungszeiträume statistisch nicht repräsentativ sind, sollte entsprechend dem Methodenband zum PSA-Leitfaden /FAK 97/ auf generische Daten (siehe dazu /FAK 97a/ zurückgegriffen werden.

Der Betrachtungszeitraum für die Referenzanlage von 1993 bis 2001 ist statistisch grundsätzlich als durchaus repräsentativ anzusehen. Weiterhin ist die Anzahl der zu

untersuchenden Brandschutzeinrichtungen zumeist ausreichend für die Ermittlung aussagekräftiger technischer Zuverlässigkeitskenngrößen. Lediglich bei den Druckknopfmeldern erscheint die geringe Zahl vorhandener Komponenten (nur 2) von vornherein als statistisch nicht relevant.

#### **3.1.4.1 Brandmeldeeinrichtungen**

Die Brandmeldeeinrichtungen umfassen alle Systeme und Komponenten zur Brandmeldung, d.h. die gesamten Brandmeldeeinrichtungen mit ihren Brandmeldezentralen und -unterzentralen, den verschiedenen Brandmeldern sowie deren Verkabelung und der erforderlichen Stromversorgung.

Die Brandmeldeanlage der Referenzanlage ist dezentral aufgebaut. Demzufolge sind einzelne Unterzentralen der Brandmeldeanlage in verschiedenen Gebäuden installiert. Auf diese Unterzentralen sind die verschiedenen Arten von automatischen Brandmeldedetektoren über Brandmeldelinien und so genannte Brandmeldekerns ebenso wie auch manuell auszulösende Druckknopfmelder elektrisch aufgeschaltet. Die Unterzentralen sind mit den Brandmeldezentralen verbunden, die das Ansprechen eines Melders an die Anzeige in der Warte bzw. in der Notsteuerstelle weiterleiten.

Bedingt durch diesen Aufbau gibt es folgende Fehlermöglichkeiten, die je nach den tatsächlichen lokalen Gegebenheiten zu einem Ausfall der Brandmeldung für einen Raum bzw. Raumbereich führen können:

- Ein Versagen des oder der maßgeblichen Brandmeldedetektoren führt zum Ausfall der direkten automatischen Brandmeldung (in der Regel müssen dafür mehrere Brandmelder versagen);
- Ein Versagen von Druckknopfmeldern führt zum Ausfall oder zu Verzögerungen bei der manuellen Brandmeldung;
- Das Versagen einer Brandmeldelinie bzw. -schleife oder eines Brandmeldekerns führt in der Regel zum Ausfall der direkten automatischen Brandmeldung oder der manuellen Brandmeldung über Druckknopfmelder und kann zum Ausfall der indirekten Brandmeldung über Brandmelder in benachbarten Räumen oder Raumbereichen führen;

- Ausfälle einer Brandmeldeunterzentrale betreffen die darauf aufgeschaltete Anzahl von Brandmeldelinien bzw. -schleifen und haben insofern den Ausfall sowohl der direkten als auch der indirekten Brandmeldung (z.B. durch Störsignale) über die Brandmeldeanlage zur Folge. In diesem Fall verbleibt nur noch die manuelle Brandmeldung über das Telefon (sofern jemand das Feuer bemerkt) oder die indirekte Branderkennung anhand von systemtechnischen Ausfällen.

Die Auswertung der anlagenspezifischen Betriebserfahrung und der meldepflichtigen Ereignisse sowie grundsätzliche Überlegungen ergeben, dass mit Bezug auf die Zuverlässigkeit der Brandmeldung zum einen Funktionsausfälle von Brandmeldern und Brandmeldelinien, zum anderen aber auch Funktionsfehler in einzelnen Unterzentralen bzw. so genannten "Brandmeldekernen" der Unterzentralen maßgeblich sind. Im Folgenden werden die Zuverlässigkeitskenngrößen für die Brandmeldezentralen und ihrer Bestandteile behandelt.

- **Brandmeldezentralen und ihre Bestandteile**

Die Brandmeldeanlage der Referenzanlage verfügt in den sicherheitstechnisch relevanten Gebäuden über zwei Brandmeldezentralen. Die Brandmeldeanlage OMF51 überwacht das USUS-Gebäude ZV, die Brandmeldeanlage OMF88 überwacht den überwiegenden Teil der Anlagenräume in den anderen Gebäuden. Die Brandmeldungen werden mit dem Rechnersystem OMF70 verarbeitet und auf der Warte angezeigt. Die Brandmeldedetektoren sind über die Brandmeldelinien, die Brandmeldekerne (Hauptgruppenträger) und deren Einschübe an die Brandmeldezentralen angeschlossen.

Im Brandmeldeschrank OMF51 in ZV02.09 sind 31 Meldelinien mit 8 Grenzwertmeldern und 93 Pulsmeldern aufgeschaltet. In den drei Meldeschränken von OMF88 in ZE03.23 sind 520 Meldelinien mit ca. 2300 Puls- bzw. Grenzwertmeldern aufgeschaltet.

Die Brandmeldeanlage verfügt über ein "intelligentes" Meldersystem, das Defekte an Meldern und der Signalübermittlung durch automatische, zyklische Testsignale erkennt. Neben diesem automatischen Selbsttest der gesamten Brandmeldeanlage werden die Brandmeldezentralen alle drei Monate, davon einmal jährlich im Beisein des Gutachters, wiederkehrend geprüft. Die Prüfung umfasst laut Rahmenprüfplan die Störungsüberwachung, die Stromversorgung, die Hauptverteilerschränke, den Diodenmatrixschrank, die Relaischränke, die Meldungen zur Warte, eine Drahtbruchprüfung,

eine Kurzschlussprüfung sowie die Messung der Melderspannung. Die Funktion aller 551 Brandmeldelinien wird alle drei Monate geprüft; die Brandmeldelinien im Sicherheitsbehälter einmal pro Jahr während des Brennelementwechsels.

Die Stromversorgung von OMF51 erfolgt durch zwei voneinander unabhängige Stromquellen, die von OMF88 im Bereitschaftsparallelbetrieb sogar durch drei voneinander unabhängige Stromquellen. Ausfälle in den Brandmeldehauptzentralen können (vgl. dazu /ROE 00/ und /ROE 97/) aufgrund der beschriebenen Selbstüberwachung der Anlagen und der hohen Zuverlässigkeit der Stromversorgung, welche durch eine mehrfach entkoppelte Einspeisung sowie eine zusätzliche unabhängige Batterieversorgung sichergestellt wird, im Allgemeinen vernachlässigt werden.

Statistische Aussagen zur Verfügbarkeit komplexer Systeme aufgrund von Nullfehlerstatistiken sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Zur Einschätzung der Zuverlässigkeit der Brandmeldung in einem Brandraum sind Fehlerbaumanalysen des Gesamtsystems der Brandmeldeanlage durchzuführen, d.h. die Ausfallmöglichkeiten der Anlage sind auf Ausfallkombinationen von Systemkomponenten zurückzuführen.

Bei den wiederkehrenden Prüfungen der Komponenten der Brandmeldeeinrichtungen ergeben sich im gesamten Betrachtungszeitraum der vorliegenden Untersuchung insgesamt 5 Befunde, die als mögliche Ausfälle zu bewerten sind.

In 3 Fällen erfolgte die Brandmeldung verschiedener Brandmeldelinien bzw. -gruppen nicht ordnungsgemäß, wodurch u. a. Brandschutzklappen und -türen nicht oder falsch angesteuert wurden. Zwei Störungen waren Ausfälle von Brandmeldekernen.

Aus den genannten Befunden ergibt sich für eine Brandmeldezentrale ein Erwartungswert der Ausfallrate von  $3,3 \text{ E-}06/\text{h}$  sowie für die Einschübe von  $1,9 \text{ E-}07/\text{h}$  bei einem hohen Streufaktor  $k$  von 8,4 aufgrund der Nullereignisstatistik. Dies entspricht Nichtverfügbarkeiten je Anforderung von  $7,2 \text{ E-}03$  für einen möglichen Ausfall der Brandmeldezentrale bei den insgesamt 36 Prüfungen je Zentrale bzw. von  $3,2 \text{ E-}04$  (Erwartungswert) für die Einschübe.

Für die Brandmeldelinien bzw. -gruppen beträgt der Erwartungswert der Ausfallrate  $8,2 \text{ E-}08/\text{h}$  bei einem Streufaktor  $k$  von 2,2. Mit der Gesamtzahl von 24 795 Prüfungen im Untersuchungszeitraum und drei Ausfällen der Linienfunktion ergibt sich der Erwartungswert für die Nichtverfügbarkeit je Anforderung zu  $1,4 \text{ E-}04$ .

- **Automatisch auslösende Brandmeldedetektoren**

In der Referenzanlage gibt es insgesamt rund 2290 automatisch auslösende Brandmeldedetektoren, die von der Brandmeldeanlage zyklisch auf ihre ordnungsgemäße Funktion abgefragt werden. Vorwiegend handelt es sich dabei um Ionisationsmelder (ca. 1800 Stück), optische Rauchmelder (ca. 430 Stück) und eine geringere Zahl von Wärmedifferential- und Flammenmeldern (insgesamt etwa 60 Stück). Einer so genannten scharfen Prüfung werden die Brandmelder zweimal jährlich mit Begasung unterzogen. Bei den insgesamt 20610 Prüfungen für die Jahre 1993 bis 2001 ergaben sich für alle Meldertypen insgesamt nur 9 Befunde. Feuchtigkeit in den Brandmeldern führte dazu, dass insgesamt 9 automatisch auslösende Brandmeldedetektoren nicht ansprachen. In diesem Fall ist ein möglicher Funktionsausfall der Detektoren zu unterstellen.

Sofern Beanstandungen, wie beispielsweise Melder defekt, Linie defekt, Melder löst nicht aus oder Störmeldung statt Alarm, gefunden wurden, wurden diese in Übereinstimmung zum Vorgehen in /ROE 00/ als Ausfälle bewertet. Als Mängel bzw. Störungen, welche eine zuverlässige Meldung eines Brandes an der jeweiligen Zentrale nicht gefährden, werden hingegen Beanstandungen angesehen, bei denen beispielsweise ein Brandmelder nicht korrekt befestigt war oder dieser sporadisch Blinkzeichen gab, ohne dass ein Alarm oder eine Störmeldung ausgelöst wurde. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass "selbstmeldende" Fehler bei der Bewertung der Befunde aufgrund der sehr kurzen Fehlermeldezeit nicht als Ausfälle, sondern nur als Störungen interpretiert wurden.

Als Ausfallrate für einen einzelnen Detektor wurde für die automatisch auslösenden Brandmeldedetektoren ein Wert von  $5,3 \text{ E-}08/\text{h}$  mit einem Streufaktor  $k$  von 1,6 ermittelt.

- **Druckknopfmelder**

Die Referenzanlage verfügt nur im Maschinenhaus über 2 Druckknopfmelder, die jährlich geprüft werden. Bei den insgesamt 18 Prüfungen ergaben sich keine Befunde. Damit ergibt sich als Erwartungswert für die Ausfallrate  $3,2 \text{ E-}06/\text{h}$  mit einem hohen Streufaktor  $k$  von 8,4 infolge der sehr geringen Datenbasis sowie für die Nichtverfügbarkeit  $1,4 \text{ E-}02$  pro Anforderung bei den insgesamt nur 36 Anforderungen.

### 3.1.4.2 Brandschutzklappen in Lüftungsanlagen

Brandschutzklappen (BSK) sollen bei einem Brand die Ausbreitung von Rauch und Hitze durch die Lüftungsanlagen verhindern. In deutschen Kernkraftwerken installierte Brandschutzklappen verfügen grundsätzlich über eine thermische Auslösung über Schmelzlot, die im Brandfall die Klappen selbsttätig schließt, wenn die Temperatur im Lüftungskanal 72 °C überschreitet. Zudem besteht für die Brandschutzklappen die Möglichkeit einer manuellen Betätigung der Klappe vor Ort.

Brandschutzklappen in sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden können zusätzlich mit einer elektromagnetisch oder pneumatisch angesteuerten Fernauslösung ausgerüstet sein. Ein Großteil der Klappen ist mit einer Möglichkeit zum fernbetätigten Öffnen versehen, sofern dies die örtlichen Gegebenheiten erfordern.

Die folgende Vorgehensweise wird für die Einstufung der Befunde als mögliche Ausfälle der Brandschutzfunktion oder nur als Mängel nach eingehender Expertendiskussion analog zu /ROE 00/ gewählt:

Bei Befunden wie "Klappenblatt schließt nicht vollständig", "Brandschutzklappe schwergängig, schließt nicht vollständig", "BSK schließt mechanisch nicht" oder auch "BSK schließt nicht bei Auslösung bzw. Handauslösung" ist von einem Ausfall der ordnungsgemäßen Brandschutzfunktion auszugehen. Bei Befunden wie "BSK schließt nicht über Fernauslösung" oder "elektrische Auslösung nicht funktionsfähig" ist zumindest die elektrische Auslösefunktion als ausgefallen anzusehen.

Andere Mängel, so beispielsweise "Drossel an Magnetventil eingestellt", "Brandschutzklappe rastete nicht vollständig ein", "Brandschutzklappe verriegelt nicht", "Dichtung defekt bzw. ersetzen", "Brandschutzklappe geschmiert", "Endschalter eingestellt" werden als Mängel und nicht als mögliche Funktionsausfälle eingestuft. Bei diesen Befunden war grundsätzlich die ordnungsgemäße Brandschutzfunktion nicht in Frage gestellt. Auch der Befund "Klappe verriegelt nicht" stellt nach unseren Erfahrungen lediglich einen Mangel dar, da im Allgemeinen nur der Verriegelungsmechanismus dabei nicht vollständig einrastet. Aufgrund der Konstruktion der Brandschutzklappen ist jedoch davon auszugehen, dass die Klappen im Brandfall schließen und auch geschlossen bleiben. Auch das vorbeugende Auswechseln der Schmelzloten oder fehlende Revisionsöffnungen sowie mangelhafte Abmauerungen gefährden unseres Erachtens die Brandschutzfunktion der Klappen nicht.

Die Entscheidung darüber, ob bei Befunden wie "Auslösemechanik schwergängig" oder Notizen wie "Klappe geschmiert" nur ein Mangel bei der Prüfung festgestellt wurde oder möglicherweise doch ein Ausfall der sicherheitstechnisch wichtigen Schließfunktion der Brandschutzklappe vorlag, ist anhand der vorhandenen Aufzeichnungen über die Prüfungen in der Dokumentation mitunter schwierig. Nach Einsicht in die Prüfprotokolle und – sofern erfolgt – in die aus den Prüfergebnissen folgenden Arbeitsaufträge sowie einer eingehenden Diskussion mit dem zuständigen Fachpersonal des Betreibers und Rücksprache mit an Prüfungen beteiligten Sachverständigen wurde die dargestellte Vorgehensweise beschlossen. Demnach ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass es sich bei den genannten Störungen nicht um mögliche Ausfälle der Brandschutzfunktion der Klappen handelt. Bevor jedoch aus den erhobenen Rohdaten statistische Zuverlässigkeitskenngrößen mit entsprechenden Verteilungen ermittelt werden, die im Rahmen von PSA anzuwenden sind, ist die Unsicherheit bei der Interpretation der Aufzeichnungen durch eine ingenieurmäßige Beurteilung mit abzudecken.

Die Referenzanlage verfügt über insgesamt 731 Brandschutzklappen, die alle im Anforderungsfall über Schmelzlot auslösen. Ein Teil der Brandschutzklappen, insgesamt 330 Stück, kann zusätzlich fernbetätigt pneumatisch über ein Magnetventil ausgelöst werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Handbetätigung vor Ort. Die Klappen werden wiederkehrend einmal jährlich bzw. im während des Leistungsbetriebs inertisierten Sicherheitsbehälter einmal pro Brennelementwechsel unter Beteiligung von Sachverständigen geprüft. Seit 1994 gibt es zusätzlich eine Prüfung der "Heißauslösung" (thermischen Auslösung) des Schmelzlot.

Im Betrachtungszeitraum von 1993 bis 2001 ergeben sich insgesamt 10 als Ausfälle zu wertende Befunde an den Brandschutzklappen bei den insgesamt 6579 Prüfungen. Weiterhin traten 2 Ausfälle nur der ferngesteuerten Auslösung der Brandschutzklappen auf. In diesen Fällen ist aber immer noch von einem Funktionieren der Schließfunktion der Brandschutzklappen im Anforderungsfall über Schmelzlot auszugehen.

Insgesamt wurde für die Brandschutzklappen in der Referenzanlage eine Ausfallrate (Erwartungswert) von  $1,9 \text{ E-}07/\text{h}$  mit einem Streufaktor von  $k = 1,6$  ermittelt. Die mittlere Ausfallrate für die Fernauslösung der Brandschutzklappen errechnet sich infolge der Befunde bei einem Streufaktor von  $k = 2,5$  zu  $9,8 \text{ E-}08/\text{h}$ . Details sind Tab. 3-3 und Tab. 3-4 zu entnehmen.

### 3.1.4.3 Brandschutztüren

In der Referenzanlage gibt es in den zu betrachtenden Gebäuden insgesamt 446 Brandschutztüren, davon 21 mit Schließfolgeregler, die mit einer elektromagnetischen Feststellvorrichtung ausgestattet sind. Die wiederkehrenden Prüfungen erfolgen vierteljährlich, einmal im Jahr unter Beteiligung eines Sachverständigen. Die Feststellvorrichtungen ermöglichen im Anforderungsfall ein Schließen der Brandschutztüren automatisch über Rauchmelder bzw. über Fernsteuerung vom Bedienfeld der Brandmeldeanlage.

Bei den für den Untersuchungszeitraum von 1993 bis 2001 durchgeführten 4014 Prüfungen ergaben sich insgesamt 156 Befunde, die als Ausfälle der Brandschutzfunktion zu bewerten sind. Ein Ausfall nur der Fernsteuerung einer Brandschutztür war zusätzlich zu verzeichnen. Daraus wurde eine Ausfallrate für den vollständigen Ausfall von Brandschutztüren von  $4,4 \text{ E-}06/\text{h}$  bei einer Streubreite von  $k = 1,1$  (vgl. Tab. 3-3) bestimmt. Dies entspricht Nichtverfügbarkeiten pro Anforderung von  $3,9 \text{ E-}02$  bei insgesamt 4014 Prüfungen (vgl. Tab. 3-4).

Als Ausfälle wurden dabei die folgenden Befunde bewertet:

- schließt nicht bzw. nicht selbsttätig,
- Türschließer defekt bzw. fehlt,
- Schließfolgeregler defekt.

Nur als Mängel, nicht aber als Ausfall der Brandschutzfunktion der Türen werden analog zum Vorgehen in /ROE 00/ Befunde wie "Brandschutzleiste defekt", "Türstopper fehlt" oder "Schließfolgeregler einstellen" bewertet.

Bei den ferngesteuerten Türen wurde das Versagen der elektrischen Auslösung ebenfalls als Funktionsausfall bewertet. Hierzu ist anzumerken, dass diese Türen im Bereitschaftszustand durch einen Elektromagneten, der nach dem Arbeitsstromprinzip funktioniert, offen gehalten werden. Im Anforderungsfall werden der Strom und damit der Elektromagnet in der Regel über eine Rauchschutzzentrale abgeschaltet. Ein Stromausfall führt deshalb hier zum selbsttätigen Schließen und damit zu einem Ausfall zur sicheren Seite. Befunde wie "Haltemagnet defekt" oder "sporadisches Schließen der Brandschutztür" sind demzufolge nur als Mängel anzusehen.

Bei ferngesteuerten Brandschutztüren ist unter Umständen auch das Nichtschließen einer Brandschutztür, die beispielsweise wegen eines Fehlers in der Signalübermittlung über die zentrale Fernauslösung nicht ausgelöst wird, nicht als Ausfall der Brandschutztür zu bewerten, da die Feststellvorrichtung der Tür dennoch durch die dezentrale Ansteuerung über in der Nähe der Tür angebrachte Rauchmelder ausgelöst und die Brandschutztür geschlossen werden kann.

#### **3.1.4.4 Feuerlöscheinrichtungen**

Die Referenzanlagen verfügt über ein Feuerlöschsystem, welches aus den Feuerlöschwasserpumpen, der Ringleitung im Gelände mit den Überflurhydranten, den Steigleitungen in den Gebäuden mit den Wandhydranten sowie den Anschlüssen für die Ventilstationen der Sprühwasserlöschanlagen besteht. Das Feuerlöschsystem wird mit notstromgesicherten Pumpen, die bei Druckabfall im System Wasser nachspeisen, unter Druck gehalten. Dadurch ist es möglich, jederzeit an sämtlichen Entnahmestellen Löschwasser unter Druck zu entnehmen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden bei den Feuerlöscheinrichtungen die vorhandenen ortsfesten Sprühwasserlöschanlagen, einschließlich deren Löschwasserversorgung und der zugehörigen stationären Feuerlöschpumpen bewertet. Weiterhin wurden Wandhydranten innerhalb der Gebäude hinsichtlich ihrer technischen Zuverlässigkeit bewertet. Die Überflurhydranten außerhalb der Gebäude wurden zwar bei den Hydranten statistisch mit erfasst, sind aber nicht mit in die Bewertung eingeflossen, da ihre Funktion im Allgemeinen erst in der Spätphase für die manuelle Brandbekämpfung zum Tragen kommt und diese durch die mit allem erforderlichen Werkzeug ausgerüstete Feuerwehr, gegebenenfalls mit Verzögerung, praktisch immer gewährleistet werden kann.

- **Ortsfeste Sprühwasserlöschanlagen**

Die Referenzanlage verfügt nur über ortsfeste Wasserlöschanlagen. Gaslöschanlagen gibt es nicht.

Bei den ortsfesten Wasserlöschanlagen handelt es sich grundsätzlich um Sprühwasserlöschanlagen, d.h. Systeme mit offenen Sprühdüsen (im Unterschied dazu sind bei Sprinkleranlagen die Düsen im Ruhezustand geschlossen). Diese Sprühwasserlöschanlagen werden in der Referenzanlage manuell vor Ort oder über fernbetätigte Ventil-

stationen (so genannte Fernschaltventilstationen) ausgelöst. Bei diesen Löschanlagen mit Fernschaltventilstationen steht das Wasser im Bereitschaftszustand bis zur hydraulisch betätigten Absperrklappe der Ventilstation an. Im Brandfall wird durch elektrische Fernauslösung ein Vorsteuerventil, das so genannte 4/2-Wegeventil<sup>17</sup>, angesteuert und dadurch mittels eines hydraulischen Drehantriebs die Absperrklappe geöffnet. Gegebenenfalls kann die Absperrklappe mit einem Vierkantschlüssel auch von Hand vor Ort geöffnet werden.

Die Referenzanlage verfügt über insgesamt 29 Sprühwasserlöschanlagen mit Fernschaltventilstationen, die von der Warte aus betätigt werden können, bei den übrigen Einrichtungen der Sprühwasserlöschanlagen erfolgt die Auslösung manuell vor Ort. Zum Betrachtungs- und Prüfumfang der Sprühwasserlöschanlagen zählen die Absperrarmaturen am Eintritt des Löschwassers, die Rohrleitungsnetze, Absperrarmaturen am Eintritt des Düsenrohrnetzes sowie Prüf- und Spülleitungen mit zugehörigen Absperrarmaturen. Die Anlagen werden alle drei Monate oder zweimal jährlich wiederkehrend einer so genannten Nassprüfung unterzogen, davon im Allgemeinen einmal pro Jahr bzw. einmal pro Brennelementwechsel unter Beteiligung eines Sachverständigen. Weitere Prüfungen erfolgen jährlich, jeden zweiten Brennelementwechsel und alle fünf Jahre.

Die Untersuchung ergibt für die 29 Fernschaltventilstationen der ortsfesten Sprühwasserlöschanlagen bei insgesamt 1943 Prüfungen der elektrischen Auslösung sowie der gesonderten manuellen Auslösung 11 Befunde, von denen 7 als vollständige Ausfälle zu werten sind. In 4 Fällen war nur die Fernsteuerung der Ventilstationen von der Warte aus betroffen, im Brandfall hätten die Ventile zeitverzögert manuell vor Ort geöffnet werden können. Des Weiteren wurden 4 Funktionsausfälle bei den jährlichen Prüfungen der Löschwasserversorgung festgestellt.

Alle weiteren Befunde sind nur als Mängel zu bewerten. Dabei handelte es sich im Allgemeinen um Rostansätze in den Löschwasserleitungen sowie Leckagen an Absperrventilen. Derartige Befunde haben jedoch, sofern die Leitungen nicht flächig durchgerostet sind und die Leckagemengen eine bestimmte Größe nicht überschreiten, keine sicherheitstechnische Bedeutung für die Funktion des Systems.

---

<sup>17</sup> Beim 4/2-Wegeventil können von Hand 4 Wege durchgeschaltet, jedoch nur 2 Wege automatisch werden angesteuert.

In Übereinstimmung mit vorangegangenen Untersuchungen in /ROE 00/ wurden Befunde, wie zum Beispiel:

- Ventil öffnete erst, nachdem mechanisch nachgeholfen wurde,
- Defekt an Auslösung,
- hydraulischer Drehantrieb defekt, Station mit Hilfsmittel geöffnet.

als Ausfälle gewertet.

Die Zuverlässigkeit der ortsfesten Löschanlagen lässt sich für die Referenzanlage im Detail wie folgt beurteilen:

Potentielle Ausfälle in der Feuerlöschwasserversorgung (Ringleitung etc.) gab es während des Betrachtungszeitraumes von 9 Anlagenbetriebsjahren insgesamt 4. Bei den Transformatoren für die Löschanlagen waren keine als Ausfälle zu wertenden Befunde festzustellen.

Für die Fernschaltventilstationen der Sprühwasserlöschanlagen ergibt sich für den vollständigen Ausfall eine Ausfallrate von  $3,3 \text{ E-}06/\text{h}$  bei einem Streufaktor von  $k = 1,7$ . Als Nichtverfügbarkeit pro Anforderung wurde ein Wert von  $3,9 \text{ E-}03$  (Erwartungswert) errechnet.

#### • **Feuerlöschpumpen**

Die Referenzanlage verfügt über insgesamt 4 stationäre Feuerlöschpumpen, deren Funktion halbjährlich wiederkehrend geprüft wird, dabei einmal jährlich im Beisein eines Sachverständigen.

Im Betrachtungszeitraum (1993 bis 2001) wurden bei insgesamt 72 Prüfungen zwei Befunde festgestellt. Daraus wurde eine Ausfallrate von  $8,1 \text{ E-}06/\text{h}$  errechnet, bei einem Streufaktor  $k$  von 2,5. Für den Erwartungswert für die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung ergibt sich ein Wert von  $3,5 \text{ E-}02$  (vgl. auch Tab. 3-3 und Tab. 3-4).

#### • **Hydranten**

Hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Hydranten werden sowohl Wandhydranten innerhalb der betrachteten Gebäude als auch Überflurhydranten in den vorliegenden Untersu-

chungen erfasst und ausgewertet. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass sich die sicherheitstechnische Bedeutung beider Hydrantentypen unterscheidet. Während Wandhydranten in der frühen Brandphase (unter Umständen nach einem vergeblichen Einsatz von Handfeuerlöschgeräten) Anwendung finden und damit für die Funktion von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen im betroffenen Raumbereich von Bedeutung sein können, wird die Funktion der Überflurhydranten im Allgemeinen erst bei der manuellen Brandbekämpfung durch die Feuerwehr in der Spätphase eines Brandes angefordert. Die Feuerwehr ist zum einen in der Regel mit allem erforderlichen Werkzeug ausgerüstet, um bei Schwergängigkeit die Funktion der Überflurhydranten, gegebenenfalls mit Verzögerung, praktisch immer wiederherstellen zu können. Außerdem kann sie bei Nichtverfügbarkeit eines Überflurhydranten außerhalb von Gebäuden innerhalb kurzer Zeit einen nahe gelegenen weiteren Überflurhydranten benutzen. Dies gilt grundsätzlich auch bei Nichtverfügbarkeit eines Wandhydranten, da u. a. auf einen anderen Wandhydranten in einem benachbarten Stockwerk zugegriffen werden kann. Dies würde jedoch zu einer gewissen Verzögerung der Brandbekämpfung führen.

Die Referenzanlage verfügt über insgesamt 136 Wandhydranten innerhalb von Gebäuden und rund 20 Überflurhydranten außerhalb der Gebäude auf dem Anlagengelände. Alle Hydranten werden jährlich wiederkehrend unter Beteiligung eines Sachverständigen geprüft.

Für die Wandhydranten wurde zwar eine nicht unerhebliche Zahl von Befunden während des Betrachtungszeitraumes von 1993 bis 2001 festgestellt. Dabei handelt es sich bis auf eine Ausnahme ausschließlich um Schwergängigkeiten an den Absperrventilen der Wandhydranten, die analog zu /ROE 00/ inzwischen nicht mehr als Ausfälle gezählt werden. Nur ein Befund ist als Ausfall zu werten, so dass sich für die Ausfallrate  $\lambda$  bezogen auf die Betriebszeit ein Wert von  $1,4 \text{ E-}07/\text{h}$  errechnet. Für die Streubreite der Werte ergibt sich ein Faktor von  $k = 3,3$ . Für die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung ergibt sich ein Erwartungswert von  $1,3 \text{ E-}03$ .

Bei den Überflurhydranten wurden bei 180 Prüfungen zwei Befunde festgestellt. Für die Ausfallrate ergibt sich damit ein Wert von  $1,6 \text{ E-}06/\text{h}$  bei einem Streufaktor  $k$  von 2,5. Für die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung errechnet sich ein Erwartungswert von  $1,4 \text{ E-}02$ .

### 3.1.5 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse

**Tab. 3-1:** Anzahl der aktiven Brandschutzeinrichtungen und deren Prüfpraxis in der Referenzanlage

Brandschutzeinrichtungen	Anzahl	Prüfintervall <sup>18</sup>	Prüfungsanzahl	Ausfallart	Ausfallanzahl
<b>Brandmeldeanlagen</b>					
Brandmeldezentralen	2	3m (1a)	72		0
Einschübe	35	3m, 1a (1a)	1575		0
	6	3m, 1a (1a)	270		2
	551	3m, 1a bzw. 1B (1a bzw. 1B)	25200		3
	55	1a bzw. 1B	495		0
Automatische Brandmelder	~2290	6m (1a)	41220		9
Ionisationsmelder	~1800		32400		5
optische Rauchmelder	~430		7740		0
sonstige Melder	~60		1080		0
Druckknopfmelder	2		36		0
<b>Brandschutzklappen (BSK)</b>	731	1a bzw. 1B (1a bzw. 1B)	6579		10
pneumatisch angesteuerte BSK	330	1a bzw. 1B (1a bzw. 1B)	2970	Totalausfall	10
	401			nur Ausfall Fernauslösung	2
BSK ohne Fernauslösung			3609		0
<b>Brandschutztüren (BST)</b>	446	1a (1a)	4014		156
BST mit elektrischer Feststellvorrichtung	21	3m, 1a (1a)	945	nur Ausfall der Fernauslösung	1
<b>Sprühwasserlöschanlagen</b>					
Trafos	3	1w, 6m, 1a, 2B	499		0
Löschwasserversorgung		1a (1a)			4
Fernschaltventilstationen	29	3m, 6m, 1a, 2B, 5a (1a, 2B, 5a)	1943	Totalausfall	7
				nur Ausfall Fernauslösung	4
				nur Ausfall Handauslösung	1
Feuerlöschpumpen	4	6m (1a)	72	Totalausfall	2
				nur Ausfall Fernauslösung	0
Wandhydranten	136	1a (1a)	1224		1
Überflurhydranten	20	1a (1a)	180		2

<sup>1</sup> Angaben in Klammern bedeuten Prüfungen unter Beteiligung von Sachverständigen

**Tab. 3-2:** Ausfälle an Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage

Brandschutzeinrichtungen	Ausfälle im Referenzzeitraum										total	
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001			
<b>Brandmeldeanlagen</b>												
Brandmeldezentralen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kerne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Melderguppen, Meldelinien (gesamt)	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
Automatische Brandmelder	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9
<b>Brandschutzklappen (BSK)</b>												
pneumatisch angesteuerte BSK												
Ausfallart: Totalausfall	0	1	1	4	1	0	2	1	0	0	0	10
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<b>Brandschutztüren</b>												
Ausfallart: Totalausfall	2	6	65	46	0	2	20	1	14	0	0	156
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Sprühwasserlöschanlagen</b>												
Fernschaltventilstationen												
Ausfallart: Totalausfall	0	1	1	0	1	0	0	2	2	0	0	7
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Ausfallart: Ausfall Handauslösung	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Feuerlöschnetz / Löschdüsen	0	0	0	0	0/1	1/0	0	0	0	0	0	1/1
Feuerlöschpumpen	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Wandhydranten	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Überflurhydranten	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2

**Tab. 3-3:** Berechnung der Ausfallraten von Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage

Brandschutzeinrichtungen	Beobachtungsinformation			Quantile der Verteilung der Ausfallrate			LogNormal-Approximation (Werte nach Verbreiterung <sup>19</sup> )	
	Anzahl	Ausfälle	Beobachtungszeit [h]	P 05	P 50	P 95	Streu­faktor $k$	Erwartungswert
<b>Brandmeldeanlagen</b>								
Brandmeldezentralen	2	0	157 776	1,3 E-08	1,4 E-06	1,2 E-05	8,4 (11,0)	3,3 E-06 (4,2 E-06)
Einschübe	35	0	2 761 080	7,1 E-10	8,2 E-08	6,9 E-07	8,4 (11,0)	1,9 E-07 (2,4 E-07)
Kerne	6	2	473 328	1,2 E-06	4,6 E-06	1,2 E-05	2,6 (4,2)	5,5 E-06 (6,7 E-06)
Melderguppen, Meldelinien (gesamt)	551	3	43 467 288	2,5 E-08	7,3 E-08	1,6 E-07	2,2 (3,9)	8,2 E-08 (1,0 E-07)
Melderguppen, Meldelinien (im SB)	55	0	4 338 840	4,5 E-10	5,2 E-08	4,4 E-07	8,4 (11,0)	1,2 E-07 (1,5 E-07)
Automatische Brandmelder:	2290	9	180 653 520	2,8 E-08	5,1 E-08	8,3 E-08	1,6 (3,3)	5,3 E-08 (6,6 E-08)
Ionisationsmelder	1800	9	141 998 400	3,6 E-08	6,5 E-08	1,1 E-08	1,6 (3,3)	6,8 E-08 (8,4 E-08)
optische Melder	430	0	33 921 840	5,8 E-11	6,7 E-09	5,7 E-08	8,4 (11,0)	1,6 E-08 (1,9 E-08)
sonstige Melder	60	0	4 733 280	4,2 E-10	4,8 E-08	4,1 E-07	8,4 (11,0)	1,1 E-07 (1,4 E-07)
Druckknopfmelder	2	0	157 776	1,2 E-08	1,4 E-06	1,2 E-05	8,4 (11,0)	3,2 E-06 (4,2 E-06)
<b>Brandschutzklappen (BSK)</b>	731	10	57 667 128	1,0E-07	1,8 E-07	2,8 E-07	1,6 (3,3)	1,9 E-07 (2,3 E-07)
pneumatisch angesteuerte BSK								
Ausfallart: Totalausfall	330	10	26 033 040	2,2 E-07	3,9 E-07	6,3 E-07	1,6 (3,3)	4,1 E-07 (5,1 E-07)
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		2		2,2 E-08	8,4 E-08	2,1 E-07	2,5 (4,2)	9,8 E-08 (1,2 E-07)
BSK ohne Fernauslösung	401	0	31 634 088	6,2 E-11	7,2 E-09	6,1 E-08	8,4 (11,0)	1,7 E-08 (2,1 E-08)
<b>Brandschutztüren (BST)</b>	446	156	35 184 048	3,9 E-06	4,4 E-06	5,0 E-06	1,1 (3,0)	4,4 E-06 (5,6 E-06)
BST mit elektr. Feststellvorrichtung	21	1	1 656 648	1,1 E-07	7,1 E-07	2,4 E-06	3,3 (5,0)	9,3 E-07 (1,2 E-06)
<b>Sprühwasserlöschanlagen</b>								
Trafos	3	0	236 664	8,3 E-09	9,6 E-07	8,1 E-06	8,4 (11,0)	2,2 E-06 (2,8 E-06)
Löschwasserversorgung								

<sup>19</sup> Erläuterungen zur Anwendung einer Korrekturverteilung, siehe Abschnitt 3.1.2

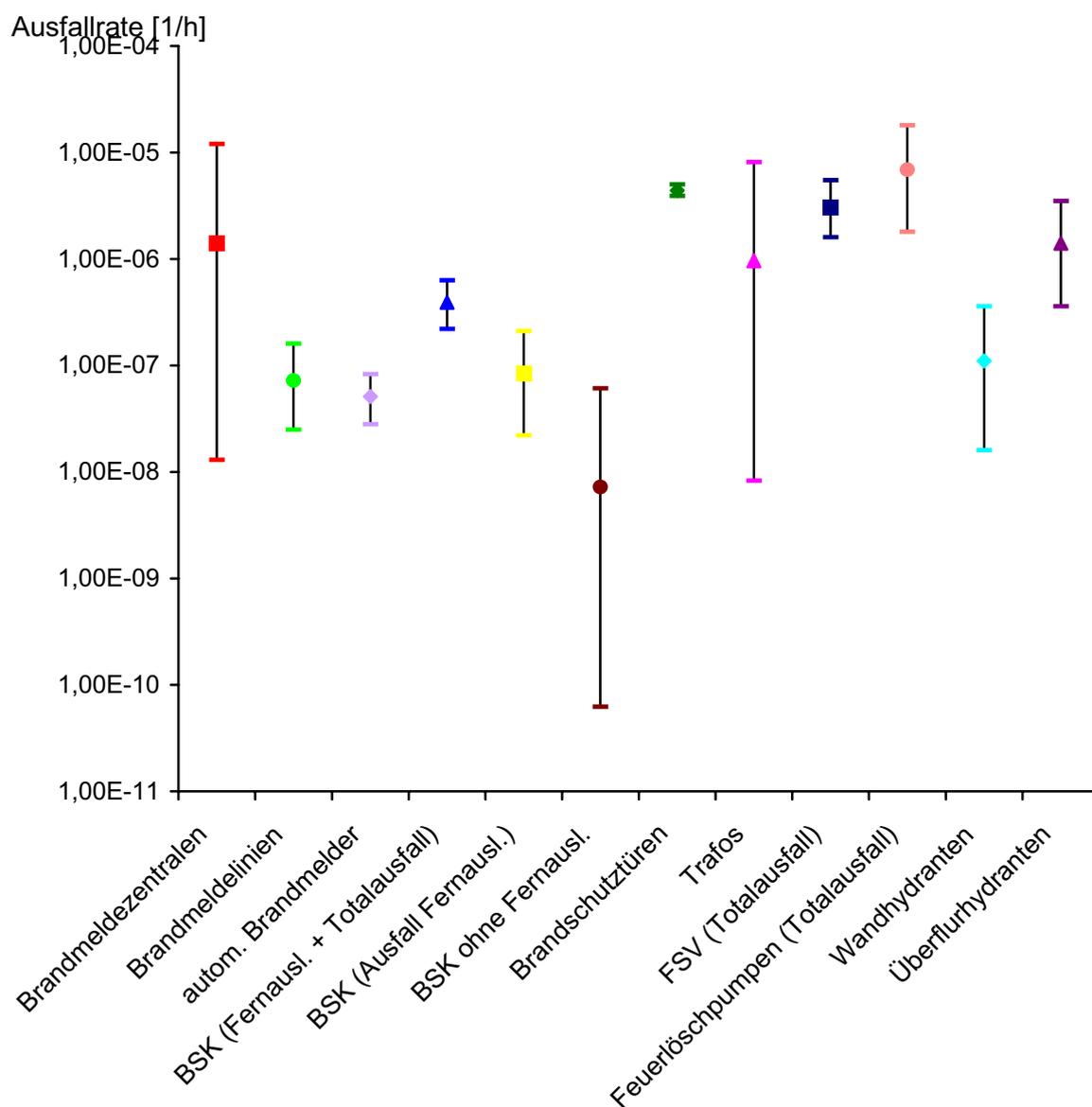
Brandschutzeinrichtungen	Beobachtungsinformation			Quantile der Verteilung der Ausfallrate			LogNormal-Approximation (Werte nach Verbreiterung <sup>19</sup> )		
	Anzahl	Ausfälle	Beobachtungszeit [h]	P 05	P 50	P 95	Streu­faktor k	Erwartungswert	
Fernschaltventilstationen									
Ausfallart: Totalausfall	29	7	2 287 752	1,6 E-06	3,1 E-06	5,5 E-06	1,7 (3,4)	3,3 E-06 (4,1 E-06)	
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		4		7,3 E-07	1,8 E-06	3,7 E-06	3,7 E-06	2,0 (3,7)	2,0 E-06 (2,5 E-06)
Ausfallart: Ausfall Handauslösung		1		7,7 E-08	5,2 E-07	1,7 E-06	1,7 E-06	3,3 (5,0)	6,8 E-07 (8,4 E-07)
Feuerlöschpumpen									
Ausfallart: Totalausfall	4	2	315 552	1,8 E-06	6,9 E-06	1,8 E-05	2,5 (4,2)	8,1 E-06 (1,0 E-05)	
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		0		6,2 E-09	7,2 E-07	6,1 E-06	6,1 E-06	8,4 (11,0)	1,7 E-06 (2,1 E-06)
Wandhydranten	136	1	10 728 768	1,6 E-08	1,1 E-07	3,6 E-07	3,3 (5,0)	1,4 E-07 (1,8 E-07)	
Überflurhydranten	20	2	1 577 760	3,6 E-07	1,4 E-06	3,5 E-06	2,5 (4,2)	1,6 E-06 (2,0 E-06)	

**Tab. 3-4:** Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten von Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage

Brandschutzeinrichtungen	Beobachtungsinformation			Quantile der Verteilung der Nichtverfügbarkeiten			LogNormal-Approximation (Werte nach Verbreiterung <sup>20</sup> )	
	Anzahl	Ausfälle	Anforderungen	P 05	P 50	P 95	Streu­faktor $k$	Erwartungswert
<b>Brandmeldeanlagen</b>								
Brandmeldezentralen	2	0	72	2,7 E-05	3,1 E-03	2,6 E-02	8,4 (10,9)	7,2 E-03 (9,0 E-03)
Einschübe	35	0	1 575	1,2 E-06	1,4 E-04	1,2 E-03	8,4 (11,0)	3,2 E-04 (4,2 E-04)
Kerne	6	2	270	2,1 E-03	8,0 E-03	2,0 E-02	2,5 (4,2)	9,3 E-03 (1,2 E-02)
Melderguppen, Meldelinien (gesamt)	551	3	25 200	4,4 E-05	1,3 E-04	2,8 E-04	2,2 (3,9)	1,4 E-04 (1,8 E-04)
Melderguppen, Meldelinien (im SB)	55	0	495	4,0 E-06	4,6 E-04	3,9 E-03	8,4 (11,0)	1,1 E-03 (1,3 E-03)
Automatische Brandmelder:	2290	9	41220	1,2 E-04	2,2 E-04	3,7 E-04	1,6 (3,3)	2,3 E-04 (2,9 E-04)
Ionisationsmelder	1800	9	16 200	3,1 E-04	5,7 E-04	9,3 E-04	1,6 (3,3)	5,9 E-04 (7,4 E-04)
optische Melder	430	0	3870	5,1 E-07	5,9 E-05	5,0 E-04	8,4 (11,0)	1,4 E-04 (1,7 E-04)
sonstige Melder	60	0	540	3,6 E-06	4,2 E-04	3,6 E-03	8,4 (11,0)	9,8 E-04 (1,2 E-03)
Druckknopfmelder	2	0	36	5,4 E-02	6,3 E-03	5,2 E-02	8,3 (10,8)	1,4 E-02 (1,8 E-02)
<b>Brandschutzklappen (BSK)</b>	731	10	6579	8,8 E-04	1,5 E-03	2,5 E-03	1,6 (3,3)	1,6 E-03 (2,0 E-03)
pneumatisch angesteuerte BSK								
Ausfallart: Totalausfall	330	10	2 970	2,0 E-03	3,4 E-03	5,5 E-03	1,6 (3,3)	3,5 E-03 (4,5 E-03)
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		2		1,9 E-04	7,3 E-04	1,9 E-03	2,5 (4,2)	8,5 E-04 (1,1 E-03)
BSK ohne Fernauslösung	401	0	3 609	5,4 E-07	6,3 E-05	5,3 E-04	8,4 (11,0)	1,5 E-04 (1,8 E-04)
<b>Brandschutztüren (BST)</b>	446	156	4 014	3,4 E-02	3,9 E-02	4,4 E-02	1,1 (3,0)	3,9 E-02 (4,9 E-02)
BST mit elektr. Feststellvorrichtung	21	1	945	1,9 E-04	1,3 E-03	4,1 E-03	3,3 (5,0)	1,6 E-03 (2,0 E-03)
<b>Sprühwasserlöschanlagen</b>								
Trafos	3	0	499	3,9 E-06	4,6 E-04	3,8 E-03	8,4 (11,0)	1,1 E-03 (1,3 E-03)
Löschwasserversorgung								
Fernschaltventilstationen	29		1943					

<sup>20</sup> Erläuterungen zur Anwendung einer Korrekturverteilung, siehe Abschnitt 3.1.2

Brandschutzeinrichtungen	Beobachtungsinformation			Quantile der Verteilung der Nichtverfügbarkeiten			LogNormal-Approximation (Werte nach Verbreiterung <sup>20</sup> )	
	Anzahl	Ausfälle	Anforderungen	P 05	P 50	P 95	Streu­faktor k	Erwartungswert
Ausfallart: Totalausfall		7		1,9 E-03	3,7 E-03	6,4 E-03	1,7 (3,4)	3,9 E-03 (4,9 E-03)
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		4		8,6 E-04	2,1 E-03	4,3 E-03	2,0 (3,7)	2,2 E-03 (2,9 E-03)
Ausfallart: Ausfall Handauslösung		1		9,1 E-05	6,1E-04	2,0 E-03	3,3 (5,0)	7,9 E-04 (9,9 E-04)
Feuerlöschpumpen								
Ausfallart: Totalausfall	4	2	72	8,0 E-03	3,0 E-02	7,5 E-02	2,5 (4,1)	3,5 E-02 (4,4 E-02)
Ausfallart: Ausfall Fernauslösung		0		2,7 E-05	3,1 E-03	2,6 E-02	8,3 (10,9)	7,1 E-03 (9,0 E-03)
Wandhydranten	136	1	1224	1,4 E-04	9,7 E-04	3,2 E-03	3,3 (5,0)	1,3 E-03 (1,6 E-03)
Überflurhydranten	20	2	180	3,2 E-03	1,2 E-02	3,0 E-02	2,5 (4,2)	1,4 E-02 (1,8 E-02)



**Abb. 3-1:** Vergleich der Mediane und Streubreiten ausgewählter Ausfallraten für aktive Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage (Ergebnisse aus Tab. 3-3, keine Verbreiterung)

### 3.1.6 Schlussfolgerungen aus den ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen

Grundsätzlich haben die Untersuchungen des Betriebsverhaltens der aktiven Brandschutzeinrichtungen in der Referenzanlage nur wenig Abweichungen von vergleichbaren Komponenten in anderen deutschen Anlagen (vgl. /ROE 00/) gezeigt. So sind

beispielsweise die Ausfallraten für automatisch auslösende Brandmeldedetektoren nahezu identisch zu den in anderen Anlagen ermittelten.

Größere Unterschiede gibt es zum einen bei den Druckknopfmeldern, wo die ermittelte Ausfallrate sich um mehr als eine Größenordnung von den in anderen Anlagen ermittelten Werten unterscheidet. Ursächlich ist hier die statistisch unbedeutende Anzahl von nur zwei zu betrachtenden Komponenten, was selbst bei einer vergleichsweise langen Beobachtungszeit nur zu einem Beobachtungsumfang von 157 776 Betriebsstunden führt. Bei einer Nullfehlerstatistik ergibt sich somit ein Wert, der mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet und nur als nicht ohne weiteres statistisch repräsentativ sondern nur als erstes Indiz für das Verhalten dieser Komponenten anzusehen ist. Für die Druckknopfmelder ist zu empfehlen, auf die statistisch deutlich aussagekräftigeren generischen Daten in /FAK 97a/ zurückzugreifen.

Eine weitere Gruppe von Brandschutzeinrichtungen zeigt ebenfalls deutliche Abweichungen bei den Ausfallraten gegenüber den für andere Anlagen ermittelten Werten. Dabei handelt es sich um die Fernschaltventilstationen, wo für den vollständigen Ausfall der Öffnungsfunktion der Ventile eine deutlich höhere Ausfallrate als in den in /ROE 00/ untersuchten Kernkraftwerken ermittelt wurde. Da die Beobachtungsinformation aber statistisch als durchaus repräsentativ für das Komponentenverhalten in der Referenzanlage zu betrachten ist, sollten in diesem Falle die anlagenspezifischen Werte Anwendung finden.

Während bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen in der Vergangenheit die Unterschiede in der Betriebserfahrung über längere Zeiträume nicht durch eine Korrektur der a-posteriori-Verteilung berücksichtigt wurde, wurde eine solche Korrektur auch bei den aktuell für die Referenzanlage zu ermittelnden Zuverlässigkeitskenngrößen eingeführt. Die Ergebnisse dazu sind Tab. 3-3 und Tab. 3-4 zu entnehmen.

Untersuchungen zum Ausfall aktiver Brandschutzeinrichtungen aus gemeinsamer Ursache (GVA) werden bisher - auch international - nicht systematisch durchgeführt. Statistische Auswertungen von GVA aktiver Brandschutzeinrichtungen liegen nicht vor. Derartige Auswertungen sind mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Die aktuellen Auswertungen der Betriebserfahrung in der Referenzanlage haben aber aufgezeigt, dass auch während des Betrachtungszeitraums für einen Teil der aktiven Brandschutzeinrichtungen GVA beobachtet wurden, die sich derzeit aber aufgrund des be-

grenzten Betrachtungsumfangs statistisch nicht sinnvoll auswerten lassen. Für eine generische statistische Auswertung wäre nach den Erfahrungen der GRS bei der Auswertung des Ausfallverhaltens von Komponenten aus gemeinsamer Ursache (siehe /HOL 01/) bei einer entsprechend hohen Zahl von gleichartigen Komponenten eine Auswertung der gesamten nationalen Betriebserfahrung über eine Zeitspanne von mindestens 10 Jahren erforderlich. Diese Untersuchungen sollten in einem Nachfolgevorhaben zu SR 2449 erfolgen.

### **3.2 Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 während des Leistungsbetriebes**

In Abschnitt 2.3.1 wurden die Durchführung und die Ergebnisse des Auswahlverfahrens für das Reaktorgebäude beschrieben. Für die Durchführung von Detailanalysen wurde der Raum ZA03.11 ausgewählt, für den das Auswahlverfahren den höchsten Wert der Häufigkeit für eine nicht beherrschte Transiente lieferte (siehe dazu Tab. 2-17).

Grundlage für die Durchführung einer probabilistischen Brandanalyse ist eine umfassende Zusammenstellung von Informationen. In Abschnitt 3.4.1 sind beispielhaft die brandrelevanten Informationen zum Raum ZA03.11 zusammengestellt. In Abschnitt 3.4 werden die Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 während des Nichtleistungsbetriebs untersucht. Dazu wurden die brandrelevanten Informationen ausgewertet, Brandsimulationsrechnungen durchgeführt (Abschnitt 3.4.2), der brandspezifische Ereignisablauf diskutiert (Abschnitt 3.4.4) und die Brandauswirkungen abgeschätzt (Abschnitt 3.4.4 und 3.4.5). Diese Untersuchungen lassen sich auch für die Brandanalyse in ZA03.11 während des Leistungsbetriebes heranziehen.

#### **3.2.1 Brandspezifischer Ereignisablauf in ZA03.11**

##### **3.2.1.1 Brandsimulation ZA03.11**

Detaillierte Brandsimulationen für den Raum ZA03.11 wurden nur für den Nichtleistungsbetrieb durchgeführt (Abschnitt 3.4.2). Grundsätzlich gibt es nur vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen dem Brandszenario während des Leistungs- und dem während des Nichtleistungsbetriebs. Dabei handelt es sich um die folgenden:

- Während des Leistungsbetriebs finden in diesem Raumbereich Arbeiten unter Verwendung von Lösungsmitteln (oder ähnlichem) nicht statt. Da der im Fall des Nichtleistungsbetriebs betrachtete Energieeintrag des Lösungsmittels nur sehr kurzzeitig auftritt, dürfte dessen Einfluss auf die betrachteten Target-Temperaturen nur gering sein.
- Durch das große Raumvolumen steht im Allgemeinen genügend Sauerstoff für den Brand zur Verfügung. Unterschiede in den Lüftungsbedingungen zwischen Leistungsbetrieb und Nichtleistungsbetrieb haben daher keinen nennenswerten Einfluss auf die Target-Temperaturen.
- Die Redundanzen sind räumlich getrennt. Daher ist der Abstand zwischen Zündposition und Target, wie er für den Nichtleistungsbetrieb betrachtet wurde, auch für den Leistungsbetrieb gegeben. Die Unterschiede dürften daher nicht besonders groß sein.

Demzufolge sind die Ergebnisse aus den Simulationen für den Nichtleistungsbetrieb auch auf den Leistungsbetrieb übertragbar. Auf separate Simulationen wurde daher verzichtet.

### 3.2.1.2 Brandeintrittshäufigkeit ZA03.11

Seit Bestehen der Meldekriterien für deutsche Kernkraftwerke im Jahr 1971 wurden bis heute 28 Brände bei im (kommerziellen) Betrieb befindlichen Kernkraftwerken in Deutschland als meldepflichtige Ereignisse eingestuft, darunter drei Ereignisse in Kernkraftwerken vom Typ SWR 69 (siehe Tab. 3-5). Bis einschließlich 2003 waren die KKW vom Typ SWR 69 insgesamt 96 Jahre in Betrieb.

**Tab. 3-5:** Brandereignisse in KKW vom Typ SWR 69 in Deutschland

Kernkraftwerk	KKB	KKI-1	KKK	KKP-1
	Brunsbüttel	Isar	Krümmel	Philippsburg
Inbetriebnahme	1977	1979	1984	1980
Betriebsjahre bis einschl. 2003	27	25	20	24
Brandereignisse LB	0	0	1 (1991)	1 (1983)
Brandereignisse NLB	1 (1978)	0	0	0

In Tab. 3-6 wurden aus diesen Angaben KKW-Brand Eintrittshäufigkeiten unter der Annahme von nichtinformativem a-priori-Wissen für verschiedene Grundgesamtheiten berechnet. Dazu wurde das Programm AURA /PES 95/ genutzt. Die Brandhäufigkeiten f genügen einer Betaverteilung,  $f \sim \text{Beta}(a,b)$  mit  $a = m + 0,5$  und  $b = n - m + 0,5$ . Dabei ist m die Anzahl der gemeldeten Brände und n die Anzahl der Betriebsjahre.

Für den Leistungsbetrieb wird für die Detailanalysen von einer jährlichen Brandeintrittshäufigkeit von  $6,00 \text{ E-}02/\text{a}$  für die Referenzanlage ausgegangen (siehe Tab. 3-6). Entsprechend der gesamten deutschen Betriebserfahrung /GRS 03/ waren 12 % der Brände im Reaktorgebäude, 31 % im Schaltanlagegebäude und 57 % in anderen Gebäuden. Im vorliegenden Fall wird für das Reaktorgebäude das Verfahren von Berry mit dem konkretisierten Erwartungswert der Gebäude-Brandeintrittshäufigkeit von  $7,20 \text{ E-}03/\text{a}$  wiederholt. Man erhält eine mittlere Brandeintrittshäufigkeit für den Raum ZA03.11 von  $4,57 \text{ E-}04/\text{a}$  mit  $q_{0,05} = 2,9 \text{ E-}05$ ,  $q_{0,50} = 3,8 \text{ E-}04$ ,  $q_{0,95} = 1,1 \text{ E-}03$ .

**Tab. 3-6:** Jährliche Brandeintrittshäufigkeiten für Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb bei Nutzung unterschiedlicher Grundgesamtheiten

Grundgesamtheit	m Anzahl Ereignisse	n Anzahl Betriebsjahre	f Verteilung der Brandhäufigkeit / a			
			$q_{0,05}$	$q_{0,50}$	$q_{0,95}$	Erwartungswert
<b>Leistungsbetrieb</b>						
SWR 69	2	96	6,00 E-03	2,26 E-02	5,64 E-02	2,58 E-02
KKP-1	1	24	7,38 E-03	<b>4,86 E-02</b>	1,52 E-01	<b>6,00 E-02</b>
<b>Nichtleistungsbetrieb</b>						
SWR 69	1	96	1,84 E-03	1,23 E-02	4,00 E-02	1,55 E-02
KKP-1	0	24	7,79 E-04	8,92 E-02	7,68 E-01	<b>2,00 E-02</b>

Die Methodik des Vorgehens zur Bestimmung von anlagenspezifischen raumbezogenen Brandeintrittshäufigkeiten ist in /ROE 02/ beschrieben. Nichtsdestotrotz werden auch in diesem Beispiel die generellen Schwierigkeiten bei der Bestimmung von raumbezogenen Brandeintrittshäufigkeiten deutlich. Neben der oben angewandten anlagenspezifisch modifizierten Top-Down-Methode wäre natürlich auch die Anwendung des Bottom-Up-Verfahrens möglich (siehe dazu das Beispiel der Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit für diesen Raum im Nichtleistungsbetrieb, Abschnitt 3.4.3). Dazu müsste das Inventar des Raumes katalogisiert werden und jede Komponente, jede nicht komponentenbezogene Brandlast sowie die Personalhandlungen bezüglich der

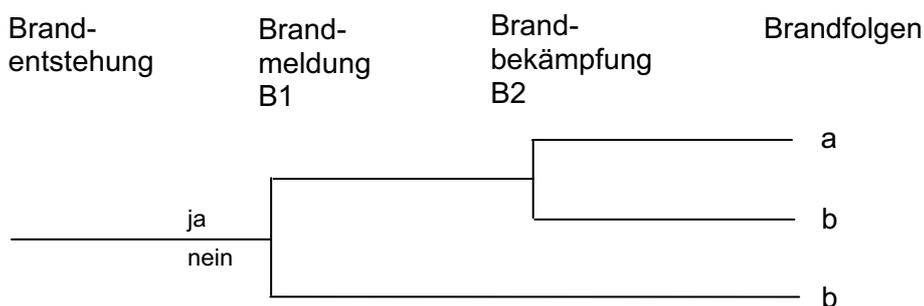
Brandentstehungsgefahr bewertet werden. Aufgrund der mageren Datenbasis ist nicht zu erwarten, dass der dabei abgeleitete Wert identisch mit dem des Top-Down-Verfahrens ist. Gegenwärtig kann nur empfohlen werden, die Datenbasis stetig zu erweitern, d.h. zum einen die Teilnahme am internationalen Datentransfer zu sichern und zum anderen die deutschen Meldekriterien für Brandereignisse zu hinterfragen bzw. auch Brände unterhalb der Meldeschwelle konsequent auszuwerten /TUE 02/.

Für das Auswahlkriterium 3 wurde in einem ersten Schritt pessimistisch eine Brandeintrittshäufigkeit im Reaktorgebäude von 0,08/a zugrunde gelegt. Zur Reduzierung der durchzuführenden Detailanalysen wurde dann das Auswahlkriterium 3 mit dem neu erzeugten anlagenspezifischen Wert durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.3.1).

### 3.2.1.3 Anmerkungen zur Aufstellung und Quantifizierung eines brandspezifischen Ereignisablaufs in ZA03.11

Zur Ableitung anlagenbezogenen brandspezifischen Ereignisablaufs wird von einem generischen Ereignisablauf ausgegangen (siehe Abb. 3-2).

Durch das große Raumvolumen steht genügend Sauerstoff für den Brand zur Verfügung. Unterschiede in den Lüftungsbedingungen haben daher keinen nennenswerten Einfluss. Der Raumabschluss wird deshalb im generischen Ereignisablauf von vornherein nicht berücksichtigt. Die weitere Spezifizierung und Quantifizierung des generischen Ereignisablaufs wird mit Hilfe des Programms RiskSpectrum<sup>®</sup> durchgeführt.



**Abb. 3-2:** Generischer brandspezifischer Ereignisablauf

Als Brandentstehungsort wird ein Kabelbrand im Koordinatenbereich H23 bis H25 angenommen (siehe Abschnitt 3.4.2). Zur Klassifikation der Brandfolgen wird der Raum ZA03.11 in vier Quadranten (Teilräume) unterteilt. Das Ergebnis der Brandsimulations-

rechnungen zeigt, dass man mit einer Wahrscheinlichkeit nahe 1 davon ausgehen kann, dass sich der Brand in einer halben Stunde nicht in einen Nachbarquadranten ausbreiten wird.

Die Auswahl der Endzustände der Ereignissequenzen des brandspezifischen Ereignisablaufs erfolgt aus den brandschutztechnischen Gegebenheiten des betrachteten Raumes (und seiner Nachbarräume) und den Ergebnissen des Auswahlverfahrens nach Anwendung des 3. Auswahlkriteriums (Ergebnisse zur Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen). Im Raum ZA03.11 werden als Brandfolgen die Fälle a und b unterschieden; a bedeutet den Ausfall der Komponente(n) am Brandentstehungsort und b den Ausfall aller Komponenten des benachbarten Quadranten (siehe nächsten Abschnitt 3.2.2).

Nachfolgend wird beispielhaft aufgezeigt, welche Modellierungsschritte erforderlich sind, um die Eintrittshäufigkeiten der Brandfolgen a und b zu quantifizieren. Dazu sind die örtliche Brandeintrittshäufigkeit zu bestimmen, die Ausfallmöglichkeiten der Brandmeldung zu modellieren (hier mit der Fehlerbaummethode) und mögliches Versagen bei der Brandbekämpfung zu beschreiben (hier als Erweiterung des generischen brandspezifischen Ereignisablaufs, siehe Abb. 3-3).

- Brandeintrittshäufigkeit

Die anlagenspezifische Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit ist in Abschnitt 3.2.1.2 beschrieben. Für den Raum ZA03.11 ergibt sich für den Leistungsbetrieb ein Wert von  $4,57 \text{ E-}04/a$ .

- Brandmeldung B1

Es wird definiert, dass ein Ausfall der Brandmeldung eingetreten ist, wenn dem Wartpersonal nicht bewusst ist, dass ein Brandereignis in ZA03.11 vorliegt.

Die Brandmeldung fällt aus (B1), wenn keine Brandmeldung durch Personen erfolgt (P1) oder bei einer Meldung durch Personen nicht angemessen reagiert wird (W1), die automatische Brandmeldung versagt (A1) und indirekte Anzeichen für einen Brand auf der Warte nicht wahrgenommen werden (W3).

Obwohl der Ringraum ZA03.11 während des Leistungsbetriebs pro Schicht mindestens einmal begangen wird, wird hier pessimistisch angenommen, dass keine Brandmeldung durch Personen stattfindet.

Die automatische Brandmeldeanlage in Raum ZA03.11 ist nicht verfügbar (A1), wenn

(1) die entsprechenden Meldelinien freigeschaltet sind

(hier: Meldelinien 01 - 18 und 01 - 19)

oder

(2) alle Melder in der Nähe des Brandentstehungsortes ausgefallen sind

oder

(3) die Meldelinien (ML1, ML2) ausgefallen sind.

Eine Freischaltung von Meldelinien ist nur nach Ansprechen von Brandmeldern bei Heißarbeiten vorgesehen (siehe Abschnitt 3.4.1). Eine Rückschaltung erfolgt täglich immer um 20.00 Uhr. Allerdings werden Heißarbeiten nur im Nichtleistungsbetrieb durchgeführt, deshalb werden eventuelle Freischaltungen hier nicht berücksichtigt.

In der Nähe des festgelegten Brandentstehungsortes findet man die Meldelinien 01–18 und 01–19 (siehe Tab. 3-12) mit insgesamt 9 Einzelmeldern (Ionisationsmeldern). Der anlagenspezifisch ermittelte Erwartungswert für die Ausfallrate eines Ionisationsmelders beträgt  $3,9 \text{ E-}08/\text{h}$  (vgl. Tab. 3-3). Aus dem gleichen Datenmaterial ergibt sich für die mittlere Nichtverfügbarkeit eines Melders  $3,5 \text{ E-}04$  pro Anforderung. Im Fehlerbaum wird der unabhängige gleichzeitige Ausfall von 9 Meldern vernachlässigt. Daten zum Ausfall aufgrund Fehler aus gemeinsamer Ursache (GVA) liegen nicht vor. Sehr pessimistisch wird deshalb im Fehlerbaum davon ausgegangen, dass nur ein Brandmelder mit der gegebenen Ausfallrate vorliegt.

Die Einbeziehung von Daten zum GVA aktiver Brandschutzeinrichtungen wäre insbesondere für die Brandmeldung wünschenswert, derartige Daten sind aber derzeit noch nicht Stand von Wissenschaft und Technik.

Der anlagenspezifisch ermittelte Erwartungswert für die Ausfallrate einer Meldelinie beträgt  $1,7 \text{ E-}07/\text{h}$  (vgl. Tab. 3-3). Daraus ergibt sich für die mittlere Nichtverfügbarkeit eines Melders  $3,0 \text{ E-}04$  pro Anforderung. Daten zum Ausfall aufgrund Fehler aus ge-

meinsamer Ursache liegen nicht vor. Analog wird auch hier pessimistisch davon ausgegangen, dass nur eine Brandmeldelinie mit der gegebenen Ausfallrate vorliegt.

Durch die anlagenspezifische Datenerfassung und die entsprechende Auswertung konnte nachgewiesen werden, dass die Brandmeldeeinrichtungen sehr sicher sind. Im entsprechenden Fehlerbaum wird deshalb auf die Modellierung der detaillierten Zusammenhänge zwischen Versagen von Meldelinien und Ausfall einzelner oder mehrerer Brandmelder verzichtet. Es wird für die Unverfügbarkeit der gesamten automatischen Brandmeldung  $6,5 \text{ E-}04$  pro Anforderung angenommen. Das entspricht der Wahrscheinlichkeit für den Ausfall einer Meldelinie oder eines einzelnen Melders.

Die dritte Ausfallmöglichkeit für die Brandmeldung befasst sich mit der Reaktion auf der Warte bei eventuell auftretenden indirekten Anzeichen für einen Brand (W3). Es wird pessimistisch angenommen, dass keine Anzeichen auftreten.

In Tab. 3-7 sind die quantitativen Annahmen zur Brandmeldung zusammengestellt.

**Tab. 3-7:** Daten für die Brandmeldung

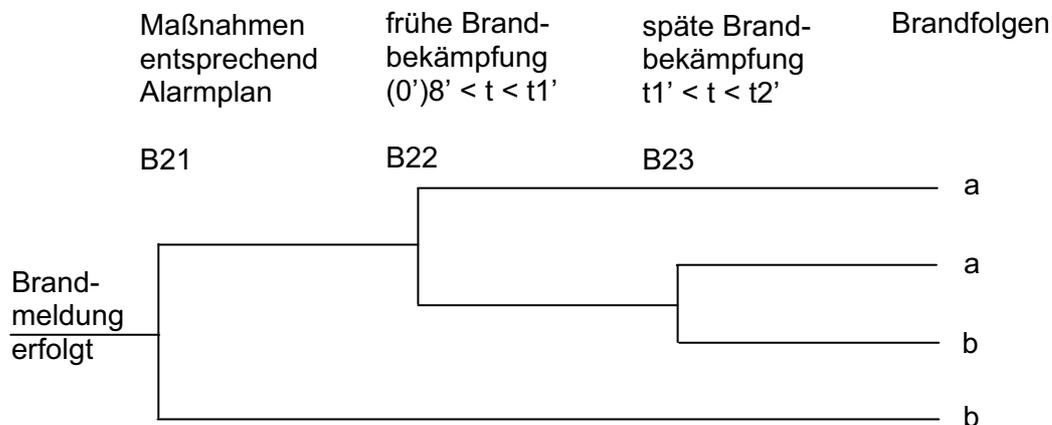
<b>Ausfallart</b> (Bezeichnung im Fehlerbaum)	<b>Nicht-verfügbarkeit</b>	<b>Bemerkungen</b> (Angaben zur Unsicherheit)
keine Brandmeldung durch Personen (P1)	1,00	pessimistische Annahme
keine angemessene Reaktion auf der Warte bei Brandmeldung durch Personen (W1)	---	nicht relevant, wenn $P1 = 1$
Ausfall eines einzelnen Brandmelders (M1)	$3,5 \text{ E-}04$	Wert für Ionisationsmelder (Tab. 3-4, dort auch Angaben zur Unsicherheit)
Ausfall einer Meldelinie (ML1, ML2)	$3,0 \text{ E-}04$	Wert für eine Meldelinie (Tab. 3-4, dort auch Angaben zur Unsicherheit)
Keine angemessenen Reaktion auf der Warte, wenn indirekte Anzeichen auftreten	$1,0 \text{ E-}02$	Expertenschätzung (Wert spielt keine Rolle, da pessimistisch angenommen wird, dass keine indirekten Anzeichen auf der Warte auftreten)

- Brandbekämpfung

Es wird definiert, dass ein Ausfall der Brandbekämpfung eintritt, wenn trotz Vorliegen einer Brandmeldung keine adäquaten Maßnahmen zur Brandbekämpfung entsprechend Alarmplan und Brandschutzordnung getroffen werden.

Es wird gemäß /ENB 03, C8.14, Kap. 3.6.1/ Feuersalarm ausgelöst und Maßnahmen zur Brandbekämpfung initiiert, wenn mehrere Melder (fast) gleichzeitig ansprechen. Spricht nur ein Melder an, ist durch den Schichtleiter zu veranlassen, dass der Brand vor Ort verifiziert wird. Meldet sich der entsprechende Mitarbeiter nicht in angemessener Zeit (5 bis 8 Minuten) zurück, ist Feuersalarm auszulösen, d.h. bei Ansprechen nur eines Melders muss bei Brandbekämpfungsmaßnahmen mit einer Verzögerung von bis zu 8 Minuten gerechnet werden.

Abhängigkeiten zwischen der Art der Brandmeldung und dem Vorgehen bei der Brandlöschung werden vernachlässigt, z.B. könnte bei einer Brandentdeckung durch das Personal angenommen werden, dass sofort mit Handlöschern gelöscht wird. Das wiederum ist davon abhängig, wie weit der Brand sich schon entwickelt hat.



**Abb. 3-3:** Ereignisablauf Brandbekämpfung

Bei der frühen Brandlöschung wurde die Möglichkeit der unmittelbaren Brandlöschung bei Branderkennung durch das eventuell vor Ort anwesende Personal nicht berücksichtigt (wie bei der Brandmeldung). Die Werte für B22 und B23 sind nicht aus einer anlagenspezifischen Detailanalyse der Handlungsabläufe entstanden. Pessimistisch wurde nicht das Ergebnis der Brandsimulationsrechnung berücksichtigt, dass

genügend Zeit für eine rechtzeitige Brandbekämpfung zur Verfügung steht ( $t_1'$  ist sehr groß).

Aufgrund der durchgeführten Brandsimulationsrechnungen kann davon ausgegangen werden, dass auch bei erfolgreicher später Brandbekämpfung der Brand sich nicht wesentlich vom Brandentstehungsort ausgebreitet hat (Brandfolge a in der zweiten Sequenz, siehe Abb. 3-3).

**Tab. 3-8:** Daten Brandbekämpfung

<b>Ausfallart</b> (Bezeichnung im Fehlerbaum)	<b>Nicht-verfügbarkeit</b>	<b>Angaben zur Unsicherheit<sup>21</sup></b>	<b>Datenquelle</b>
keine angemessene Reaktion auf der Warte nach Branderkennung (B21)	3,0 E-03	LNV, EF = 3	Unterlassungsfehler
Frühe Brandbekämpfung fällt aus (B22)	1,75 E-02	U(0,015;0,02)	Wert aus /DEH 02/, Tab. 25: Versagen Werkfeuerwehr
späte Brandbekämpfung fällt aus (B23)	5,75 E-02	U(0,015;0,1)	Wert aus /DEH 02/, Tab. 25: Versagen öffentliche Feuerwehr

- Ergebnisse

Bei einer Brandeintrittshäufigkeit von  $4,57 \text{ E-}04/\text{a}$  ergibt sich für den Endzustand b des brandspezifischen Ereignisablaufs die Eintrittshäufigkeit von  $2,20 \text{ E-}06/\text{a}$ , d. h. eine Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Brand in ZA03.11 vom Entstehungsort mit einer Wahrscheinlichkeit von  $4,8 \text{ E-}03$  in einen der beiden benachbarten Quadranten ausbreiten kann.

### 3.2.2 Systemtechnische Auswirkungen bei einem Brand in ZA03.11 im Leistungsbetrieb

Die systemtechnischen Auswirkungen bei einem Brand im Raum ZA03.11 werden analog zum Auswahlverfahren bei Anwendung des Auswahlkriteriums 3 durch Monte-

---

<sup>21</sup> Die Angaben zur Unsicherheit sind Expertenschätzungen; LNV steht für logarithmische Normalverteilung, U für Gleichverteilung.

Carlo-Simulation der Brandausbreitung und der Komponentenausfälle (brandbedingt bzw. unabhängig) mit dem Programm CRAVEX ermittelt. Es wird also im Grunde die beim Auswahlverfahren eingesetzte Methode angewandt, wobei die Ergebnisse der detaillierten brandspezifischen Ereignisablaufanalyse verwendet werden.

Als Ergebnis dieser Analyse wurde ermittelt, dass sich ein Brand in ZA03.11 vom Entstehungsort mit einer Wahrscheinlichkeit von ca.  $4,8 \cdot 10^{-3}$  vom Brandentstehungsort in den nächstgelegenen Nachbarquadranten ausbreiten kann. Bei Brandentstehung im mittleren Bereich des Quadranten wird die Brandausbreitung in beide Nachbarquadranten als wesentlich unwahrscheinlicher eingeschätzt. Um diese Informationen für die Anwendung des Simulationsprogramms CRAVEX zur Ermittlung der brandbedingten Schadenshäufigkeiten nutzen zu können, wird der Raum ZA03.11 in fiktive Räume unterteilt und die Ausbreitung-Wahrscheinlichkeit als Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffer interpretiert. Der Raum ZA03.11 wird in vier Quadranten mit je zwei Sektoren entsprechend der Raum-Achsen unterteilt:

- 0° bis 90°:        Quadrant A mit den Sektoren ZA03.11A/B und ZA03.11A/D
- 90° bis 180°:    Quadrant B mit den Sektoren ZA03.11B/C und ZA03.11B/A
- 180° bis 270°:   Quadrant C mit den Sektoren ZA03.11C/D und ZA03.11C/B
- 270° bis 360°:   Quadrant D mit den Sektoren ZA03.11D/A und ZA03.11D/C.

Die Bezeichnungen A/B, A/D usw. geben an, welcher Quadrant zu dem jeweiligen Sektor unmittelbar benachbart ist. So grenzt beispielsweise der Sektor ZA03.11A/B im Quadranten A an den Quadranten B (entsprechend den Raumachsen  $45^\circ$  bis  $90^\circ$ ). Die Raum-Komponentenzuordnung basiert auf den Aufstellungsplänen. Die Komponenten wurden vereinfachend nur den vier Quadranten und nicht den einzelnen Sektionen zugeordnet. Diese pessimistische Vorgehensweise bedeutet, dass bei einem Brand in einem Sektor alle Komponenten des betreffenden Quadranten ausfallen. Komponenten, die aufgrund der vorliegenden Unterlagen nicht einem der Quadranten zugeordnet werden konnten, "verbleiben" im ursprünglichen Raum ZA03.11. Für die Simulation besteht also neben den Teilräumen ZA03.11A/B bis ZA03.11D/A weiterhin der Raum ZA03.11. Es werden acht Simulationen für die unterschiedlichen Brandentstehungssektoren ZA03.11A/B bis ZA03.11D/A durchgeführt. Dabei werden folgende Brandübergangswahrscheinlichkeiten ( $W > 0$ ) verwendet:

- $W = 3,9 \text{ E-}03$  für den Übergang von einem Sektor in den angrenzenden Sektor des benachbarten Quadranten (z.B. von Sektor ZA03.11A/B in den Sektor ZA03.11B/A)
- $W = 1$  für den Übergang von einem Sektor in den ("übergeordneten") Raum ZA03.11 (davon sind jedoch nur diejenigen Komponenten betroffen, die nicht einem der Quadranten zugeordnet werden konnten).

Die Ergebnisse der Simulationen mit CRAVEX sind in Tab. 3-9 zusammengestellt. Die dort angegebenen Brandeintrittshäufigkeiten für die einzelnen Sektoren ergeben sich aus der Brandeintrittshäufigkeit für den gesamten Raum ZA03.11 geteilt durch acht. Die Produkt-Werte liegen zwischen  $1,4 \text{ E-}06/\text{a}$  für den Teilraum ZA03.11C/B und  $3,0 \text{ E-}07/\text{a}$  für ZA03.11A/B. Die mittlere Nichtverfügbarkeit bei Brandentstehung in Teilraum ZA03.11C wird von den Ausfällen der Hochdruckeinspeisungen TM und TJ bestimmt. Da in allen vier Teilräumen Magnetsteuerventile der Frischdampf-Isolationsventile ausfallen, wird angenommen, dass jeweils der Ausfall der Hauptwärmesenke mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausgelöst wird. Damit entsprechen die in Tab. 3-9 ausgewiesenen Produktwerte den Häufigkeiten eines brandbedingten Schadenszustandes. Insgesamt ergibt sich somit für Raum ZA03.11 eine Schadenshäufigkeit von  $4,6 \text{ E-}06/\text{a}$ .

**Tab. 3-9:** Brandeintrittshäufigkeiten, mittlere Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen und Produkt aus beiden Werten für Teilräume in ZA03.11

Raum	A Brand- Eintrittshäufigkeit [1/a]	B Mittlere Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des "Notstromfalls" erforderlichen Systemfunktionen	A x B [1/a]
ZA03.11C/B	5,8 E-05	2,4 E-02	1,4 E-06
ZA03.11C/D	5,8 E-05	2,3 E-02	1,3 E-06
ZA03.11D/C	5,8 E-05	6,0 E-03	3,5 E-07
ZA03.11D/A	5,8 E-05	5,8 E-03	3,4 E-07
ZA03.11A/D	5,8 E-05	5,4 E-03	3,1 E-07
ZA03.11B/A	5,8 E-05	5,4 E-03	3,1 E-07
ZA03.11B/C	5,8 E-05	5,3 E-03	3,1 E-07
ZA03.11A/B	5,8 E-05	5,2 E-03	3,0 E-07

### **3.3 Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZE00.08B während des Leistungsbetriebes**

Die Auswahl dieses Raumes beruht auf einem vorläufigen Ergebnis des Auswahlverfahrens, bei dem einerseits von einer wesentlich höheren, pessimistischen Brandeintrittswahrscheinlichkeit ausgegangen wurde und andererseits brandbedingte Ausfälle der Kabel für die Stellungsmeldungen der S/E-Ventile (Hauptventile) pessimistisch als Ausfälle dieser Ventile modelliert wurden. Nach Anwendung des Auswahlkriteriums 3 mit einem aktualisierten Wert der Brandeintrittswahrscheinlichkeit (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) und einer modifizierten Raum-Komponenten-Zuordnung ergibt sich für den Raum ZE00.08B allerdings ein vernachlässigbarer Beitrag zur Kernschadenshäufigkeit.

Der Raum ZE00.08B ist charakteristisch für Räume mit einer hohen Konzentration an elektrischen Kabeln in einem bestimmten Raumabschnitt, welche für die Steuerung bzw. für die Stromversorgung der Komponenten von unterschiedlicher sicherheitstechnischer Bedeutung sind. Die Bedeutung des Raumes ergab sich zum einen aus einem ersten Durchlauf des Auswahlverfahrens mit pessimistischen Annahmen und zum anderen durch Erkenntnisse aus der Anlagenbegehung. Im Raum sind in einem engen Bereich mehrere (bis zu 9) übereinander liegende Kabeltrassen und vertikal geführte Kabeltrassen vorhanden. Nachfolgend werden die durchgeführten brandtechnischen Detailanalysen zu ZE00.08B dokumentiert.

#### **3.3.1 Brandrelevante Eigenschaften des Raums ZE00.08B**

In Abschnitt 3.4.1 wird am Beispiel des Raums ZA03.11 ausführlich dargestellt, auf welche Informationen bei Detailanalysen zurückgegriffen werden kann. Durch Nutzung der während des Vorhabens erstellten Datenbank *BA SWR-69 /GRS 04/* kann für jeden Raum, also auch für den großen Raumbereich ZE00.08 (unterteilt in ZE00.08A und ZE00.08B), eine Zusammenstellung von Daten zur Unterstützung und Durchführung von Detailanalysen flexibel erfolgen. Diese Daten und Informationen bilden die Voraussetzung zur Lösung folgender Aufgaben: Bestimmung einer raumspezifischen Brandeintrittshäufigkeit, Durchführung von Brandsimulationsrechnungen, Aufstellung und Quantifizierung von brandspezifischen Ereignisabläufen sowie der Festlegung relevanter Endzustände der brandspezifischen Ereignisabläufe als Ausgangspunkt für die Einbindung der Brandschäden in eine vorhandene PSA.

Auf eine nochmalige Zusammenstellung der Daten für ZE00.08B wird hier verzichtet. Die entsprechenden Daten sind in der Datenbank *BA SWR-69* enthalten und in den nachfolgenden Abschnitten wird bei Bedarf darauf zurückgegriffen.

### **3.3.2 Brandeintrittshäufigkeit ZE00.08B**

Die Brandeintrittshäufigkeit wird analog zum Vorgehen bei der Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit in ZA03.11 für den Leistungsbetrieb ermittelt (siehe Abschnitt 3.2.1.2). Für den Leistungsbetrieb wird für die Referenzanlage von einer jährlichen Brandeintrittshäufigkeit von  $6,00 \text{ E-}02/\text{a}$  ausgegangen (siehe dazu Tab. 3-6). Betrachtet man die gesamte deutsche Betriebserfahrung, so waren 31 % aller Brände im Schaltanlagegebäude. Im vorliegenden Fall wird für das Schaltanlagegebäude das Verfahren von Berry mit der konkretisierten Gebäude-Brandeintrittshäufigkeit von  $1,86 \text{ E-}02/\text{a}$  wiederholt. Man erhält eine Brandeintrittshäufigkeit für den Raum ZE00.08B von  $4,06 \text{ E-}04/\text{a}$ . Auf die Bestimmung der Unsicherheit bezüglich dieser Schätzung wird hier nicht näher eingegangen.

### **3.3.3 Brandsimulation in ZE00.08B**

Als Ergebnis des Auswahlverfahrens und der Anlagenbegehung wurden der Raum ZE00.08B sowie die anliegenden Räume ZE00.08A und ZE00.16 als auch die anliegenden Traforäume ZE00.18 und ZE00.19 für eine detaillierte Brandsimulation ausgewählt. Diese Räume zeichnen sich durch eine hohe Brandlast bezogen auf die Fläche aus.

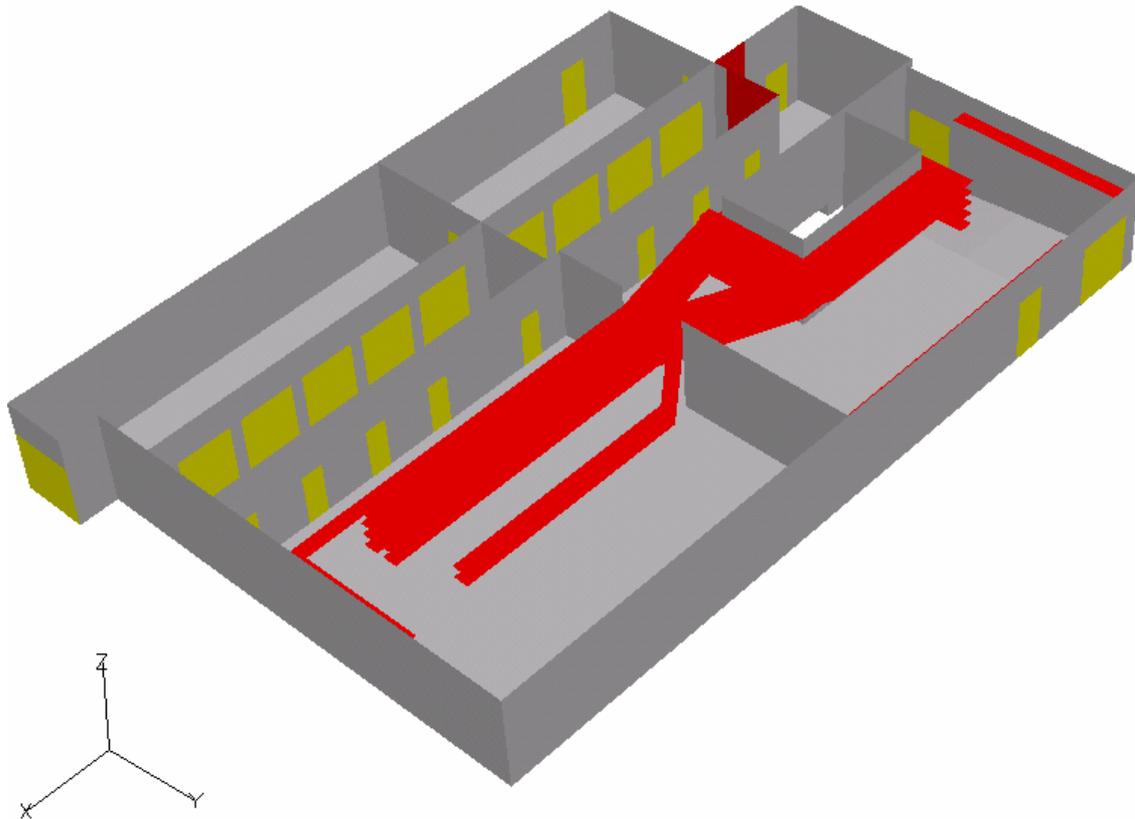
Für die Brandsimulation wurde das Programm COCOSYS<sup>®</sup> (Containment Code System) der GRS /KLE 00/ ausgewählt. Es handelt sich hierbei um ein so genanntes Lumped-Parameter-Programm, in welchem das Raumvolumen - ähnlich wie bei CFD (computational fluid dynamics)-Programmen - in viele Kontrollvolumina eingeteilt wird. Allerdings sind die Volumina nicht so klein wie bei CFD-Codes, und die Impulsbilanz wird nicht gelöst. Die grundsätzliche Anwendbarkeit des Programms wurde anhand aktueller "blinder" (d.h. ohne Kenntnis von Versuchsdaten) Vorausrechnungen in der Benchmark-Aufgabe Nr. 3 im *International Collaborative Fire Modelling Project* (ICFMP) aufgezeigt. Dies gilt insbesondere für Zustände (z.B. Target-Temperaturen) außerhalb des Brandbereichs. Rechnungen mit COCOSYS zu den beim iBMB (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz) der TU Braunschweig durchgeführten real-

maßstäblichen Kabelbrandversuche zeigen hingegen, wie bei anderen Programmen auch, größere Unsicherheiten. Dies wird bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt.



**Abb. 3-4:** Nodalisierung für Brandsimulation in ZE00.08B

Ausgehend von den Brandlasten aus der Datenbank, den vorhandenen Grundriss- und Lüftungsplänen sowie den Erkenntnissen einer Begehung wurde ein detaillierter COCOSYS Datensatz erstellt (Abb. 3-4). Der Brandraum wurde in 8 Ebenen mit jeweils 54 Zonen unterteilt. Diese sind in der Abbildung farbig dargestellt. Der Verlauf der Kabeltrassen wird durch dicke rote Linien dargestellt. Der COCOSYS Datensatz wurde mit Hilfe des Gittergenerators GRIDGEN erstellt. Dadurch sind 3D-Ansichten der Nodalisierung und der Ergebnisse möglich (Abb. 3-5).



**Abb. 3-5:** Nodalisierung erstellt den Gittergenerator GRIDGEN

Die einzelnen Kabeltrassen werden durch Strukturen in der Brandsimulation abgebildet. Die berechneten Oberflächentemperaturen werden dann für die Flammenpropagation entlang der Trassen verwendet. Weiterhin wird in der Rechnung das "einfache Kabelbrandmodell" /KLE 01/ verwendet. Die Brandlast wurde aus der Screening-Datenbank entnommen. Dabei wurde die auf die Grundfläche des Raumes bezogene Brandlast, die "Brandbelastung", auf eine längenbezogene Brandlast umgerechnet. Damit wird sichergestellt, dass eventuell nicht detailliert erfasste Brandlasten in der Simulation mit berücksichtigt werden. Insgesamt ergeben sich folgende Daten:

**Tab. 3-10:** Brandlasten im Raum ZE00.08B und angrenzenden Räumen

Raum	Brandbelastung [MJ/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Brandlast [MJ/m]	Brandlast [kg PVC/m]
ZE00.16	906	33	887,18	49,29
ZE00.08A	836	112	275,71	15,32
ZE00.08B	255	145	117,19	6,51
ZE00.18	352	70	wird nicht berücksichtigt	
ZE00.19	291	87.5		

Durch die Umrechnung ergaben sich sehr unterschiedliche Werte für die Brandlastdichte auf die einzelnen Kabeltrassen. Hierfür gibt es folgende mögliche Ursachen:

- Die Kabelzuordnung zu den Teilräumen ZE00.08A und ZE00.08B wurde proportional zur Raumfläche vorgenommen. Diese Annahme ist bei Begehungen zu überprüfen.
- Die tatsächliche Raumgröße von ZE00.16 ist bei einer Begehung zu überprüfen. Aus den vorliegenden Plänen sind die Raumgrenzen nicht eindeutig abzulesen.
- Einzelne Kabeltrassen unterhalb der Decke wurden nicht berücksichtigt.

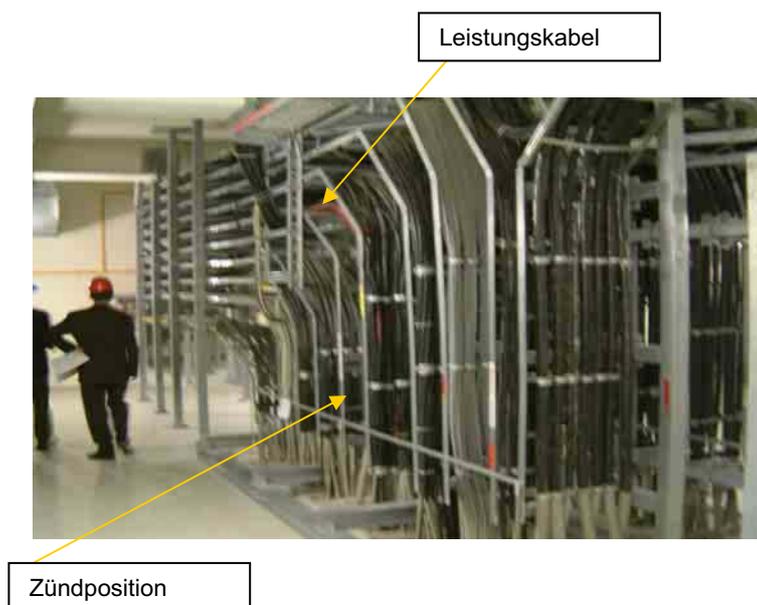
Es wurde zunächst davon ausgegangen, dass keine Brandausbreitung vom Brandraum ZE00.08B in die Traforäume ZE00.18 und ZE00.19 auftritt. Daher wurden diese Brandlasten im Datensatz noch nicht berücksichtigt.

Die Zu- und Abluft wurden entsprechend den vorliegenden Lüftungsplänen modelliert. Die Zu- und Abluft beträgt in den Räumen ZE00.08A, ZE00.08B und ZE00.16 insgesamt ca. 0,4 m<sup>3</sup>/s. Aus Stabilitätsgründen in der COCOSYS-Rechnung wurde die Zu- und Abluft in den Traforäumen von den dort real vorliegenden 4 m<sup>3</sup>/s auf 0,4 m<sup>3</sup>/s reduziert. Weiterhin beträgt die Sauerstoffkonzentration für etwa 400 s mehr als 20 Vol %, so dass diese für den Code erforderliche Reduzierung keinen wesentlichen Einfluss auf das Brandverhalten hat. In der unten dargestellten Rechnung wird das Lüftungssystem bei t = 120 s abgeschaltet und abgeschottet, so dass die Auswirkung der Lüftungsreduktion auf die Ergebnisse als gering angesehen wird. Die Abschottung der Lüftung entspricht dem Vorgehen entsprechend Betriebshandbuch (BHB, siehe /ENB 03/, C7.4.1 Seite 1/8 - 1/10, Stand 01/96), wonach Zu- und Abluft im Brandfall zu schließen sind. Der für die Rechnung angenommene Zeitraum von 120 s nach

Brandbeginn korreliert in etwa mit der Ansprechzeit der Detektoren. Der Zeitraum von 120 s entspricht ungefähr der Ansprechzeit der Detektoren.

Mit Ausnahme einer Tür zwischen ZE00.08B und dem Traforaum ZE00.19 werden sämtliche Türen als geschlossen angenommen. Der Brandraum ist mit 9 Türen zu den Traforäumen verbunden. Dadurch ergibt sich eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass eine der Türen offen ist. Die Abb. 3-10 zeigt, dass relativ schnell ventilationsgesteuerte Randbedingungen für den Brand vorliegen. Daher führt eine Rechnungen mit offener Tür zu höheren Abbrandraten und damit zu eher konservativen Resultaten.

Weitere Parameter (z.B. spezifische Abbrandrate) wurden entsprechend der blinden Vorausrechnungen zur Benchmark-Aufgabe #5 des ICFMP (Kabelbrandversuche im Oskar-Versuchsstand des iBMB in Braunschweig, siehe /HOS 04/) festgelegt.



**Abb. 3-6:** Lage der Zündposition

Für die Brandsimulation wurde folgender Verlauf festgelegt:

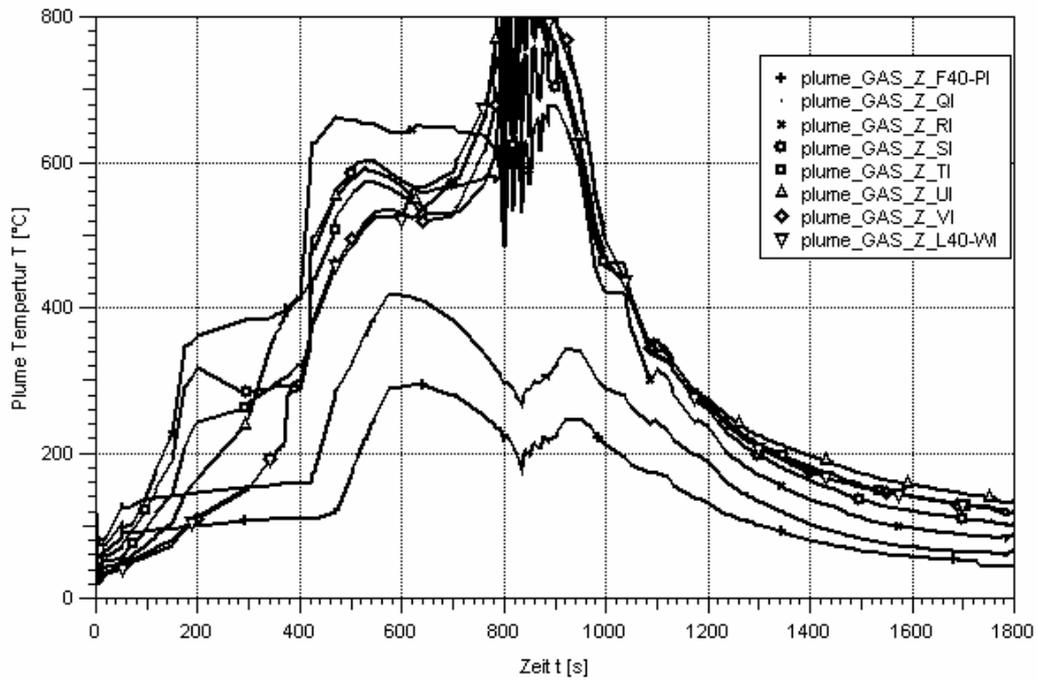
- Die Zündung erfolgt im Bereich der vertikalen Trassenabschnitte (bei Zone 40). In einer der mittleren Trasse befinden sich ebenfalls Leistungskabel (siehe Abb. 3-6). Es wird angenommen, dass im unteren Bereich ein 0,35 m langer Trassenabschnitt zu brennen anfängt.

- Der Brand wird durch die Brandmelder erkannt. Es wird daher angenommen, dass die Lüftung nach 2 min für diese Raumbereiche abgeschaltet wird und die Brandschutzklappen schließen.
- Weiterhin wird angenommen, dass die Brandschutztür zwischen ZE00.08A und dem Flur ZE00.06 zwischen 360 s und 420 s geöffnet wird (z.B. durch Brandläufer). Weitere Gegenmaßnahmen wurden nicht betrachtet.

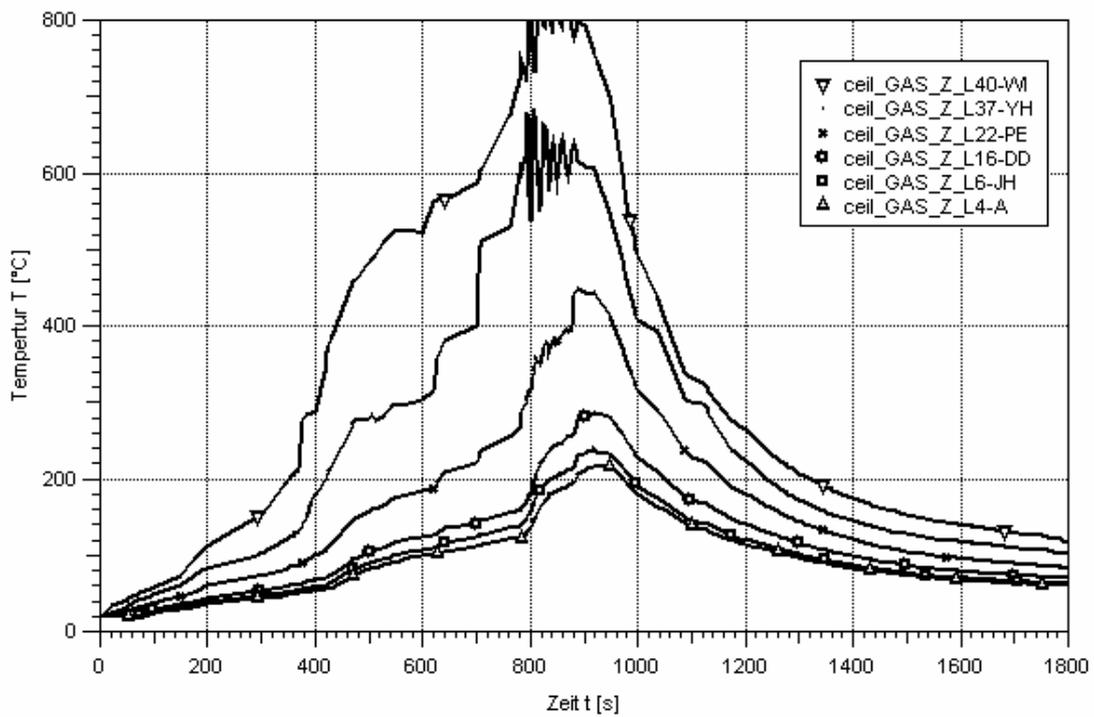
Im Folgenden werden die Ergebnisse der Brandsimulation dargestellt. Die Rechnung wurde für eine Problemzeit von 5 Stunden mit COCOSYS V2.1v2 durchgeführt. Da aufgrund des Sauerstoffmangels der Brand eingedämmt wird und fast stationäre Bedingungen auftreten, werden die Ergebnisse nur bis zu einem Zeitraum von 30 Minuten gezeigt.

- Raum-Temperaturen

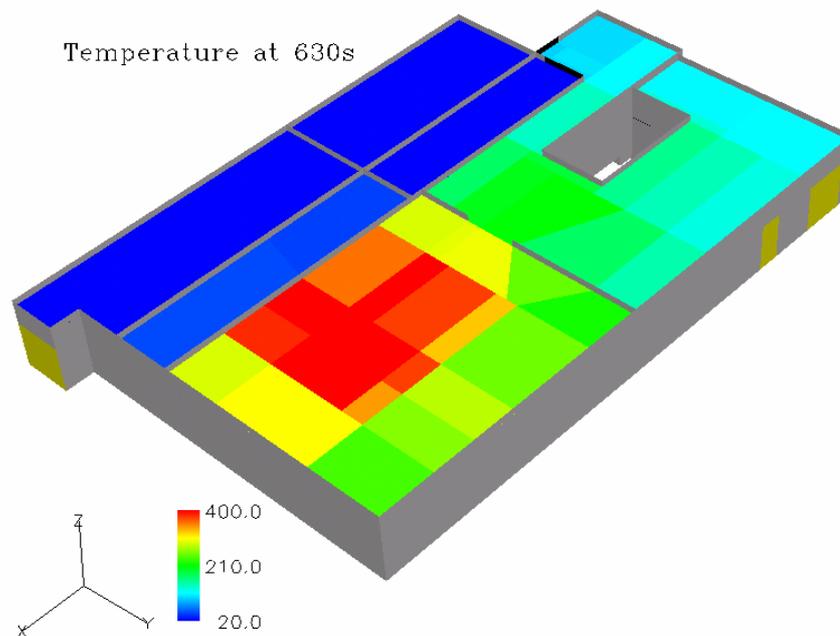
Die Abb. 3-7 zeigt die berechneten Atmosphärentemperaturen ("Plume") an der Zündposition. Die zugehörigen Zonen haben jeweils eine Fläche von 0,85 m<sup>2</sup>. Da in COCOSYS derzeit kein Plume-Modell vorhanden ist, sind die dargestellten Temperaturen eher als mittlere Temperaturen zu interpretieren. Aus den bisherigen Erfahrungen sind die in COCOSYS berechneten Temperaturen an Zündpositionen im unteren Bereich eher zu niedrig (durch die Mittelung) und im oberen Bereich tendenziell zu hoch, da die Einmischung mit der umgebenen Atmosphäre unterschätzt wird. Diese erreichen in ca. 3 min maximal 400 °C. Durch die Ausbreitung des Brandes auf benachbarte Trassen steigen die Temperaturen in 13 Minuten auf ca. 800 °C an. Danach sinken die Temperaturen aufgrund des entstehenden Sauerstoffmangels. Um die Auswirkungen des Brandes auf andere Raumbereiche zu untersuchen, sind in der Abb. 3-8 die berechneten Temperaturen unterhalb der Decke an verschiedenen Positionen dargestellt. Die Position wird aus dem Namen der Zone und der obigen Nodalisierung ersichtlich. In der Zone 37 werden noch Temperaturen bis 600 °C erreicht. Dagegen sind die Temperaturen im Raum ZE00.08A und ZE00.16 deutlich niedriger und betragen maximal zwischen 200 °C und 300 °C. Eine Brandausbreitung in diesen Raumbereichen tritt in diesem Fall nicht auf.



**Abb. 3-7:** Raumtemperaturen an der Zündposition (Plume)



**Abb. 3-8:** Berechnete Temperaturen unterhalb der Decke

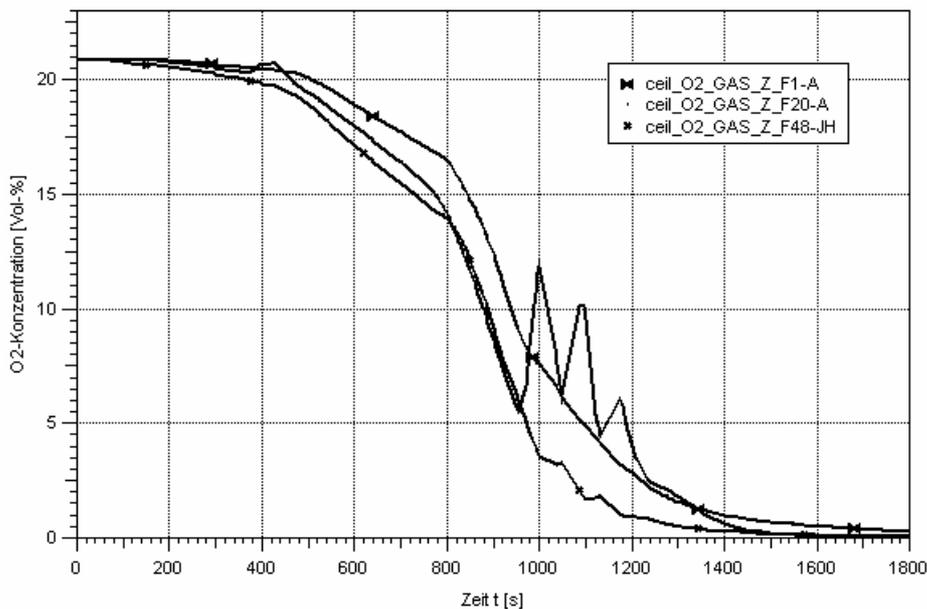


**Abb. 3-9:** 3D Ansicht der Temperaturen unterhalb der Decke bei  $t = 630$  s

- Gaskonzentrationen

Für das vorliegende Brandszenario spielt die Sauerstoffkonzentration eine wesentliche Rolle, da das Lüftungssystem nach 120 s abgeschaltet wird und damit das System praktisch abgeschlossen ist. Das Öffnen der Tür DO18 spielt nur eine untergeordnete Rolle, da in dem Zeitbereich zwischen 360 s und 420 s die im Raum vorhandene Sauerstoffkonzentration noch sehr hoch ist (Abb. 3-10). Ab 1000 s sinkt die Konzentration im Bodenbereich unterhalb von 5 Vol %, was eine erhebliche Reduktion des Brandes zur Folge hat.

Derzeit ist die Simulation von Kabelbränden unter sauerstoffarmen Bedingungen noch mit größeren Unsicherheiten behaftet. Dies gilt insbesondere bezüglich der Rückwirkung auf die Flammenausbreitung entlang der Kabeltrassen. Ebenfalls sind in COCOSYS keine Modelle zum Verhalten von HCl enthalten.



**Abb. 3-10:** Berechnete Sauerstoff-Konzentration im Bodenbereich

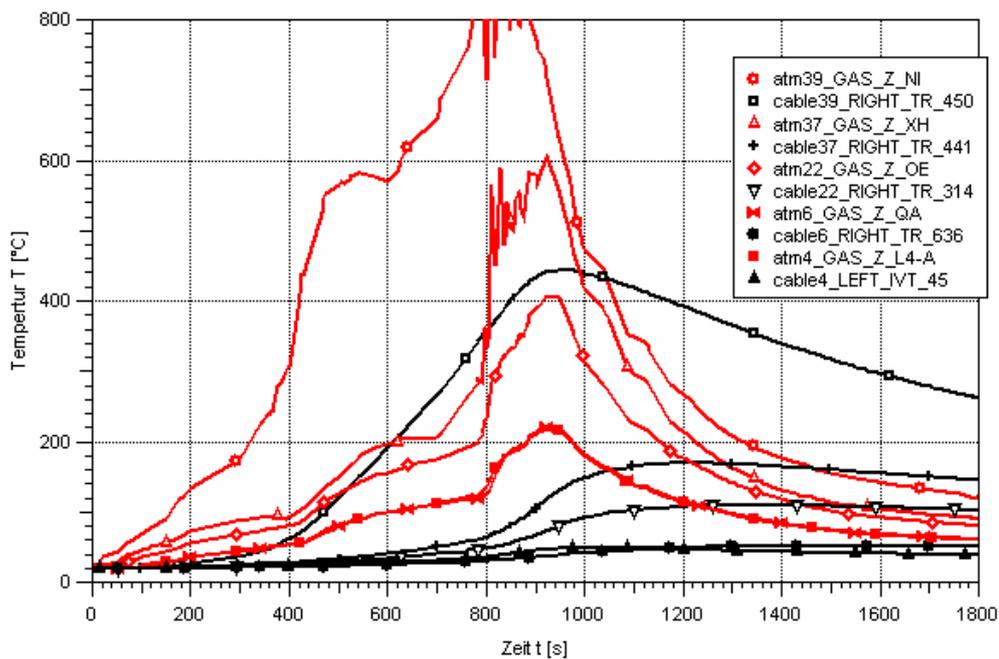
- Kabeltemperaturen

Die Kabeltemperaturen sind eine wichtige Größe zur Beurteilung des Funktionsausfalls und der Flammenausbreitung. Allerdings sind die berechneten Größen mit hohen Unsicherheiten behaftet. So wurden im Rahmen der ICFMP Benchmark-Aufgabe #5 in den blinden COCOSYS Rechnungen die berechneten Kabeltemperaturen deutlich unterschätzt. Aus diesem Grunde werden in Abb. 3-11 neben den berechneten Kabeloberflächentemperaturen zusätzlich die vorherrschenden Raumtemperaturen an den jeweiligen Positionen dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen Temperaturen dazwischen liegen. Neben den Trassen aus Zone 39 (direkt neben der Zündposition: Zone 40) sind die Temperaturen im Bereich der Zone 37 unterhalb der Decke am höchsten

Nach den aktuell beim iBMB der TU Braunschweig durchgeführten Kabelbrandversuchen mit real in deutschen Kernkraftwerken (wie auch der Referenzanlage) verwendeten PVC-ummantelten Kabeln (siehe /HOS 04/) erfolgt ein erster Funktionsausfall (Kontakt von Leiter zu Leiter) bei dünnen leittechnischen Kabeln ohne Vorwärmung nach durchschnittlich etwa 550 s, im Falle vorgewärmter Kabel bereits nach rund 220 s. Bei den im Allgemeinen deutlich dickeren Leistungskabeln liegen die Durchschnittswerte erheblich höher bei 1080 s bzw. 1200 s. Diese Werte entsprechen

Temperaturen im Inneren der Kabel von 50 °C bis 70 °C bei Kabeln der Leittechnik bzw. 100 °C bis 140 °C bei Leistungskabeln.

Nimmt man entsprechend den Ergebnissen aus /HOS 04/ eine Oberflächentemperatur von 100 °C an der Kabeloberfläche als Temperaturkriterium für den Funktionsausfall von Kabeln an, so ist je nach Lage des jeweils betroffenen Kabels von einem Funktionsausfall nach einer Zeitspanne zwischen 400 s (Raumtemperatur) und 900 s (Kabeloberflächentemperatur) auszugehen (vgl. Abb. 3-11). Diese Werte sind grundsätzlich in erster Näherung mit den in /HOS 04/ angegebenen Unsicherheitsbandbreiten auch für den Funktionsausfall von Kabeln bei einem Brand in dem hier zu untersuchenden Kabelraum zu unterstellen. Die Frage, ob durch den Brand auf einer oder mehreren Kabeltrassen der Ausfall von PSA-Komponenten zu unterstellen ist, kann erst beantwortet werden, wenn die Zuordnung der Kabel in den verschiedenen Trassen zu den Komponenten bekannt ist.



**Abb. 3-11:** Atmosphären- und Kabeloberflächentemperaturen

- Brandverlauf

Im Folgenden wird der lokale Brandverlauf nahe der Zündposition beschrieben. Zu beachten ist, dass ein sehr vereinfachtes Modell benutzt wird, und daher die Ergebnisse nur grobe Anhaltspunkte über den zeitlichen Verlauf des Brandes geben können. Hauptschwierigkeiten sind dabei:

- Die Flammenausbreitung unter sauerstoffarmen Randbedingungen ist noch nicht genau untersucht worden.
- Die Geometrie der Trassen (vertikale und horizontale Abschnitte) ist sehr komplex.
- Der Anfangszustand "Entzündung eines Leistungskabels" ist nur ungenau bekannt.

In Abb. 3-12 und Abb. 3-13 sind die Brandverläufe im Bereich der Zonen 40 und 39 genauer dargestellt. Die Farben von rot bis violett geben dabei den ungefähren zeitlichen Ablauf wieder. Für die einzelnen Trassensegmente, so wie sie im COCOSYS Datensatz vorgegeben sind, wurden die Zündzeitpunkte in den Abbildungen eingetragen. Dabei zeigt sich, dass zunächst die entzündete vertikale Trasse nach oben abbrennt und dabei die darüber liegenden horizontalen Trassen anzündet. Der Übergang zu der parallel verlegten vertikalen Trasse (in Zone 39) erfolgt schon nach ca. 40 s. Dies ist eher ein Effekt des verwendeten Modells, welches nicht zwischen einer Brandübertragung ("Überspringen") auf eine benachbarte Kabeltrasse und einer horizontalen Ausbreitung auf einer Trasse unterscheiden kann. Dementsprechend ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten, dass das "einfache Kabelbrandmodell" in COCOSYS nicht jede beliebige Situation abbilden kann, sondern die Ergebnisse im Wesentlichen durch die Eingabe des Programmanwenders deutlich beeinflusst werden. Allerdings ist die Vorgabe der Abbrandrate bei allen gängigen Brandsimulationsprogrammen notwendig, wobei die vorhandene Lage der Kabeltrassen nicht unmittelbar berücksichtigt werden kann. In dem Zeitraum zwischen 213 s und 418 s werden die darüber liegenden Trassen entzündet. Damit sind spätestens nach ca. 500 s praktisch alle Kabel in den Trassen im Bereich der Zonen 40 und 39 als funktionsunfähig anzunehmen.



- Zusammenfassung

Für die Simulation eines Brandes im Raum ZE00.08B wurde ein detaillierter COCOSYS Datensatz erstellt. Mit diesem Programm ist es möglich, unter realistischen Randbedingungen den zeitlichen Verlauf des Brandes zu beschreiben. Allerdings ist eine solche Simulation immer noch mit größeren Unsicherheiten behaftet. Dies gilt insbesondere für sauerstoffarme Bedingungen. Dieses ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

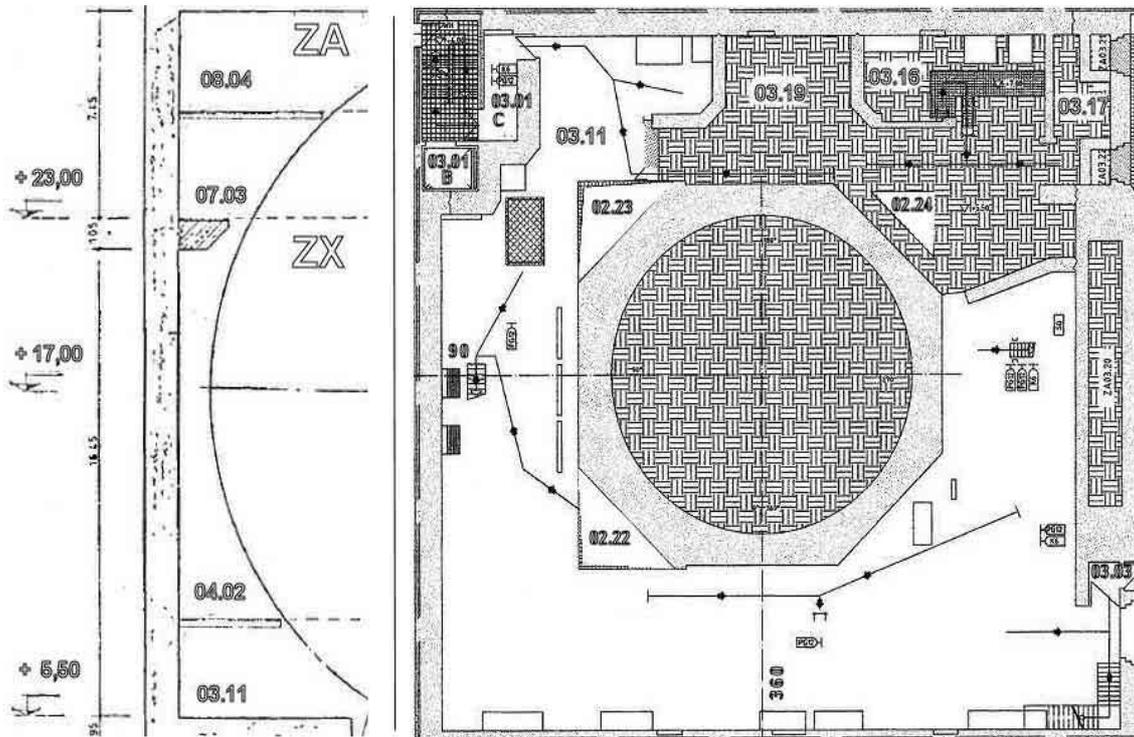
### **3.4 Untersuchungen zu den Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 während des Nichtleistungsbetriebes**

Im Rahmen der Brandanalysen für den Nichtleistungsbetrieb wurde gezeigt, dass die neu entwickelte Methodik zur Auswahl von Räumen, die detailliert untersucht werden müssen, auch für den Nichtleistungsbetrieb genutzt werden kann (siehe Abschnitt 0). Eine tatsächliche Durchführung des Auswahlverfahrens war im Rahmen des Projektes nicht vorgesehen, deshalb wurde schon bei Projektbeginn der Raum ZA03.11 für Detailanalysen ausgewählt. Grundlage der Auswahl waren Ausfallanalysen von Systemfunktionen während des Nichtleistungsbetriebes im Rahmen einer PSA für den Nichtleistungsbetrieb (BMU-Vorhaben SR 2383). Dabei zeigte sich, dass der Raum ZA03.11 in Bezug auf die Gefährdung der Systemfunktion "Nachwärmeabfuhr" durch den Ausfall entsprechender Komponenten (u. a. Komponenten der Systeme TH und TF) kritisch ist. Zusätzlich zeigten die durchgeführten Anlagenbegehungen, dass im Raum ZA03.11 ein Brandpotential im Nichtleistungsbetrieb vorhanden ist (temporäre Brandlasten, Durchführung von Heißenarbeiten während der Revisionen). Weiterhin wurde angenommen, dass die vielen, in einem vergleichsweise engen Raumbereich von ZA03.11 vorhandenen elektrischen und verfahrenstechnischen Komponenten ggf. zu mehrfachen, auch redundanzübergreifenden Ausfällen im Falle eines Brandes führen können.

#### **3.4.1 Brandrelevante Eigenschaften des Raums ZA03.11**

Nachfolgend sind die brandrelevanten Eigenschaften des Raums ZA03.11 als Grundlage für die Detailuntersuchungen zusammen gestellt. Die meisten der Informationen sind inzwischen direkt aus der Datenbank *BA SWR-69* abrufbar.

- Raumlage und -geometrie



**Abb. 3-14:** Raumgeometrie von ZA03.11 (vertikal, horizontal)

Bei dem Raum ZA03.11 handelt es sich um eine Rohrleitungsbühne, welche sich im Reaktorgebäude auf der Ebene 3, Höhenkote 5,50 m befindet. Die Grundfläche beträgt ca. 475 m<sup>2</sup>. Die größte Breite beträgt ca. 28 m. Der Raum ZA03.11 kann dem Großraum um den Sicherheitsbehälter zugeordnet werden. Dieser Großraum stellt zwischen 5,5 m und 31,0 m einen umlaufenden Ringraum dar.

Zu tiefer als 5,5 m gelegenen Räumen gibt es vereinzelt Öffnungen für Rohrleitungen, Kabel und Lüftung. Nach oben ist der Großraum erst auf 31,0 m vollständig geschlossen. Außerdem gibt es eine schürzenartige Zwischendecke auf der 12,0 m-Ebene, die aber nur in Teilbereichen von ZA03.11 vorhanden ist. Diese Zwischendecke hat zum Sicherheitsbehälter unterschiedlich große Abstände und verfügt im Bereich von Rohrleitungsdurchführungen und Durchführungen für vertikale Kabeltrassen über weitere Öffnungen. Ansonsten gibt es eine umlaufende Zwischendecke auf der Ebene + 23,0 m mit Öffnungen für Kabel- und Rohrdurchführungen und einem Spalt zum Sicherheitsbehälter von ca. 40 cm. In verschiedenen weiteren Ebenen gibt es Gitterrostbühnen.

Direkte Nachbarräume von ZA03.11 sind in Tab. 3-11 aufgeführt.

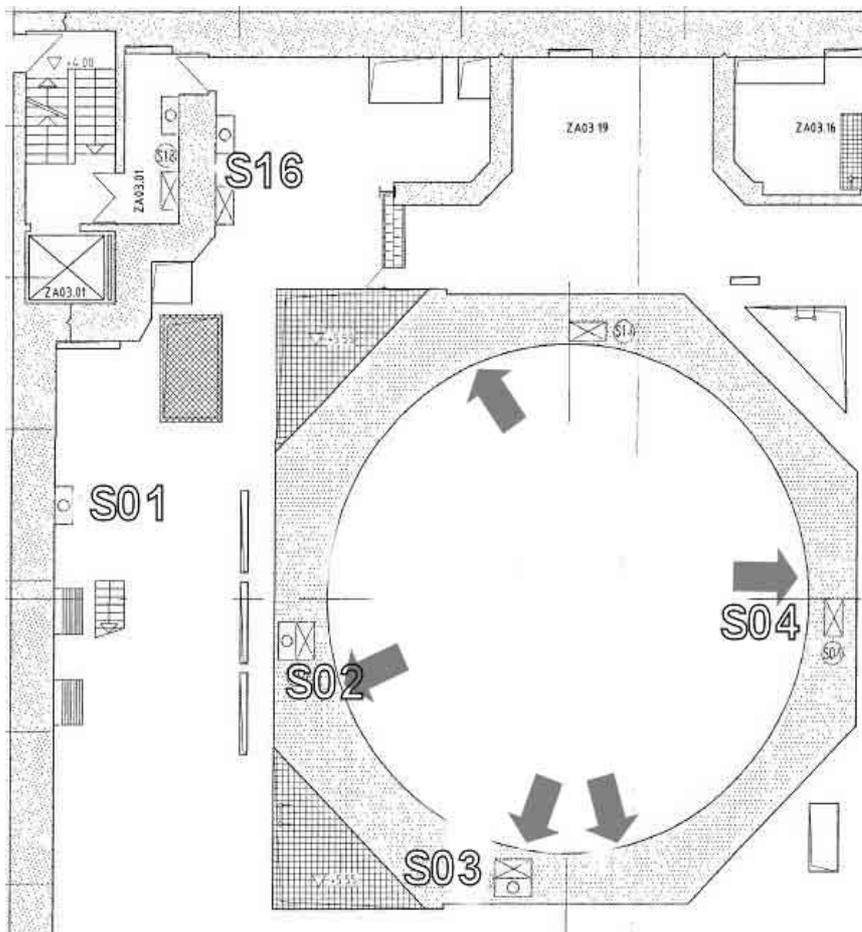
**Tab. 3-11:** Direkte Nachbarräume des Raums ZA03.11

Raum	Verbindung	Bemerkung
04.02 Rohrleitungsbühne	offene Verbindung (O)	Zwischendecke mit unterschiedlichen Abständen zum Sicherheitsbehälter
03.01C Vorraum zum Treppenhaus	Tür T30	
03.03B Vorraum zum Montageflur	normale Tür (T)	
03.19 Rohrleitungen	O, T	Der Raum ZA03.11 verläuft rund um ZX. Auf der einen Seite ist er offen zu 03.19, auf der anderen ist eine Tür (siehe Abb. 3-14). Diese Tür ist bei Leistungsbetrieb offen. Bei Nichtlei- stungsbetrieb ist die Tür zur Sicher- heit geschlossen (Reparaturarbeiten von Fremdpersonal sollen nur in abgegrenzten Raumabschnitten durchgeführt werden).
02.06	O	Verbindung über Lüftungsschacht
02.08	O	Verbindung über Lüftungsschacht
02.10	O	
02.22, 02.23, 02.24 Rohrleitungsschächte	O	
02.28	O	
02.29	O	

- Komponenten im Raum

In der Komponentenliste zum Raum ZA03.11 befinden sich 951 Komponenten (siehe /GRS 04a/ in <ZA0311 Komponenten.xls(Komponenten)>). Der Raum ZA03.11 ist eine Rohrleitungsbühne; in der Komponentenliste sind 177 Rohrleitungen verzeichnet. Von diesen 951 Komponenten aus ZA03.11 sind 34 als Basisereignisse (alles Armaturen) in der PSA enthalten (/GRS 04a/, <ZA0311 Komponentenliste.xls(PSA-Komponenten)>). Eine weitere Liste in /GRS 04a/ <ZA0311 Komponentenliste.xls(Kabel)> enthält einige wichtige Komponenten, die sich zwar nicht im Raum befinden, aber deren Versorgungs- oder Leittechnikabel durch den Raum verlaufen (Es wurden nicht alle Kabel den Komponenten zugeordnet, sondern nur nach Kabelverläufen von ausgewählten

Komponenten - Armaturen und Pumpen, die als Basisereignisse in der PSA enthalten sind - gesucht.)



**Abb. 3-15:** Anordnung von Starkstrom- und leittechnischen Verteilerkästen sowie Lage der Kabeldurchführungen durch den Sicherheitsbehälter

Zur Berechnung der Brandlast durch KAB-tec wurden insgesamt 972 Kabelabschnitte herangezogen. Die Kabelabschnitte sind durch Anfangs- und Endknoten charakterisiert. Diese Knoten sind in <ZA0311 Komponentenliste.xls(Kabel1)> aufgelistet /GRS 04a/.

Entsprechend /ENB 01/ sind in ZA03.11 die Starkstrom- und leittechnischen Unterverteilungen wie in Abb. 3-15 angeordnet. Die Zuordnung ist wie folgt gegeben:

S01 - RT05S446U, RT23S401U, RT28S414U, RT28S415U

S02 - 0MK06M005, 2KA20N139, 2KA20N268, 2KA20Z136, 2KA20Z142,  
2KA20Z267, 2KA30Z144, 2TJ20S101, 6KA20M137, 6KA30M155,  
6KA20M138, TC01S101U, TH21S103U

S03 - 0KA20N106, 0KA20N107, 0KA20N105, 0KA20N229, 0KA30N113,  
0MF35X254, 0MF36X257, 0YU11D504, 1KA03S001, 1KA03S002,  
1KA20M102, 1KA20N103, 1KA20Z101, 1KA20Z239, 1KA30Z114,  
2KA03S001, 2KA03S002, 7KA20M240, TH11S103U

S04 - 2KA20N177, 2KA20N178, 2KA20Z173, 2KA20Z174, 2KA20Z175,  
2KA20Z176, 2KA20Z189

S16 - 2KA20Z187, 2KA20Z188, RA06S101U, TJ02S101U

Die Kabeldurchführungen aus dem Sicherheitsbehälter in den Raum ZA03.11 befinden sich in folgenden Bereichen (Lage der Kabeldurchführungen ist in Abb. 3-15 durch Pfeile gekennzeichnet):

0° bis 10°: TH11S103, TH41S103, 7TF11S103  
60° bis 70°: TH21S103, TH31S103, 6TF21S103  
150° bis 160°: TH31S103  
260° bis 280°: 6TF21S101, 6TF21S103  
340° bis 350°: TH41S103

Nach dem Kabeltrassenplan /ENB 00, ENB 00a/ liegen Kabeltrassen im Raum ZA03.11 ausschließlich im Bereich von 0° bis 170°. Es gibt 9 vertikale Kabeltrassen mit unterschiedlicher Belegungsdichte.

Eine horizontale Trasse verläuft azimuthal in unterschiedlicher Höhe, beginnend bei ca. 9,0 m bis unmittelbar unter die schürzenartigen Zwischendecke (3 Pritschen ca. 45 cm x 10 cm). Eine weitere horizontale Trasse (u. a. Energieversorgung ZUP, 6 Pritschen ca. 60 x 10 cm) ist beschränkt auf einen Quadranten (H/L-26/29). Im unmittelbaren Bereich dieser Trasse ist die Armaturenstation für Impulsleitungen (Wirkdruckmessung).

Im Bereich von 250° bis 360° liegen keine Kabeltrassen. Der Abschnitt von 170° bis 250° ist Sperrbereich (Raum ZA03.19).

- Brandbelastung

Der Raum ZA03.11 hat eine Brandbelastung von ca. 110 MJ/m<sup>2</sup>. Hauptanteil der Brandbelastung wird durch die Kabel verursacht (ca. 90 MJ/m<sup>2</sup>), weitere Brandgüter im Raum sind Abfallbehälter, Leerschläuche, textiles Material.

Bezogen auf die Größe des Raumes ist das Hauptbrandgut ungleichmäßig verteilt, denn im Bereich von 250° bis 360° liegen keine Kabeltrassen. Das bedeutet, dass sich die Kabelbrandlast auf ca. einem Drittel der Raumfläche konzentriert (dort dann ca. 135 MJ/m<sup>2</sup>). Die darüber liegenden Rohrleitungsbühnen haben folgende Brandbelastungen (hauptsächlich durch Kabel): ZA04.02 - ca. 150 MJ/m<sup>2</sup>, ZA07.03 - ca. 90 MJ/m<sup>2</sup> und im Raum ZA08.04 weniger als 90 MJ/m<sup>2</sup>.

Im Großraum um ZA03.11 wurde 1999 mit der Beschichtung der Kabel mit Dämmschichtbildner begonnen. Die Arbeiten sind 2004 abgeschlossen worden. Auf die Beschichtung wird ein Dekontaminationsanstrich aufgetragen (Erleichterung der Reinigung von Aktivitätsrückständen). Ein derartiger Dekontaminationsanstrich ist zwar grundsätzlich brennbar, hat aber keinen Einfluss auf die Dämmschichtbildung im Brandfall.

Während der Begehung am 11.11.2003 waren Teile von ZA03.11 aus Strahlenschutzgründen gesperrt. Das bedeutet auch eine (leichte) Erhöhung der Brandbelastung im Raum (Schuh- und Umkleidezonen). Derartige spontane Sperrungen haben keinen Einfluss auf Brandmeldung und -bekämpfung.

Bei Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten wird immer darauf geachtet, dass nur ein Tagesbedarf an Arbeitsmaterialien (z.B. Tagesbedarf an Lösungsmitteln bei Malerarbeiten oder von Materialien für die Isolation von Rohrleitungen) in den entsprechenden Raum getragen wird. Bei Schweißarbeiten in ZA04.02 oder in ZA08.04 wird der Gitterboden ausgelegt.

Um einen Überblick darüber zu erhalten, wie viele brandschutzrelevante Arbeiten während einer Revision im Reaktorgebäude durchgeführt werden, kann die Datenbank der Arbeitsaufträge ausgewertet werden /ENB 04/. Im Fall der Revision Mai 2003 wurden 100 Brandschutzscheine ausgestellt, die sich folgendermaßen auf die einzelnen Gebäude verteilten: ZA(19), ZX(7), ZE(9), ZF(52), ZV(2), ZK(2) und Sonstige(9). Der Raum ZA03.11 war diesmal nicht direkt betroffen, aber in den offen darüber liegenden

Räumen 07.03 und 08.04 fanden brandschutzrelevante Arbeiten statt.

Aus diesen Daten ist weiterhin ersichtlich, dass in der Revision 2003 eine Arbeit im Großraum um den ZA03.11 ausgeführt wurde, welche das Öffnen von Schottungen erforderlich machte (Montage der Kondensatablaufleitung eines Luftkühlers in ZA08.04). Das hat keine Auswirkungen auf die Analyse, da für ZA03.11 Lüftungs- und Raumabschlussfragen kaum eine Rolle spielen.

Die Daten /ENB 04/ wurden zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit im Raum ZA03.11 für die Jahre 1993 bis 2003 ausgewertet (siehe dazu Abschnitt 3.4.3, insbesondere Tab. 3-14).

- Brandmeldung

Im Raum sind 18 Ionisationsrauchmelder mit Parallelanzeige (IRM-P) installiert (siehe Tab. 3-12 und zur Anordnung Abb. 2-1). Auf der darüber liegenden Ebene (Raum ZA04.02) befinden sich 4 Meldekette mit insgesamt 22 Ionisationsrauchmeldern. Im Raum ZA07.03 und ZA08.04 befindet sich noch eine Meldekette mit 4 Meldern im Bereich 90°. Die Brandmelder im Sicherheitsbehälter und in den Sperrbereichen des Reaktorgebäudes werden jährlich ausgetauscht.

Die von den Brandmeldern und Unterzentralen eintreffenden Meldungen werden optisch und akustisch an der zentralen Brandmeldeanlage OMF88 angezeigt und als Sammelalarm in der Hauptwarte gemeldet. Die Anlage überwacht den überwiegenden Teil der Anlagenräume.

In drei Meldeschränken im Raum ZE03.23 sind etwa 520 Meldergruppen mit ca. 2.300 Puls- und Grenzwertmeldern aufgeschaltet. Zur Durchführung von aktiven Maßnahmen stehen ca. 500 Steuerrelais in den Relaischränken OMF05/06 in ZE02.27 zur Verfügung. Die Stromversorgung von OMF88 erfolgt durch drei unabhängige Stromquellen. Sämtliche Meldergruppen bzw. Melder der Brandmeldeanlage OMF88 werden bei Alarm an den Text- und Grafikmonitoren angezeigt und ausgedruckt. Das Alarmprotokoll für ZA03.11 umfasst 6 Seiten /ENB 03a/. Bei der simulierten Alarmsituation wurde eine Meldung der Meldekette 01-19-01 bis 01-19-04E angenommen. Zur Verbesserung der Meldungsanalyse und -bearbeitung wurde die Brandmeldeanlage OMF88 mit einem Sicherheitsmanagementsystem OMF70 (TOPSIS 700) gekoppelt. Der zugehörige Hauptrechner befindet sich im Elektronikraum ZE02.11.

**Tab. 3-12:** Meldeeinrichtungen in ZA03.11 und angrenzenden Räumen

Art der Meldeeinrichtung Bezeichnung	Raum	Bemerkung		
IRM-P 01-17-01	ZA03.11	Tableau 0MF21A		
IRM-P 01-17-02				
IRM-P 01-17-03				
IRM-P 01-17-04				
IRM-P 01-17-05E				
IRM-P 01-18-01				
IRM-P 01-18-02				
IRM-P 01-18-03				
IRM-P 01-18-04				
IRM-P 01-18-05E				
IRM-P 01-19-01			ZA03.19	Tableau 0MF22A
IRM-P 01-19-02				
IRM-P 01-19-03				
IRM-P 01-19-04E				
IRM-P 01-20-01				
IRM-P 01-20-02				
IRM-P 01-20-03				
IRM-P 01-20-04E				
IRM-P 01-21-01				
IRM-P 01-22-02				
IRM-P 01-23-03E				
Parallelanzeige für Brandmelder 0MF22A	ZA03.11	11 Melder aus ZA03.11 und ZA03.19		
Parallelanzeige für Brandmelder 0MF21A	ZA03.03B	10 Melder aus ZA03.11		
Unterverteiler Brandmeldeanlage 0MF35X254	ZA03.11	unter Rohrleitungsbühne (Lage bei 0°)		
Unterverteiler Brandmeldeanlage 0MF35X257	ZA03.11	unter Rohrleitungsbühne (Lage bei 0°)		

Die Stromversorgung der Einrichtungen von 0MF70 erfolgt über Netzeinspeisungen, die über unterbrechungsfreie Stromversorgungsgeräte mit interner Batterie für ca. 15 Minuten gepuffert sind. Bei Nichtverfügbarkeit von 0MF70 kann die Meldungsbearbeitung auch direkt am Bedienfeld des Meldeschrankes 0MF88/1 erfolgen. Das Zu- und Abschalten von Meldergruppen sowie Störungen mit Systemausfall werden im Brand-

meldeanlagenbuch auf der Warte vermerkt (Warten- und Schichtordnung). Prinzipiell werden auch im Nichtleistungsbetrieb keine Meldergruppen abgeschaltet. Auch bei der Ausgabe von Brandschutzscheinen bei Heißarbeiten wird nur bekannt gegeben, dass Heißarbeiten stattfinden. Die Melder bleiben scharf bis zum Ansprechen der Melder. Dann erfolgt erst nach Beendigung der Heißarbeiten eine Rückschaltung. Generell gibt es eine Prozedur, die besagt, dass täglich um 20.00 Uhr abgeschaltete Meldergruppen zurückzuschalten sind.

- Brandbekämpfung

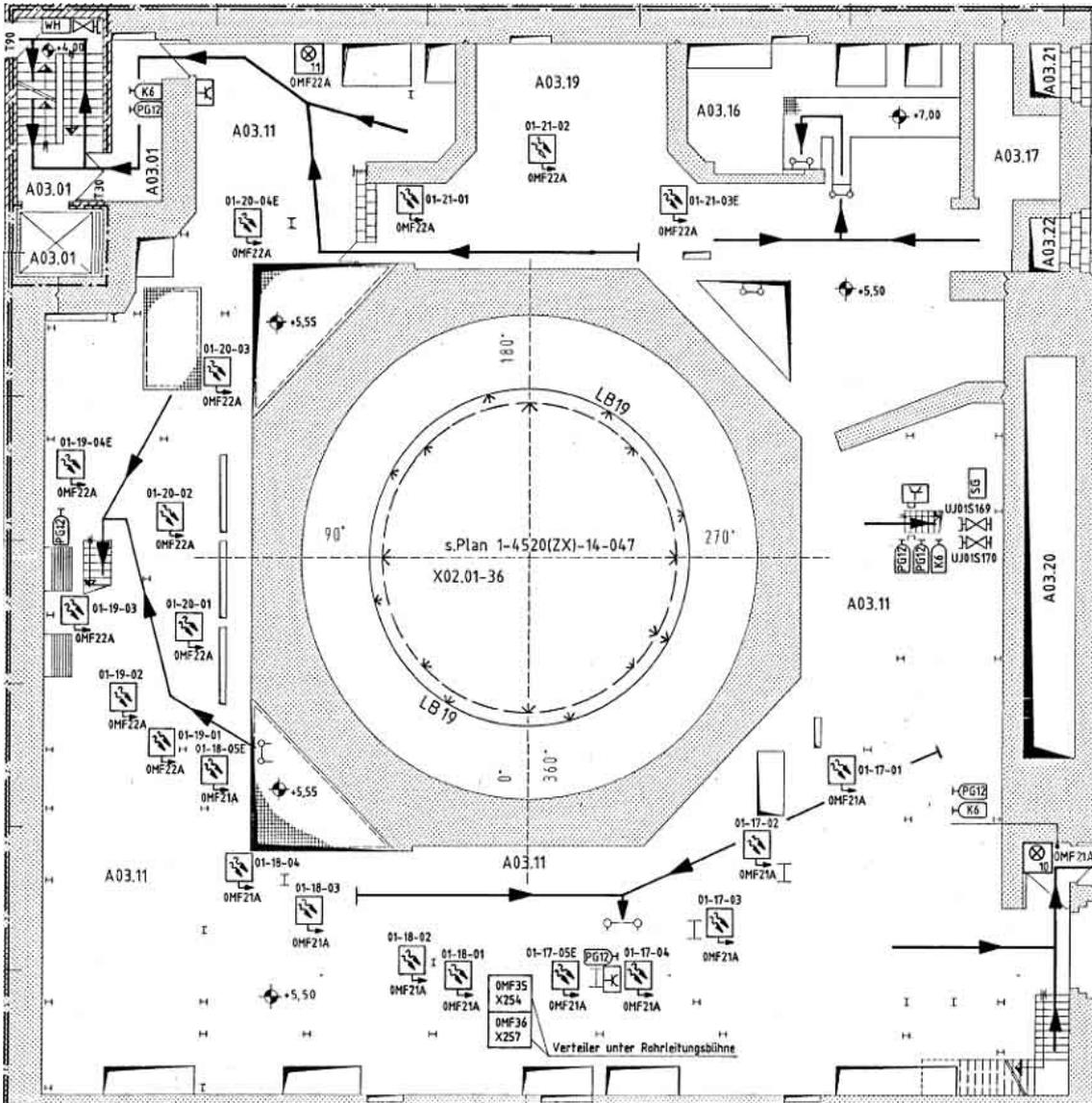
Im Raum ZA03.11 befinden sich 5 Pulverlöscher zu je 12 kg und 2 Kohlendioxidlöscher zu je 6 kg (zum Standort der Lscher vgl. Abb. 3-16). Ein weiterer 12 kg – Pulverlöscher und ein 6 kg – Kohlendioxidlöscher befinden sich im Raum ZA03.01C.

Im Raum befinden sich zwei C-Schlauchanschlussventile UJ01S169, UJ01S170 (beide bei ca. 270°) neben einem Schlauch- und Geräteschrank. Im Treppenhaus ZA03.01A befindet sich auf der Höhenkote + 4,00 m ein Wandhydrant.

Es gibt keine Brandschutzklappen in ZA03.11 (Beschreibung der Brandmeldeanlage in /ENB 03, Teil C8.14/). Es gibt keine automatische Absperrung von Zu- und Abluft im Brandfall.

Zugangswege zum Brandraum ZA03.11:

- Zugang von der Warte ZE03.22  
verläuft über ZE03.05 zum Treppenhaus ZE03.33. In Ebene 1 hat man durch das BWS-Gebäude Zugang zum Treppenhaus ZA\*\*.01.
- Zugang für Feuerwehr und Brandlufer  
ist über die Treppenhäuser ZA03.01 und ZA03.02 möglich. Von ZA03.01 hat man direkten Zugang zu ZA03.11, von ZA03.02 muss zuvor noch ZA03.03 durchquert werden. Das Treppenhaus ZA\*\*.01 erreicht man über das BWS-Gebäude ZD/ZE (Freigelände → ZE01.33 → ZD01.22 → ZD01.02 → ZD01.01 → ZA02.01 - Treppenhaus). Das Treppenhaus ZA\*\*.02 erreicht man über den Aueneingang zum USUS-Gebäude ZV (Freigelände → ZV02.09 → ZV02.05 – Schleuse → ZA02.02 – Treppenhaus).



**Abb. 3-16:** Brandschutz- und Fluchtwegeplan ZA03.11

### 3.4.2 Brandsimulation in ZA03.11

Für den Nichtleistungsbetrieb wurde ein Brand im Raum ZA03.11 im Koordinatenbereich H23 bis H25 (Abb. 3-17) angenommen. Dabei wurden zwei Fälle unterschieden:

- Brand an der seitlichen Wand zwischen Koordinate H23 und H24. In diesem Bereich befindet sich eine horizontale Trasse auf Höhe 7,07 m und eine vertikale Trasse an der Wand.

- Brand an der seitlichen Wand im Bereich H25. Hier befinden sich bis zu 5 unbeschichtete Trassen und vertikale Trassen (Abb. 3-18). Allerdings befindet sich dieser Bereich eher am Rand des angenommenen Arbeitsbereichs, so dass hier die Eintrittswahrscheinlichkeit niedriger ist.

Da sich keine besonderen Zündquellen in diesem Raumbereich befinden, wird zu Beginn eine zusätzliche Brandlast von 10 kg Lösungsmittel (Arbeitsmittel), welche sich über 2 m<sup>2</sup> verteilen und sich entzünden, angenommen.

Das hier betrachtete sicherheitsrelevante Target befindet sich im Bereich (J'-L',27-28) in einer mittleren Höhe von 7,25 m. Hierbei handelt es sich um eine elektrische Zuleitung zu einer Komponente.

#### **3.4.2.1 Nodalisierung**

Basis des COCOSYS Eingabedatensatzes ist ein Datensatz, welcher für thermo-hydraulische Analysen im Sicherheitsbehälter, im Reaktorgebäude und Maschinenhaus verwendet wird /BAR 03/, /KLE 00/. Das Reaktorgebäude wurde dabei in der betrachteten Ebene zwischen 5,5 m und 9,0 m und den darüber liegenden Ebenen in 5 Zonen (Kontrollvolumina) mit den Namen R41, R42, R43, R44 sowie R40 eingeteilt. Der angenommene Brand beginnt dabei in R41, das Target befindet sich in R43. Diese Nodalisierung ist für Brandanalysen zu grob. Daher wurden die Kontrollvolumina weiter aufgeteilt. Die Zonen R41 bis R44 wurden in 10 Ebenen aufgeteilt, die Zone R40 in zwei Ebenen. Tab. 3-13 enthält eine Einteilung des Reaktorgebäudes über der Höhe.

In der Höhe 11,2 bis 12,2 m befindet sich im Brandsektor teilweise eine Zwischendecke, welche aufsteigende Rauchgase in den mittleren Bereich ablenkt. Daher wurden für die Ebenen A bis E die Zonen R41 und R43 entsprechend der Abb. 3-17 weiter entlang der Kabeltrassen an der Wand unterteilt. Die Ebene R41A wurde somit in den Zonen R41A1 bis R41A8 sowie der verbliebenen Zone R41A unterteilt. Da sich möglicherweise der Brand weiter in Richtung R43 ausbreiten kann, wurde die Zone R43A in R43A1 und der verbliebenen Zone R43A unterteilt. Entsprechend wurde mit den anderen Ebenen B bis E verfahren. Angepasst wurden die Verbindungen und die Wandstrukturen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Flächen und Querschnitte anteilig bzw. zum Teil geschätzt (z.B. für innere Stahloberflächen, wie Rohrleitungen) auf die einzelnen Zonen verteilt wurden. Die Gesamtflächen und Querschnitte wurden

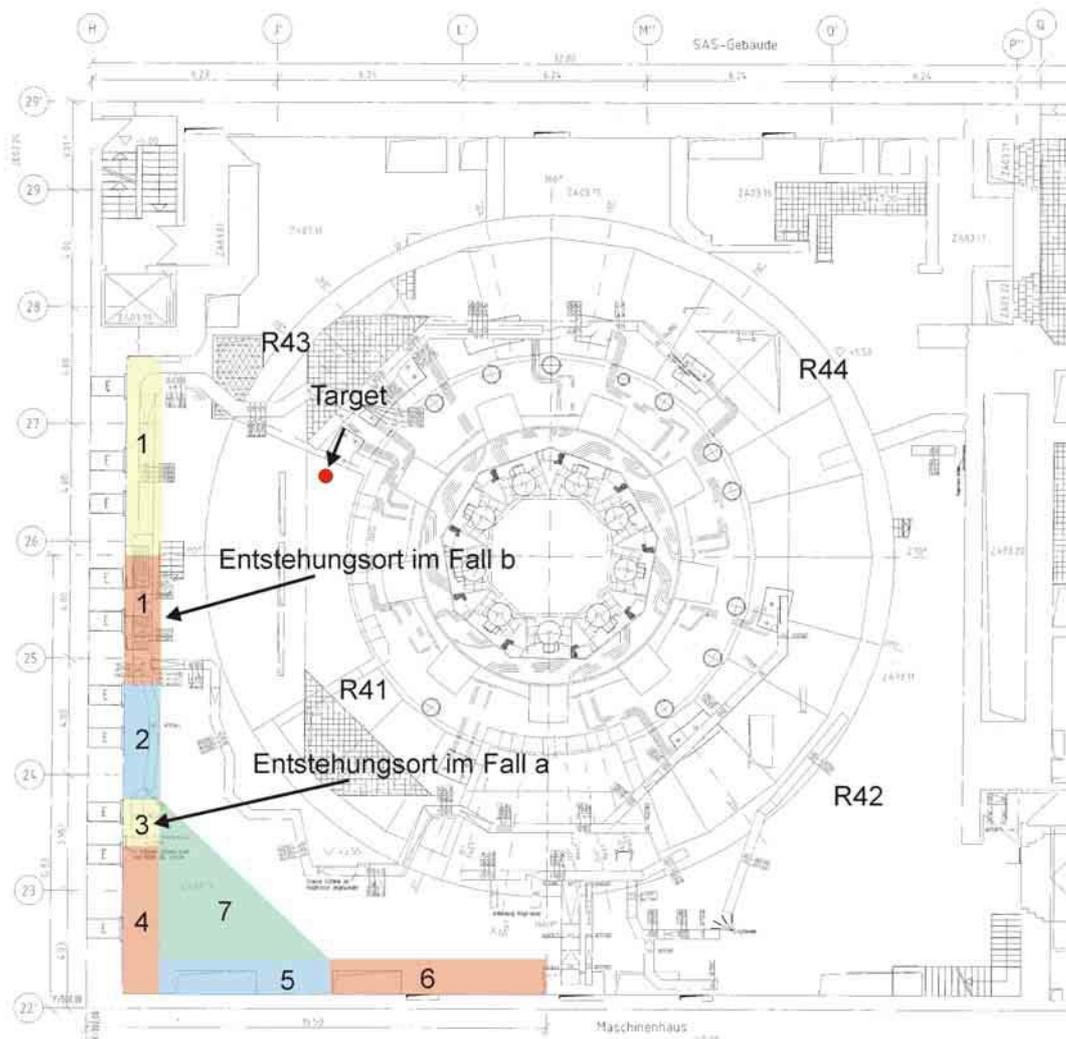
dabei weitgehend beibehalten. Der Datensatz wurde dabei auf Plausibilität überprüft. Unstimmigkeiten wurden dem Betreuer des Originaldatensatzes mitgeteilt.

Während des Brandes werden ca. 30 % der freiwerdenden Energie durch Strahlung abgegeben. In dem Datensatz wurden die zur Berechnung der Strahlungswechselwirkung notwendigen Viewfaktoren nur vereinfacht vorgegeben. Berechnet wurde der Viewfaktor in Richtung des Targets, welcher mit  $0,33 \text{ E-}04$  berechnet wurde. Dabei wurde angenommen, dass das Target vom Brandherd aus gesehen frei sichtbar ist. Dies ist eine konservative Annahme, da sich erhebliche Mengen innerer Strukturen (wie Rohrleitungen) in dieser Ebene befinden.

Als Target wurde ein 1 m langes PVC-Leistungskabel angenommen. Entsprechend dem Volumenverhältnis wurde das Kabel als Zylinder mit innerem Kupferkern und einem äußeren PVC-Mantel simuliert.

**Tab. 3-13:** Einteilung des Reaktorgebäudes über der Höhe

Zonenname	Höhe der Bodenfläche [m]
R41A	5.50
R41B	6.67
R41C	7.84
R41D	9.00
R41E	10.10
R41F	11.20
R41G	12.20
R41H	14.20
R41I	17.20
R41J	20.00
R40A	23.00
R40B	26.80



**Abb. 3-17:** Nodalisierung der Ebene 5.5 m im Reaktorgebäude der Referenzanlage

- Brandentstehung

Besondere Komponenten, welche zur Brandentstehung beitragen, befinden sich nicht in den betrachteten Bereichen. Daher wurde angenommen, dass sich durch Arbeiten ca. 10 kg Lösungsmittel auf eine Fläche von 2 m<sup>2</sup> ausbreiten und entzünden. Als Lösungsmittel wird chemisch gesehen Heptan C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> angenommen (beeinflusst den Sauerstoffverbrauch) mit einer Energiefreisetzung von 42,8 MJ/kg. Die Abbrandrate wurde aus Versuchen am iBMB mit 0,075 kg/s abgeschätzt. Daraus folgt eine Branddauer von ca. 66 s mit einem Energieeintrag von 6,42 MW.

Es wird angenommen, dass alle Kabel im Bereich der Brandentstehung nach 10 s brennen.



**Abb. 3-18:** Entstehungsort des Brandes im Fall b

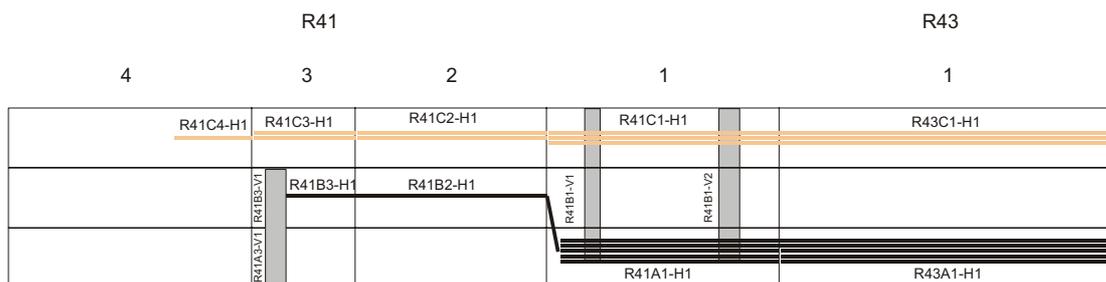
### 3.4.2.2 Simulation des Kabelbrandes

Der Kabelbrand wird mit dem "einfachen" Kabelbrandmodell /KLE 01/ simuliert. Als Eingabedaten werden die Trassenlänge, Trassenbreite und die Flächendichte der brennbaren Kabelmasse benötigt. Da diese Dichte nicht vorliegt, wurde aus der bekannten Gesamtbrandlast von  $90 \text{ MJ/m}^2 \times 475 \text{ m}^2 = 42750 \text{ MJ}$  und der abgeschätzten Gesamtlänge von 476 m und einer mittleren Breite der Trassen 0,45 m (aus Trassenplänen) eine Dichte von ca.  $11 \text{ kg/m}^2$  PVC abgeschätzt. Dieser Wert liegt im Bereich der in der realmaßstäblichen Kabelbrandversuchsserie am HDR (Heißdampfreaktor) E42 verwendeten Dichten zwischen  $7$  und  $15 \text{ kg/m}^2$ .

Im Reaktorgebäude ZA der Referenzanlage befinden sich sowohl mit Dämmschichtbildner beschichtete PVC-Kabel als auch unbeschichtete Kabel. Die Simulation der beschichteten Kabel ist mit dem "einfachen" Modell schwierig, da von einer Flammenausbreitung ausgegangen wird. Diese tritt entsprechend der aktuell im Rahmen des Vorhabens SR 2418 durchgeführten Kabelbrandversuche /HOS 04/ aber

nicht auf. Weiterhin ist ein Energieeintrag von ca. 1 MW erforderlich, um die beschichteten Trassen überhaupt zu zünden. In der Rechnung wird vereinfacht die Reaktionsrate und die Ausbreitung um einen Faktor 10 reduziert. Diese pauschale Reduktion führt hinsichtlich der Pyrolyserate auf jeden Fall zu konservativen Ergebnissen.

Weiterhin wurden übereinander liegende Trassen zusammengefasst. In Abb. 3-19 sind die im COCOSYS Datensatz erfassten Kabeltrassen entlang der Wand (Koordinate H) dargestellt. Die orangefarbenen Linien stellen beschichtete Kabeltrassen dar.



**Abb. 3-19:** Darstellung der Kabeltrassen im COCOSYS Datensatz

### 3.4.2.2.1 Ergebnisse Fall a

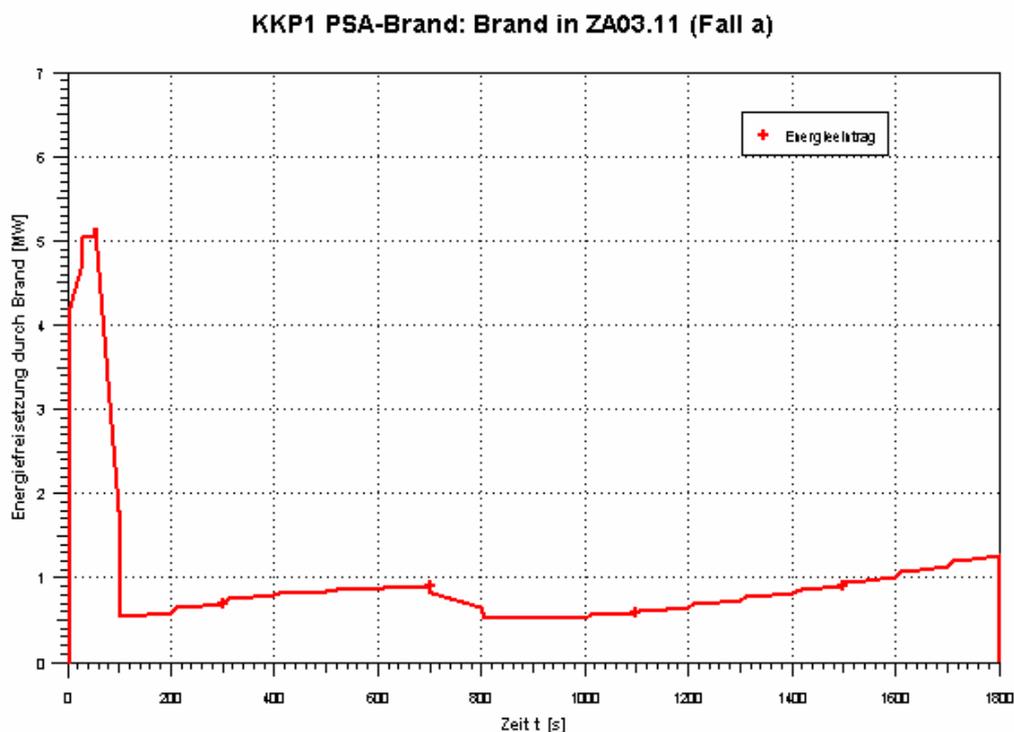
Im Folgenden werden die Ergebnisse der Rechnung zum Fall a diskutiert. Der betrachtete Brand findet in einem sehr großen Volumen von ca. 8500 m<sup>3</sup> statt. Daher tritt in dem hier betrachteten Zeitbereich kein nennenswerter Sauerstoffmangel auf. Ebenso können die heißen Rauchgase nahezu ungehindert nach oben aufsteigen. Die Temperaturbelastung des hier betrachteten Targets ist also in erster Linie durch die direkte Strahlungswirkung bedingt.

In dem hier aufgestellten Datensatz werden die Strukturmaterialien der Trassen und Kabel nicht berücksichtigt. Auch die Strahlungswechselwirkung (direkte Wärmeabgabe der leuchtenden Flamme) an die umgebenen Strukturen wird vernachlässigt. Dies führt dazu, dass die Raumtemperaturen tendenziell überschätzt werden. Weiterhin werden diese für die Flammenausbreitung verwendet, welche dann dadurch auch konservativ überschätzt wird.

Abb. 3-20 zeigt die berechnete Energiefreisetzung. Der Peak zu Beginn ist durch das Lösungsmittel bedingt, welches aber nach kurzer Zeit verbraucht ist. Danach beginnen

die Trassen langsam zu brennen. Die Energiefreisetzung beträgt über den gesamten betrachteten Zeitraum ca. 1 MW. Diese Menge ist aber nötig um überhaupt beschichtete Kabel zu entzünden.

Abb. 3-21 zeigt die berechneten Plume-Temperaturen oberhalb der Zündposition. Diese steigen auf maximal ca. 800 °C an und fallen dann sehr stark auf ca. 200 °C ab. Zu berücksichtigen ist, dass das COCOSYS Programm kein spezielles Plume-Modell besitzt. Daher werden mittlere Raumtemperaturen berechnet, welche im großen Maße von der verwendeten Zonengröße (Nodalisierung) abhängt. Zu diesem Zeitpunkt können lokal die Temperaturen deutlich höher sein. Der integrale Energieeintrag, welcher für die Temperaturbelastung des Targets von Bedeutung ist, wird aber richtig berücksichtigt. Der Temperatursprung (rote und blaue Linien) ist durch die dort vorhandene Zwischendecke bedingt. Die Temperaturen unterhalb der Zwischendecke sind abgesehen in der Nähe des Plumes relativ moderat (Abb. 3-22), wobei ein Funktionsausfall einzelner Kabel nicht ausgeschlossen ist. Abb. 3-23 zeigt die berechneten Raumtemperaturen entlang der Wand in Höhe der Kabeltrassen. Diese nehmen mit der Entfernung von der Zündposition stetig ab.



**Abb. 3-20:** Energiefreisetzung durch Lösungsmittel und Kabelbrand

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall a)

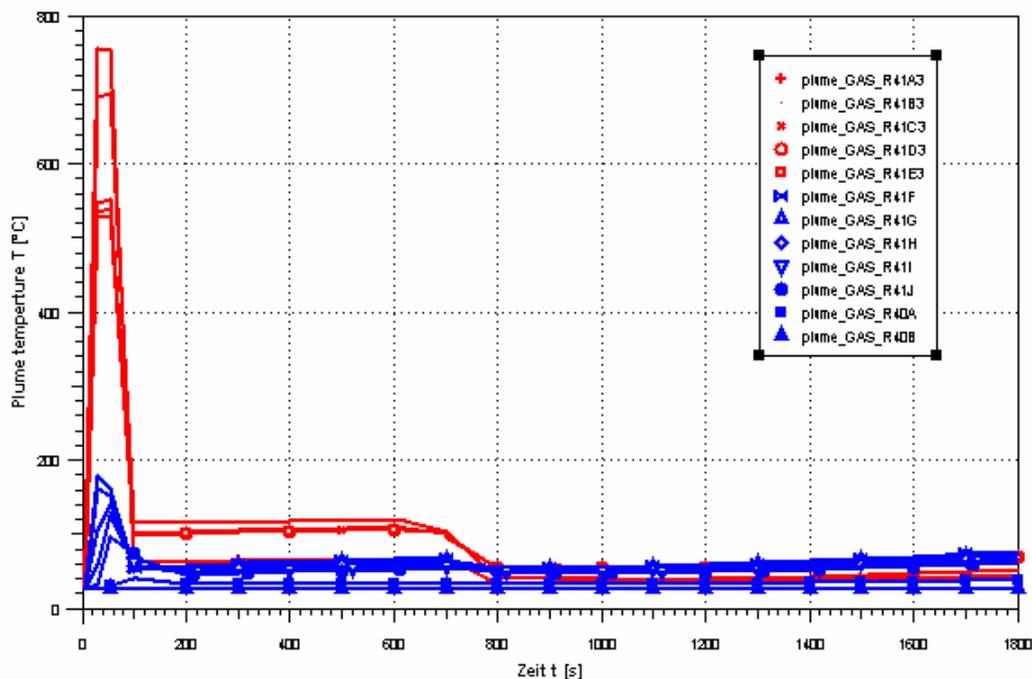


Abb. 3-21: Plume-Temperaturen oberhalb der Zündposition

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall a)

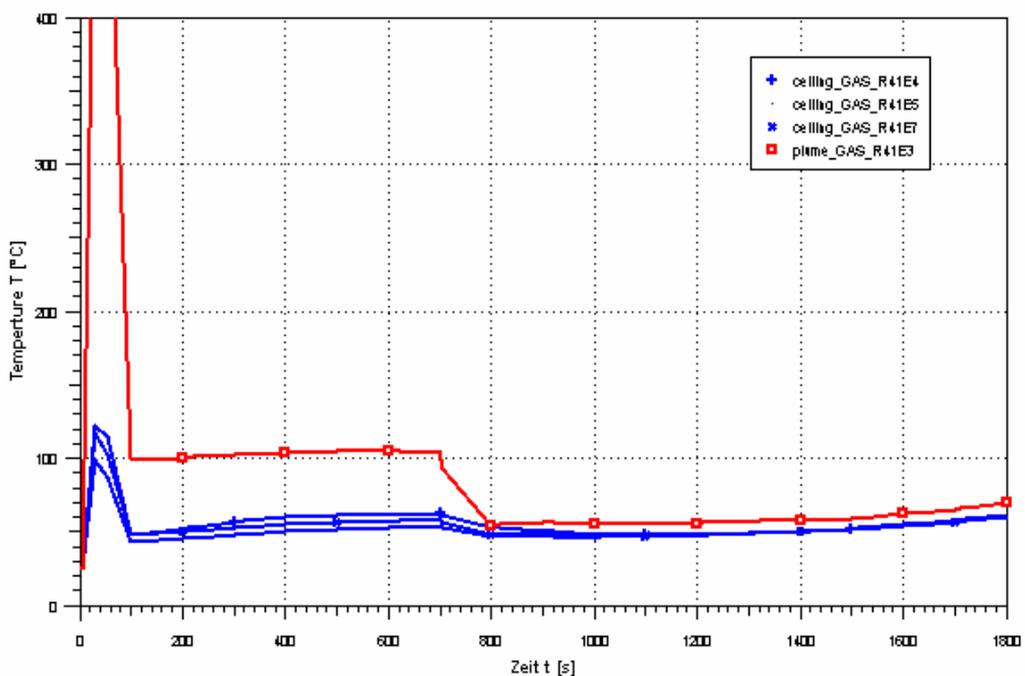


Abb. 3-22: Raumtemperaturen unterhalb der Zwischendecke

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall a)

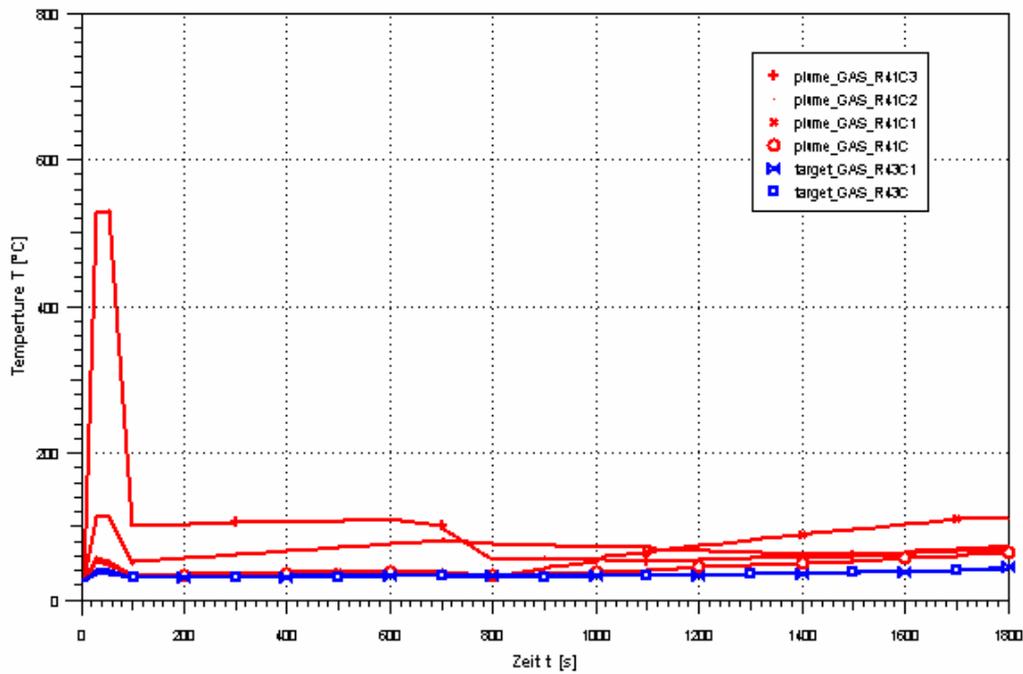


Abb. 3-23: Raumtemperatur entlang der Kabeltrasse auf ca. 7m

Von sicherheitstechnischer Bedeutung ist das Temperaturverhalten des Targets sowie dessen Umgebung. Abb. 3-24 zeigt, dass die Temperaturen nicht wesentlich steigen. Eine Schädigung innerhalb der ersten halben Stunde (auch unter Berücksichtigung der konservativen Annahmen) ist damit praktisch ausgeschlossen.

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall a)

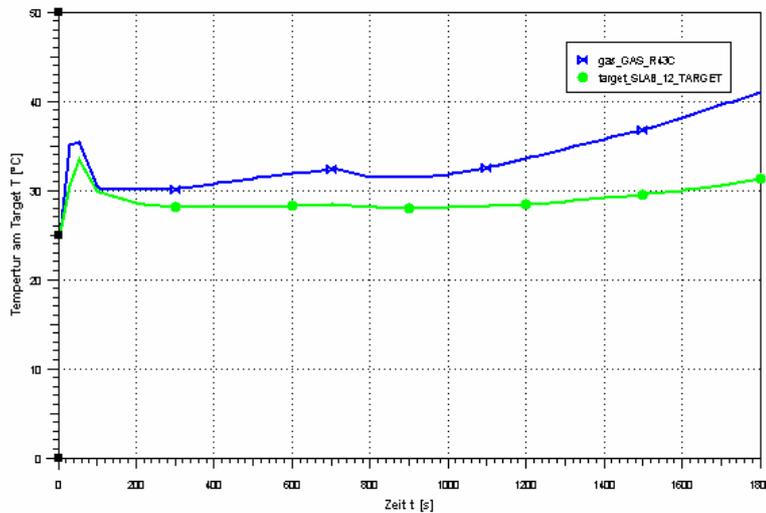
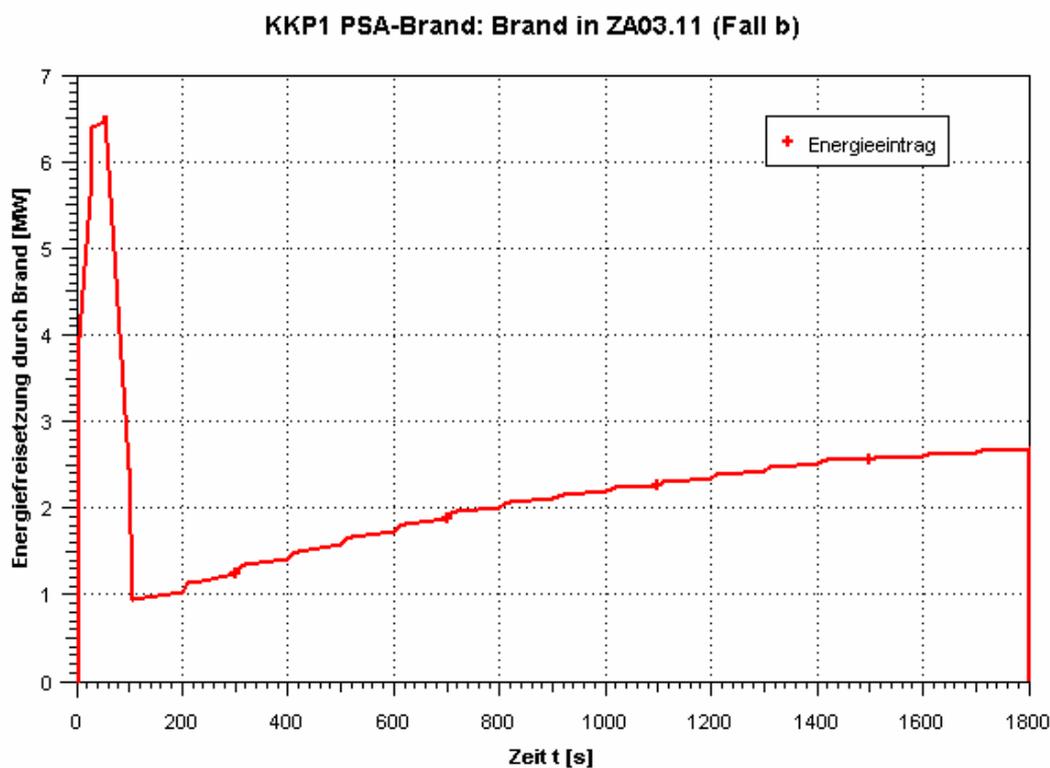


Abb. 3-24: Raum- und Targetoberflächentemperatur

### 3.4.2.2 Ergebnisse Fall b

In diesem Fall wurde die Zündposition etwas verlagert. Damit werden nun durch das Lösungsmittel direkt mehr Kabeltrassen entzündet. Allerdings ist aber die Wahrscheinlichkeit für dieses Szenario geringer. Der Energieeintrag (Abb. 3-25) ist etwa um das Zweieinhalbfache höher als im Fall a. Die Temperaturen nahe der Zündposition bewegen sich im ähnlichen Bereich wie Fall a. Hier ist allerdings zu beachten, dass die Volumina der entsprechenden Plume-Zonen (siehe Abb. 3-26) im Fall b größer gewählt wurden und damit die mittleren Temperaturen vergleichsweise niedriger gerechnet werden. Die berechneten Target-Temperaturen (Abb. 3-27) sind etwas höher, erreichen aber im Zeitbereich bis 1800 s noch keine kritischen Werte. Ebenso ist zu beachten, dass der Energieeintrag in die Atmosphäre konservativ modelliert ist, so dass die berechneten Target-Temperaturen eine obere Abschätzung darstellen.



**Abb. 3-25:** Energiefreisetzung durch Lösungsmittel und Kabelbrand (Fall b)

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall b)

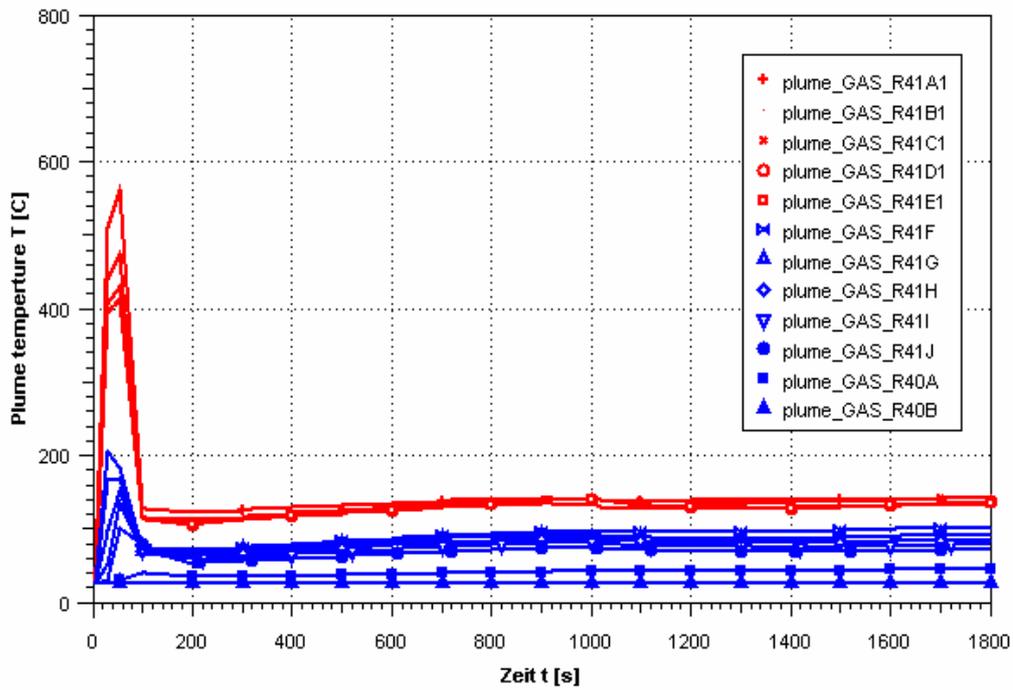


Abb. 3-26: Plume-Temperaturen oberhalb der Zündposition

KKP1 PSA-Brand: Brand in ZA03.11 (Fall b)

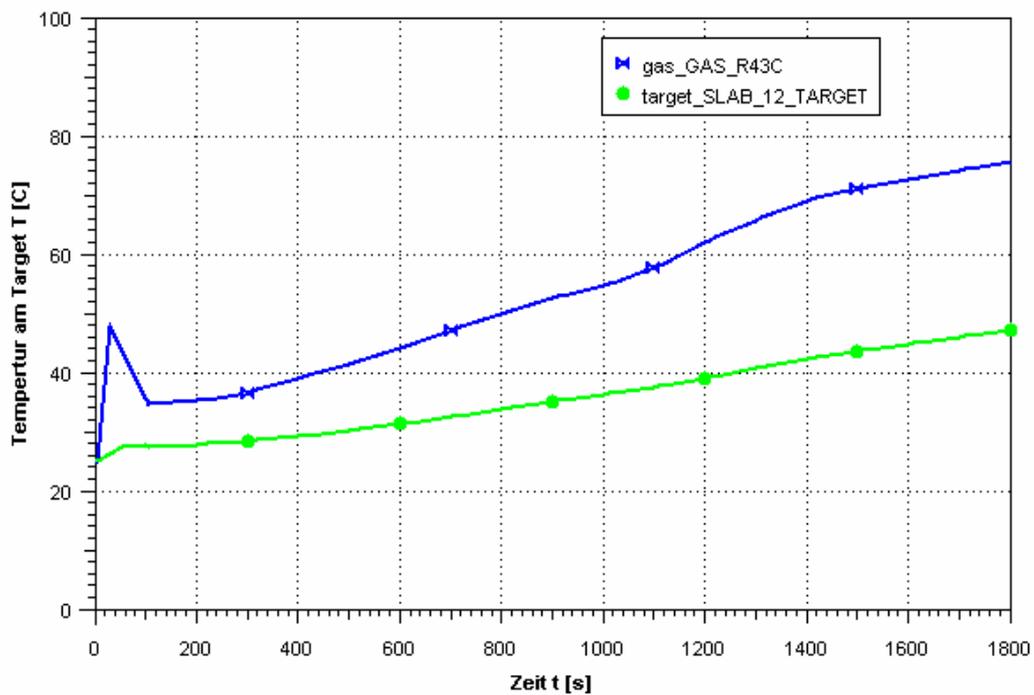


Abb. 3-27: Raum- und Targetoberflächentemperatur

### 3.4.3 Brandeintrittshäufigkeit ZA03.11

Es ist die Brandeintrittshäufigkeit im Raum ZA03.11 während des Nichtleistungsbetriebs zu bestimmen. Dabei wird von folgenden Annahmen und Kenntnissen ausgegangen:

#### a) Generische Angaben zu Brandeintrittshäufigkeiten im Nichtleistungsbetrieb

- Eine Auswertung von Brandereignissen in US-amerikanischen Kernkraftwerken /GIL 98/ ergab für Brände im Reaktorgebäude, die während der An-, Abfahr- und Stillstandszeiten auftraten, eine mittlere Brandeintrittshäufigkeit von  $8,4 \text{ E-}03/\text{a}$ .
- Für eine Auswertung der französischen Betriebserfahrung über einen längeren Zeitraum (1975 bis 1994) /ROE 02/ wurden während des Nichtleistungsbetriebes 31 durch Instandhaltungsarbeiten verursachte Brände gemeldet. Das ergibt eine mittlere Brandeintrittshäufigkeit von  $6,1 \text{ E-}02/\text{a}$  für ein französisches Kernkraftwerk.
- Durch Schweißarbeiten hervorgerufene Kabelbrände in einem Kernkraftwerk werden in FIVE<sup>®</sup> mit  $3,1 \text{ E-}02/\text{a}$  bewertet (Wert aus /KUL 03/).

Das Problem bei der Nutzung generischer Daten besteht vor allem darin, dass die Erhebungsbedingungen zur Ableitung der statistischen Kenngrößen nicht oder nur unzureichend bekannt sind. Es ist z.B. für alle oben genannten generischen Eintrittshäufigkeiten nicht spezifiziert, welche Art von Bränden zur statistischen Auswertung herangezogen wurden. Ebenso ist nicht klar, für welche Kraftwerksbereiche die Statistiken geführt wurden. Der Aufbau von Datenbanken zur Ableitung statistischer Größen für seltene Ereignisse in internationaler Zusammenarbeit ist eine Voraussetzung zur sinnvollen Nutzung generischer Daten. Im Rahmen des internationalen Projektes der OECD/NEA/CSNI "OECD-FIRE" (International Fire Data Exchange Project) werden gegenwärtig die Grundlagen für eine Datenbank zu Brandereignissen geschaffen. Solange diese Datenbank und damit die Möglichkeit einer standardisierten Auswertung noch nicht zur Verfügung steht, wird bei der Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit in ZA03.11 auf die Verwendung generischer Daten verzichtet. Die obigen Angaben können nur zu Vergleichszwecken genutzt werden.

- b) Bei der Bestimmung anlagenspezifischer Brandeintrittshäufigkeiten für einzelne Räume zur Verwendung in Detailanalysen sollten Bottom-Up-Verfahren genutzt werden /ROE 02/. Dabei ist dann für jedes im Raum anzunehmende Brandszenario (bestimmt durch Brandgut und Zündmöglichkeit) die entsprechende jährliche Eintrittshäufigkeit zu bestimmen. Die einzelnen Häufigkeiten für die Brandszenarien im Raum sind zu addieren. Im vorliegenden Fall (ZA03.11; Nichtleistungsbetrieb) wird davon ausgegangen, dass die Brandeintrittshäufigkeit ausschließlich von Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten bestimmt wird.
- c) Im Nichtleistungsbetrieb werden vielfältige Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere solche Arbeiten, für die neben der Arbeitserlaubnis auch ein Brandschutzschein vorliegen muss, die Brandeintrittshäufigkeit im Nichtleistungsbetrieb prägen (siehe auch nachfolgende Zitate aus der Brandschutzordnung). Dazu wird die Liste der Arbeitsaufträge ausgewertet (siehe Punkt e).

Aus der Brandschutzordnung /ENB 03b/:

Die Lagerung und Handhabung von brennbaren Stoffen (Heiz- und Schmieröle, Fette, Lösungsmittel, brennbare Gase, Lacke, Kleber usw.) darf nur unter Beachtung der einschlägigen Bestimmungen und nach Einholung einer Arbeitserlaubnis durchgeführt werden (/ENB 03, A.1.3 Instandhaltungsordnung).

Arbeiten mit offenem Feuer sowie Schweiß- und Schleifarbeiten sind entsprechend der Instandhaltungsordnung vor Arbeitsbeginn schriftlich zu genehmigen. Erforderliche Sicherheitsmaßnahmen sind in dieser Arbeitsgenehmigung aufzuführen. Die Durchführung von Schweißarbeiten in der unmittelbaren Nähe feuergefährlicher Objekte ist grundsätzlich untersagt. Bei Schweißarbeiten in der Höhe, über Gitterrosten oder an offenen Bühnen sind unter den Schweißstellen feuerhemmende Abdeckungen anzubringen, welche eine Gefährdung durch Funken und Schweißperlen ausschließen.

- d) Anlagenspezifische Modifizierungen

Für der Referenzanlage ähnliche Anlagen der Baulinie 69 stehen in Deutschland 96 Betriebsjahre Erfahrung zur Verfügung (Stand 2003, siehe auch Abschnitt 3.2.1.2). Für den Nichtleistungsbetrieb wurde ein Ereignis gemeldet (KKB, 23.11.1978). In 24 Betriebsjahren der Referenzanlage wurden für den Nichtleistungsbetrieb keine Brände gemeldet.

Unter der Annahme von nichtinformativem a-priori-Wissen ergibt sich als Erwartungswert für die jährliche Anzahl von in der Referenzanlage auftretenden

Brandereignissen  $f_{EW} = 2,00 \text{ E-}02/a$  mit den zugehörigen Fraktilwerten  $f_{0,05} = 7,79 \text{ E-}04/a$ ,  $f_{0,50} = 8,92 \text{ E-}02/a$  und  $f_{0,95} = 7,68 \text{ E-}01/a$  (siehe Tab. 3-5 und Tab. 3-6 ).

e) Auswertung der Liste der Arbeitsaufträge

Zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit in ZA03.11 werden folgende, mit ZA03.11 zusammenhängende Räume zu einem Raumbereich {ZA03.11} zusammengefasst (Räume sind etagenweise angeordnet):

ZA08.04

ZA07.03

ZA04.02

ZA03.01, ZA03.03, **ZA03.11**, ZA03.17, ZA03.19

ZA02.06, ZA02.08, ZA02.10, ZA02.22, ZA02.23, ZA02.24, ZA02.28, ZA02.29.

**Tab. 3-14:** Auswertung der Liste der Arbeitsaufträge während der Revisionen

Jahr	Anzahl ausgestellter Brandschutzscheine			Anteil #{ZA03.11}/#ges.
	gesamt <sup>22</sup>	ZA	{ZA03.11} <sup>23</sup>	
2003	98 (105)	19	5 (0)	0,051
2002	80 (89)	22	10 (4)	0,125
2001	81 (87)	24	8 (3)	0,098
2000	108 (115)	29	14 (6)	0,130
1999	135 (159)	56	37 (13)	0,274
1998	112 (123)	22	8 (3)	0,071
1997	359 (383)	199	153 (128)	0,426
1996	143 (153)	53	39 (16)	0,272
1995	235 (261)	73	27 (8)	0,115
1994	229 (252)	63	29 (15)	0,127
1993	352	120	64 (44)	0,182

Bei dieser Raummenge wird konservativ davon ausgegangen, dass es bei dortigen Heißarbeiten zur Brandentstehung bzw. -fortsetzung in ZA03.11 kommen kann. Bei der Auswertung der Arbeitsaufträge wurde beachtet, dass unter den dort

<sup>22</sup> Pro Arbeitsauftrag sind manchmal mehrere Brandschutzscheine erforderlich. In Klammern ist die Anzahl der Brandschutzscheine angegeben.

<sup>23</sup> In Klammern: Anzahl der Scheine nur für ZA03.11

aufgelisteten Räumen auch solche sind, die nur zum Erreichen des eigentlichen Arbeitsraums durchquert werden müssen. Ist unter diesen Räumen ein Raum aus {ZA03.11} wurde der entsprechende Brandschutzschein in die Auswertung einbezogen.

Im Jahr 1997 wurden umfangreiche Arbeiten im Reaktorgebäude und speziell in ZA03.11 durchgeführt. Der mittlere Anteil von brandschutztechnisch relevanten Arbeiten im Raumbereich um ZA03.11 während Revisionsarbeiten im Nichtleistungsbetrieb ergibt sich zu 0,175, wenn 1997 als Ausreißer aus der Statistik entfernt wird und eine Gleichverteilung der Anteilswerte zwischen 0,05 und 0,3 angenommen wird.

- f) Eintrittshäufigkeit für Brände im Raum ZA03.11 während des Nichtleistungsbetriebs. Die mittlere Eintrittshäufigkeit von (meldepflichtigen) Bränden in der Referenzanlage ist bekannt (vgl. Punkt d). Es wird davon ausgegangen, dass Brände im Nichtleistungsbetrieb durch Arbeiten hervorgerufen werden, die einen Brandschutzschein erfordern. Aus dieser Annahme, ergibt sich aus der Auswertung der Liste der Arbeitsaufträge als mittlerer Anteil 0,175 für den Raumbereich {ZA03.11} und damit die mittlere Eintrittshäufigkeit eines Brandes in diesem Bereich bei Nichtleistungsbetrieb:

$$f_{EW, ZA03.11} = 0,175 * 2,00 E-02/a = 3,50 E-03/a$$

- g) Unsicherheiten

Die Häufigkeit  $f$  der Brände während des Nichtleistungsbetriebes in der Referenzanlage genügt entsprechend den Annahmen der Schätzung einer Betaverteilung (siehe Abschnitt 3.2.1.2):

$$f \sim \text{Beta}(a,b) \text{ mit } a = 0,5 \text{ und } b = 24,5.$$

Die Kenntnis zum Anteil der Arbeiten mit Brandschutzschein  $ant$  im Raumbereich {ZA03.11} genügt einer angenommenen Gleichverteilung (siehe Punkt e):

$ant \sim U(c,d)$  mit  $c = (0,05; 0,3)$ . Die Häufigkeit  $f_{ZA03.11}$  für Brände während des Nichtleistungsbetriebes in ZA03.11 genügt dann folgender Verteilung:

$$f_{ZA03.11} \sim \text{Beta}(a,b) * U(c,d).$$

#### **3.4.4 Aufstellung und Quantifizierung eines brandspezifischen Ereignisablaufs in ZA03.11**

Die durchgeführten Brandsimulationsrechnungen machen deutlich, dass kurzfristig nur solche Komponenten gefährdet werden können, die sich direkt am Brandentstehungsort befinden. Nur dort entwickelt sich aufgrund des angenommenen Lösungsmittelbrandes kurzfristig eine Temperatur, die zum Ausfall der kritischen Komponenten (vgl. Abschnitt 3.4.5) führen kann. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, einen brandspezifischen Ereignisablauf abzuleiten. Durch Brandmeldung und Brandlöschung kann der Schaden, der in den ersten 100 s des Brandes eintritt, nicht in seiner Wirkung eingeschränkt werden. Die Brandeintrittshäufigkeit von  $3,50 \text{ E-}03/\text{a}$  kann also mit der Eintrittshäufigkeit des kritischen Brandschadens gleich gesetzt werden. Der Wert ist sehr pessimistisch, da sich die Brandeintrittshäufigkeit auf den gesamten Raum ZA03.11 bezieht, ein kritischer Brandschaden dagegen nur eintritt, wenn der Brand an einem konkreten Ausgangspunkt eintritt.

#### **3.4.5 Systemtechnische Auswirkungen bei einem Brand in ZA03.11**

Ausgehend von dem aktuellen Bearbeitungsstand der PSA für den Nichtleistungsbetrieb, welche aktuell im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2467 erstellt wird, werden wichtige, d.h. entsprechend den Festlegungen in Abschnitt 2.2.7 "PSA-relevante" Komponenten identifiziert, die durch einen Brand im Raum ZA03.11 betroffen sein und deren Systemfunktion beeinträchtigt werden kann. Es werden alle diejenigen Komponenten gefiltert, die sowohl im Fehlerbaumsatz der PSA als auch in der Komponentenliste des Raumes ZA03.11 vorkommen. In Tab 3-15 sind diese Komponenten aufgelistet und den unterschiedlichen Anlagenbetriebsphasen des Nichtleistungsbetriebs (siehe Tab. 2-32) zugeordnet.

Die Analysen zeigen, dass bei allen in der PSA für den Nichtleistungsbetrieb untersuchten Betriebsphasen ein auslösendes Ereignis durch einen im Raum ZA03.11 unterstellten Brand (Entstehungsbrand) nicht zu erwarten ist. Das liegt daran, dass sich in diesem Raum keine "laufenden", also ständig in Betrieb befindlichen Komponenten, wie Pumpen oder Lüfter, sowie keine Komponenten befinden, die durch die Brandauswirkungen ihre Grundstellung (Stellung vor Brandeintritt) verändern.

**Tab. 3-15:** Liste der im PSA-Modell enthaltenen Komponenten aus ZA03.11

Raum / Quadrant	PSA-Komponente		Anlagenbetriebsphase									
			RDB zu			RDB auf			RDB zu			
	AKZ	Bezeichnung	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	4-1
A	Ausfallart	Bezeichnung										
ZA03.11A	RA11S211O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S212O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S213O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S214O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S221O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S222O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S223O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	RA11S261ÖN	div. S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11A	TK02S103O	Druckschieber	x	x	x						x	x
ZA03.11A	TK02S104O	Absperrbares RV	x	x	x						x	x
B												
ZA03.11B	RA21S211O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S212ÖN	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S213O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S214O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S221O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S222O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S223O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA21S261ÖN	div. S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	RA41S227ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x
ZA03.11B	TF22S102C	KOKA-Kühlschieber	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TF22S202C	Mime-Schieber	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TF23S101O	Druckschieber	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TF23S104O	Rückschlagklappe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH21S101 SNNÖ	Abfahrkühlleitung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH21S103 SNNÖ	Abfahrkühlleitung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH21S104 SNNÖ	Abfahrkühlleitung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH23S102 SNNÖ	KOKA-Saugtschieber	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH23S103O	Rückschlagklappe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ZA03.11B	TH26S101ÖN	KOKA-Kühlschieber	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C												
ZA03.11C	RA31S211O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S212O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S213O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S214O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S221O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S222O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11C	RA31S223O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
D												
ZA03.11D	RA31S261ÖN	div. S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S211O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S212O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S213O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S214O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S221O	S+E-Ventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S222O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
ZA03.11D	RA41S223O	S+E-Vorsteuerventil	x	x	x						x	x
nicht zugeordnet												
ZA03.11	RA11S217ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x
ZA03.11	RA21S217ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x
ZA03.11	RA21S227ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x
ZA03.11	RA31S217ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x
ZA03.11	RA41S217ÖN	Offenhalteventil	x	x	x						x	x

Legende:

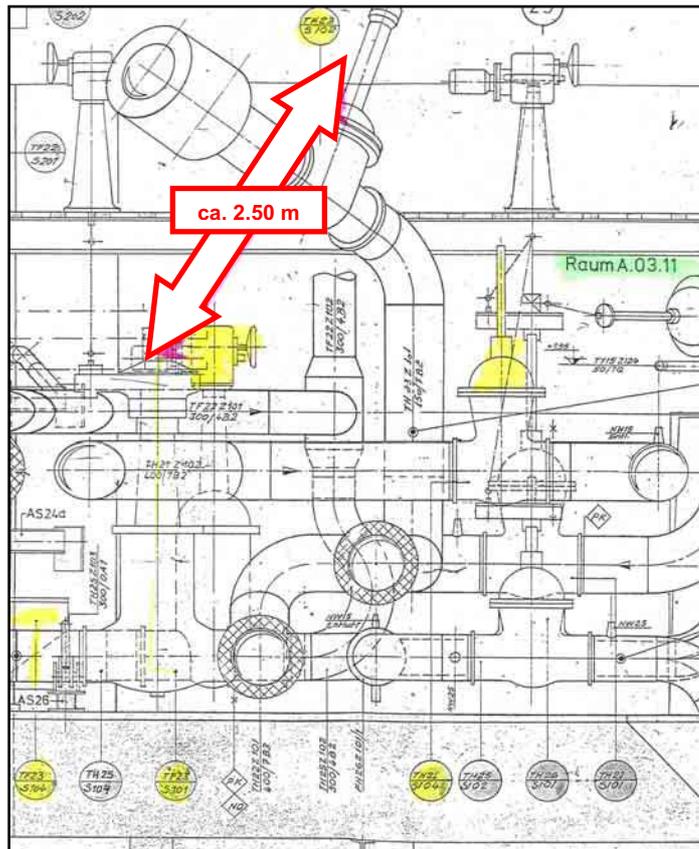
O=ÖN – öffnet nicht, SNNÖ – schließt nicht nach Öffnen, C=SN – schließt nicht

Im untersuchten Fall kann ein Brand lediglich zur Nichtverfügbarkeit einer Komponente des Reservestranges (siehe Tab. 3-15) führen, da keine Fehlansteuerung der manuell angesteuerten Komponenten (Betriebsart "Hand") des in Betrieb befindlichen Stranges durch die Brandauswirkung in dieser Betriebsphase in ZA03.11 unterstellt wird. Dies bedeutet keine direkte Beeinträchtigung der eingestellten Systemfunktion (hier im Wesentlichen die Nachwärmeabfuhr mittels TH-System). Ein brandbedingter Ausfall einer Komponente, die für die Umstellung des Nachwärmeabfuhrsystems (z.B. Umstellung des Ansaugbetriebs von der Frischdampfleitung auf das Flutbecken) während der Revision notwendig ist und damit zum Ausfall der Systemfunktion führt, kann vernachlässigt werden, da die Umschaltzeit im Verhältnis zur gesamten Revisionszeit relativ kurz ist.

Da allein durch Brandauswirkungen in ZA03.11 kein auslösendes Ereignis zu erwarten ist, wird neben dem Brand zusätzlich ein auslösendes Ereignis unterstellt. In der PSA für den Nichtleistungsbetrieb zeigte sich, dass der Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen der Nachkühlpumpe einen relativ hohen Anteil an der Häufigkeit für Kernschadenzustände hat. Deshalb wird dieses auslösende Ereignis mit dem Eintritt eines Brandes verknüpft, um die möglichen Auswirkung des Brandes auf die Störfallbeherrschung untersuchen zu können.

In Abschnitt 3.4.2 wurde ausgeführt, dass nur solche Komponenten gefährdet werden können, die sich in unmittelbarer Nähe des Brandentstehungsortes befinden. Es wurde deshalb im Raum ZA03.11 anhand von Isometrien ein Brandentstehungsort ausgewählt, an dem ein möglichst großer "PSA-relevanter" Schaden entsteht. Der ausgewählte Ort liegt im Quadrant B auf Höhe von ca. 8,00 m. Dort befinden sich die Armaturen TH23S102 und TF23S101 unmittelbar nebeneinander (Abb. 3-28).

Bei der Armatur TH23S102 handelt es sich um die KoKa (Kondensationskammer)-Saugchieber des in Betrieb befindlichen Nachwärmeabfuhr-Stranges sowie des in Reserve stehenden USUS-Stranges. Bei der Armatur TF23S101 handelt es sich um den Absperrchieber in der Einspeiseleitung zur Speisewasserleitung (Druckschieber) im USUS-Strang. Die beiden Armaturen befinden sich in ZU-Stellung, da in den Phasen 3-1 bis 3-7 des Nichtleistungsbetriebs entweder aus der Frischdampfleitung oder aus dem Flutraum gesaugt wird, um Wärme abzuführen. Der TF-Druckschieber (USUS) ist in Grundstellung geschlossen.



**Abb. 3-28:** Brandentstehungsort im Raum ZA03.11

Die Untersuchungen zur Brandentstehung haben gezeigt, dass dieser nur in den Betriebsphasen 3-1 bis 3-7 zu unterstellen ist, da nur in diesen Phasen "Heißarbeiten" (wie Schweißen, Schneiden, Trennen etc.) zulässig sind. Die bei den Untersuchungen zur Brandentstehung ermittelte Eintrittshäufigkeit für einen Entstehungsbrand von 3,5 E-03/a wird deshalb auf die Dauer dieser Phasen bezogen.

Die Dauer der Betriebsphasen 3-1 bis 3-7 beträgt in der Standardrevision (Revision 2001, vgl. Tab. 2-33), welche für die PSA für den Nichtleistungsbetrieb herangezogen wurde, 460,5 Stunden. Daraus ergeben sich für die einzelnen Phasen die folgenden Brandeintrittshäufigkeiten:

**Tab. 3-16:** Brandeintrittshäufigkeiten in ZA03.11 (bezogen auf die verschiedenen Anlagenbetriebszustände)

Phase ABZ	Eintrittshäufigkeit pro Revision
3-1	1,1 E-04
3-2	1,2 E-04
3-3	2,4 E-04
3-4	1,6 E-03
3-5	1,0 E-04
3-6	3,0 E-04
3-7	9,9 E-04

Die PSA für den Nichtleistungsbetrieb befindet sich derzeit noch im Entstehungsprozess, wobei insbesondere die Zuverlässigkeitskenngrößen noch nicht vollständig ermittelt sind. Die Quantifizierung der Ereignis- und Fehlerbäume auf der bisher vorhandenen Datenbasis ist deshalb vorläufig.

Es wurden die folgenden Zuverlässigkeitskenngrößen verwendet:

- unabhängige Ausfälle: soweit vorhanden Daten aus der PSA-LB sonst Daten aus der Basis-PSA /FAN 01/, generische oder Schätzwerte,
- GVA: generisch oder Schätzwerte,
- Handmaßnahmen: soweit vorhanden, Daten aus Basis-PSA, ansonsten Schätzwerte.

Um den Einfluss des Brandes auf die Störfallbeherrschung zu ermitteln, wurden die beiden betroffenen Komponenten TF23101 und TH23S102 im Datensatz mit einer Nichtverfügbarkeit von  $p = 1$  belegt. Des Weiteren wurde geprüft, inwieweit Notfallmaßnahmen vor Ort im Reaktorgebäude durchgeführt werden müssen. Pessimistisch wurde angenommen, dass eine im Reaktorgebäude auszuführende Notfallmaßnahme wegen der erheblichen Rauchentwicklung nicht durchgeführt werden kann. Die entsprechenden Maßnahmen wurden ebenfalls im Datensatz mit der Nichtverfügbarkeit  $p = 1$  belegt.

Da die Brandentstehung von der Störfallbeherrschung unabhängig ist, kann man die Brandeintrittshäufigkeit mit dem Ergebnis der Fehlerbaumauswertung multiplizieren.

Bei den Ergebnissen handelt es sich um Punktwerte, die aber auf Grund der unsicheren Datenbasis als Schätzwerte einzustufen sind.

Die Ergebnisse der Rechnungen sind in Tab. 3-17 und Tab. 3-18 zusammengefasst.

**Tab. 3-17:** Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen und Brand in ZA03.11

ABP	Dauer [h]	H (Brand)	Endzustände			
			b3	b3 x H (Brand)	b4	b4 x H (Brand)
3-1	14,0	1,1 E-04	9,6 E-06	1,0 E-09	6,5 E-08	6,9 E-12
3-2	15,5	1,2 E-04	9,5 E-04	1,1 E-07		
3-3	31,5	2,4 E-04	1,2 E-03	2,9 E-07		
3-4	215,5	1,6 E-03	1,9 E-05	3,1 E-08		
3-5	13,5	1,0 E-04	2,5 E-06	2,6 E-10		
3-6	40,0	3,0 E-04	4,8 E-06	1,5 E-09		
3-7	130,5	9,9 E-04	1,1 E-05	1,1 E-08	3,3 E-07	3,0 E-10
<b>Σ</b>	<b>480,5</b>	<b>3,5 E-04</b>	<b>2,2 E-03</b>	<b>4,4 E-07</b>	<b>3,7 E-07</b>	<b>3,0 E-10</b>

In diesem Zusammenhang bedeuten die Endzustände aus der PSA für Nichtleistungsbetrieb:

- b3: Ausfall der Bespeisung
- b4: Auslegungsüberschreitender Druck im RDB (nur relevant in den Phasen 3-1 und 3-7)

Die wesentlichen Beiträge am Ergebnis liefern Ausfallkombinationen mit Versagen der Reservepumpe TH30 und des USUS-Stranges TF20. Der USUS-Strang fällt dabei durch Brand aus, da der durch Brand ausgefallene Absperrschieber (ZU-Stellung) in der Einspeiseleitung für jede USUS-Funktion benötigt wird. Hiervon sind auch Notfallmaßnahmen betroffen. Das Ergebnis der Fehlerbaumrechnung enthält aber auch solche Ausfallkombinationen, die nicht auf Brandauswirkungen zurückzuführen und bereits in der PSA für Nichtleistungsbetrieb berücksichtigt sind. Der Anteil dieser Ausfallkombinationen beträgt ca. 30 % vom Gesamtergebnis, d. h. die in Tab. 3-17 aufgeführten Ergebnisse sind im Hinblick auf brandbedingte Auswirkungen pessimistisch.

Die folgende Tab. 3-18 zeigt zum Vergleich die Ergebnisse für den Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen der Komponenten ohne Brand.

**Tab. 3-18:** Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Betriebsversagen (ohne Brand)

ABP	Dauer [h]	Eintrittshäufigkeit	Endzustände	
			b3	b4
3-1	14,0	9,20 E-03	5,40 E-09	4,30 E-08
3-2	15,5	9,60 E-03	3,10 E-05	
3-3	31,5	1,40 E-02	6,00 E-06	
3-4	215,5	6,60 E-02	1,20 E-08	
3-5	13,5	91,0 E-03	5,30 E-09	
3-6	40,0	1,70 E-02	3,20 E-07	
3-7	130,5	4,20 E-02	2,70 E-06	1,20 E-07
<b>Σ</b>	<b>480,5</b>	<b>1,67 E-01</b>	<b>4,00 E-05</b>	<b>1,63 E-07</b>

Die Ergebnisse für die Störfallbeherrschung verschlechtern sich zwar durch den Brand um etwa 2 Größenordnungen, das Gesamtergebnis ist jedoch durch die geringe Eintrittshäufigkeit für einen Entstehungsbrand um etwa 2 Größenordnungen kleiner als das Gesamtergebnis ohne Brand. Dementsprechend können die Auswirkungen eines Brandes im Raum ZA03.11 auf die Häufigkeit für Kernschadenzustände vernachlässigt werden.

### 3.4.6 Systemtechnische Auswirkungen durch einen brandbedingten Ausfall der Nebenkühlwasserpumpe VF23D101

Da im Raum ZA03.11 durch einen Brand kein auslösendes Ereignis auftritt, wurde zusätzlich untersucht, welche Auswirkungen ein Brand im Schaltanlagegebäude ZE bzw. im Kühlwasserpumpenhaus ZM auf die Häufigkeit von Schadenszuständen haben kann. Hierbei wurde unterstellt, dass entweder durch den Brand im Kühlwasserpumpenhaus (Raum ZM10.24) die laufende Nebenkühlwasserpumpe VF23D101 ausfällt oder durch einen Brand im Raum ZE01.10 die Stromversorgung der Pumpe unterbrochen wird. Diese Ausfälle führen zur Unterbrechung der Nachwärmeabfuhr in den einzelnen Betriebsphasen. Im Datensatz der PSA für den Nichtleistungsbetrieb wurde die

Ausfallwahrscheinlichkeit der Pumpe auf  $p = 1$  gesetzt und der Fehlerbaumsatz ausgewertet.

Die Brandeintrittshäufigkeit in ZE01.10 beträgt  $1,0 \text{ E-}03/\text{a}$ . Dabei wurde die Brandeintrittshäufigkeit von  $2,0 \text{ E-}02/\text{a}$  für die Gesamtanlage bei Nichtleistungsbetrieb, der Anteil von Bränden im Schaltanlagegebäude und die Anzahl der Räume im Schaltanlagegebäude mit einer relevanten Brandbelastung berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.2.1.2).

Die ermittelte Brandeintrittshäufigkeit von  $1,0 \text{ E-}03/\text{a}$  wurde auf die einzelnen Betriebsphasen wie folgt bezogen:

- ABP Dauer (h) x Brandeintrittshäufigkeit / Jahr (h)

Dabei wurde die Annahme getroffen, dass die Brandentstehung in den ZM- bzw. ZE-Räumen nicht revisionspezifisch und auf ein Jahr zu beziehen ist.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tab. 3-19 zusammengefasst.

**Tab. 3-19:** Ausfall Nachwärmeabfuhr durch Brand in ZE01.10 oder ZM10.24

ABP	Dauer [h]	H (Brand)	Endzustände			
			b3	b3 x H	b4	b4 x H
3-1	14,0	3,0 E-05	5,5 E-07	1,7 E-11	7,2 E-06	2,2 E-10
3-2	15,5	3,4 E-05	3,2 E-02	1,1 E-06		
3-3	31,5	6,8 E-05	9,6 E-04	6,6 E-08		
3-4	215,5	4,7 E-04	1,9 E-07	8,9 E-11		
3-5	13,5	2,9 E-05	3,1 E-06	9,1 E-11		
3-6	40,0	8,7 E-05	9,7 E-05	8,4 E-09		
3-7	130,5	2,8 E-04	3,6 E-05	1,0 E-08	5,8 E-06	1,7 E-09
<b>Σ</b>	<b>480,5</b>	<b>1,0 E-03</b>	<b>3,3 E-02</b>	<b>1,2 E-06</b>	<b>1,3 E-05</b>	<b>1,7 E-09</b>

Die wichtigsten Ausfallverknüpfungen sind auch hier der Ausfall der Reservestranges TH30 sowie der Ausfall des USUS-Stranges TF20. Die größten Beiträge liefern das Startversagen der Nachkühlpumpe TH35D101 und das Betriebsversagen der REWAS-Pumpe VE72D111. Durch den Ausfall der REWAS-Pumpe fallen auch die Notfallmaß-

nahmen aus, die über USUS laufen. Ein Grund für die im Vergleich zum Brand in ZA03.11 besseren Ergebnisse ist, dass die Notfallmaßnahmen nicht durch einen Brand im Kühlwasserpumpenhaus beeinträchtigt werden. Das schlechte Ergebnis für die Phase 3-2 liegt daran, dass hier nur Notfallmaßnahmen über USUS durchgeführt werden können, die durch die hohe Ausfallrate der USUS-REWAS-Pumpe eine hohe Nichtverfügbarkeit haben.

Die Ergebnisse für die Störfallbeherrschung verschlechtern sich zwar durch den Brand, das Gesamtergebnis wird jedoch durch die geringe Eintrittshäufigkeit des Brandes etwa 2 Größenordnungen kleiner als das Gesamtergebnis ohne Brand. Demzufolge können auch die Auswirkungen eines untersuchten Brandes im ZM/ZE-Gebäude auf die Häufigkeit für Kernschadenzustände vernachlässigt werden.

### **3.5 Anmerkungen zum Sicherheitsbehälter ZX**

#### **3.5.1 Brandrelevante Eigenschaften des Sicherheitsbehälters ZX**

Nachfolgend sind die brandrelevanten Eigenschaften des Sicherheitsbehälters ZX als Grundlage für die Detailuntersuchungen zusammen gestellt.

- Brandentstehung

Der Sicherheitsbehälter (Kondensationskammer, Druckkammer und Steuerstabantriebsraum) ist während des bestimmungsgemäßen Betriebs inertisiert. Dabei wird durch Einbringen von Stickstoff der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters soviel Sauerstoff entzogen, dass selbst bei größeren Wasserstoff-Freisetzen kein zündfähiges Gemisch entstehen kann. Aufbau, Erhaltung und Überwachung des Inertzustandes der SB-Atmosphäre erfolgt durch das Inertisierungssystem XN und das Wasserstoff/Sauerstoff-Überwachungssystem TV60 /KWU 00/. Im Hinblick auf eine mögliche Wasserstoffzündung bietet die Inertisierung völlige Sicherheit, sobald die Inertisierungsgrenze ( $O_2$ -Konzentration  $< 4 \text{ Vol}\%$ ) erreicht ist.

Im Rahmen von Brandanalysen ist der SB-Innenraum also nur von Interesse, wenn er nicht inertisiert ist. Das ist nur bei den Anlagenbetriebszuständen 2-1 bis 2-3, 3-1 bis 3-7 im Nichtleistungsbetrieb der Fall (siehe Tab. 2-32), allerdings kann der

Steuerstabantriebsraum zur Herstellung der Begehbarkeit getrennt deinertisiert und nach erfolgter Begehung wieder inertisiert werden.

24 Stunden vor dem Abfahren werden im Anlagenzustand 1-1 (Leistungsbetrieb) die Druckkammer und der Steuerstabantriebsraum deinertisiert. Fällt dann während des Abkühlens über die Hauptwärmesenke (Anlagenzustand 2-2) der Kühlmitteldruck unter 4 bar wird auch die Kondensationskammer deinertisiert. Die Deinertisierung erfolgt durch Spülung des Sicherheitsbehälters mit Frischluft über die Lüftungssysteme TL. Sobald die Sauerstoffkonzentration über 19,5 Vol % liegt, kann der Sicherheitsbehälter begangen werden.

Die Dauer der Anlagenbetriebszustände ist in Tab. 2-33 angegeben. Es ist zu beachten, dass alle 8 Jahre eine RDB-Druckprobe durchgeführt wird (letzte Druckprobe 1997). Der Anlagenbetriebszustand 3-4 verlängert sich dabei auf ca. 380 Stunden. Der Kern ist vollständig ins Brennelemente-Lagerbecken entladen.

- Brandbelastung

Die Kabelbrandlasten wurden von KAB-tec berechnet. Tab. 3-20 zeigt einen Auszug aus den vorliegenden Detailtabellen.

**Tab. 3-20:** Kabel im Raum ZX01.08

Kabel	von	Nach	Typ	Länge im Raum [m]	Brandlast [MJ]
1KP800 4	1XG60N458-ZX	1YQ11X004L	KOAX-RAYCHEM 10498	3,4	2,2
1KP800 8	1XG60N460-ZX	1YQ21X004L	KOAX2YC (MS)CY 2X 0,5/3,0	3,4	22,7
3KP803 7	3XG60N452-ZX	3YQ31X079	KOAX RG59B/U NOISEFREE	3,4	3,25
3KP804 4	3XG60N449-ZX	3YQ31X102	KOAX RG59B/U NOISEFREE	3,4	3,25
3KP804 5	3XG60N450-ZX	3YQ31X108	KOAX RG59B/U NOISEFREE	3,4	3,25
3KP804 6	3XG60N451-ZX	3YQ31X110	KOAX RG59B/U NOISEFREE	3,4	3,25
				$\Sigma$	<b>37,9</b>

**Tab. 3-21:** Berechnete Kabelbrandlasten in den Raumbereichen von ZX

<b>Ebene</b>	ZX01.--	ZX02.--	ZX03.--	ZX05.--	ZX06.--
<b>Kote</b>	-1,35	5,45	7,20	21,00	24,00
<b>Raum</b>					
01	0,0	0,0	838,5		418,5
02	77,3	139,4	798,0		992,3
03	344,0	0,0	730,9		129,8
04	409,8	173,7	407,1		550,1
05	0,0	0,0	60,7		533,3
06	77,3	144,7	130,7		279,6
07	328,5	0,0	601,1		763,2
08	37,9	0,0	945,0		549,2
09	0,0	0,0	730,7		117,4
10	0,0	0,0	131,6		218,1
11	0,0	0,0	455,7		0,0
12	0,0	0,0	444,6		0,0
13	0,0	0,0	333,2		207,7
14	516,0	350,0	501,2		0,0
15	64,4	0,0	215,1		213,0
16	376,7	0,0	386,1		304,8
17	0,0	0,0	392,7		53,3
18	430,0	378,2	456,6		515,5
19	89,3	0,0	269,8		92,5
20	401,3	0,0	251,7		0,0
21	0,0	0,0	53,6		87,7
22	293,4	394,0	701,9		99,4
23	153,6	0,0	163,0		57,3
24	0,0	0,0	477,3		77,0
25	551,4	0,0	0,0		132,6
26	0,0	0,0	340,4		0,0
27	24,4	0,0	0,0		412,4
28	0,0	0,0	97,7		575,1
29	0,0	0,0	342,5		353,1
30	0,0	92,1	0,0		55,3
31	357,9	0,0	294,4		399,8
32	0,0	0,0	235,7		109,9
33	68,4	177,6	777,9		148,2
34	0,0	0,0	166,1		423,0
35	0,0	0,0	397,1		74,7
36	483,5	0,0	141,8		0,0
<b>Σ</b>	<b>5084,9</b>	<b>1849,7</b>	<b>13270,5</b>	<b>3288,1</b>	<b>8943,9</b>

Tab. 3-21 enthält die aus den Detailangaben (siehe Beispiel in Tab. 3-20) berechnete Brandlast über alle Kabel in den einzelnen Raumbereichen. Für die Ebene ZX05.-- wurde von KAB-tec nur ein Gesamtwert angegeben.

**Tab. 3-22:** Kabelbrandlasten im Sicherheitsbehälter (Ebenen)

<b>Ebene</b>	<b>Kote (m)</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Brandlast (MJ)</b>
01	-1,35	Steuerstabantriebsraum	6 935
02	5,45	Steuerstabantriebsraum	
03	7,20	Druckkammer	13 270
04	17,00	Rohrleitungsbühne	12 232
05	21,00	Rohrleitungsbühne	
06	24,50	Rohrleitungsbühne	

Während der Revision gibt es folgende offene Verbindungen des Sicherheitsbehälters zum Reaktorgebäude:

- Montageöffnung von ZA08.04 (360 Grad) und ZA03.11 (270 Grad),
- Personenschleuse XC von ZA02.39 (330 Grad),
- Nebenschleuse XB von ZA02.28 (270 Grad).

Zum Öffnen und Schließen der Personenschleuse XC steht im Zugangsraum ZA02.28 eine Ölpumpe mit Ölbehälter XC04B111. Im Raum ZA02.32 ist ein Ölbehälter für die Materialschleuse XB.

- Brandrelevante Instrumentierung im Sicherheitsbehälter

In den einzelnen Ebenen des Sicherheitsbehälters ZX sind 125 Rauchmelder installiert. Im Steuerstabantriebsraum werden sowohl optische Rauchmelder als auch Ionisationsrauchmelder eingesetzt, ansonsten kommen nur Ionisationsrauchmelder zum Einsatz. Diese melden Qualm bereits im Frühstadium eines Brandes zur Warte. Eine Weiterverwendung der Signale zur selbsttätigen Steuerung der Löscheinrichtungen erfolgt nicht.

**Tab. 3-23:** Brandmelder im Sicherheitsbehälter

<b>Ebene</b>	<b>Melder</b>	<b>Ebene</b>	<b>Melder</b>	<b>Ebene</b>	<b>Melder</b>	
01.--	00-01-01E		00-17-01		00-44-01	
	00-02-01E		00-17-02		00-44-02E	
	00-03-01E		00-18-01		00-45-01	
	00-04-01E		00-18-02		00-45-02	
	00-05-01E		00-19-01		00-45-03E	
	00-06-01		00-19-02		00-46-01	
	00-06-02		00-20-01		00-46-02	
	00-06-03		00-20-02		00-46-03E	
	00-06-04		00-20-03		00-47-01	
	00-06-05E		00-21-01		00-47-02E	
02.--	00-07-01E	03.--	00-21-02	06.--	00-48-01	
	00-08-01E		00-22-01		00-48-02E	
	00-09-01E		00-22-02		00-49-01	
	00-10-01E		00-22-03		00-49-02	
	00-11-01E		00-23-01		00-49-03	
	00-12-01E		00-23-02		00-49-04E	
	00-13-01E		00-23-03		00-50-01	
	00-14-01E		00-24-01		00-50-02	
	00-15-01E		00-24-02		00-50-03E	
	00-16-01		00-24-03		00-51-01	
	00-16-02		00-25-01		00-51-02	
	00-16-03		00-35-01		00-51-03E	
	00-16-04		00-35-01		00-52-01	
	00-16-05		00-35-02		00-52-02	
	00-16-06		00-35-03		00-52-03E	
	00-16-07		00-35-04		00-53-01	
	00-16-08		00-35-05		00-53-02E	
	00-16-09E		00-35-06		00-54-01	
	00-17-03E		00-35-07E		00-54-02E	
	00-18-03E		00-36-01E		00-55-01	
	00-19-03E		00-37-01E		00-55-02	
	00-20-04E		00-38-01		00-55-03	
	00-21-03E		00-38-02E		00-55-04	
	00-22-04E		00-39-01		00-55-05	
	00-23-04E		00-39-02E		00-55-06	
	00-24-04E		00-40-01E		00-55-07	
	00-25-02E		00-41-01E		00-55-08	
	00-26-01E		00-42-01E		00-55-09	
	00-27-01E		00-43-01E		00-55-10	
	00-28-01E				00-55-11E	
	00-29-01E		05.--			
	00-30-01E					
	00-31-01E					
	00-32-01E					
00-33-01E						
00-34-01E						

Weitere brandrelevante Instrumentierungen im Sicherheitsbehälter sind nachfolgend in Tab. 3-24 aufgeführt:

**Tab. 3-24:** Brandrelevante Instrumentierung im Sicherheitsbehälter

<b>Ebene</b>	<b>AKZ Messung</b>	<b>Kote [m]</b>	<b>Anordnung</b>
<i>Messung der relative Feuchte</i>			
Oberer Ringraum	XM12M001	26,5	90°
	XM12M004	26,5	90°
Unterer Ringraum	XM12M002	7	15°
	XM12M005	7	15°
Steuerstabantriebsraum	XM12M003	2	80°
	XM12M006	2	80°
<i>Messung der Temperaturen</i>			
Oberer Ringraum	XM11T001	26,5	90°
	6XM11T701	26,5	90°
Mittlerer Ringraum	XM11T003	18	180°
Unterer Ringraum	XM11T002	7	15°
Steuerstabantriebsraum	XM11T004	2	80°
Biologisches Schild	XM11T011	23	345°
	XM11T014	23	345°
	XM11T012	23	115°
	XM11T015	23	115°
	XM11T013	23	240°
	XM11T016	23	240°
<i>Messung Taupunkttemperatur (absolute Feuchte)</i>			
Oberer Ringraum	XM12M007	26,5	90°

### 3.5.2 Brandfolgen im Sicherheitsbehälter während des Nichtleistungsbetriebs

Bei einem Brand im Steuerstabantriebsraum in den Anlagenbetriebszuständen ABZ 2-3, 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 und 3-5 (vgl. Tab. 2-32) können u. a. folgende sicherheitstechnisch relevante Komponenten gefährdet werden:

- Flutkompensator,
- Steuer- und Stromversorgungskabel für die zur Nachwärmeabfuhr erforderlichen Motorarmaturen,
- Steuerstabantriebe,
- Standzarge RDB,
- Komponenten der Kühlmittelreinigung TC.

Die Auswirkungen eines Brandes auf den Flutkompensator wurden im Rahmen der SWR-Sicherheitsanalyse, Phase II /GRS 99/ untersucht. Dabei wurden Temperaturen im oberen Bereich des Sicherheitsbehälters größer 500°C über einen Zeitraum von mehr als einer halben Stunde angenommen. Als Ergebnis wurde ein Verlust der strukturellen Integrität des Flutkompensators "deterministisch ausgeschlossen" und damit "als sehr unwahrscheinlich" eingeschätzt. Diese Aussage kann aufgrund der gleichartigen Verhältnisse auf die Referenzanlage übertragen werden.

Die Motorarmaturen in den Abfahrkühlleitungen (innerhalb des Sicherheitsbehälters) befinden sich während der Anlagenbetriebsphasen ABZ 2-3, 3-1, 3-2 in der für das Abfahrkühlen erforderlichen Offenstellung und werden manuell betätigt (Betriebsart "Handsteuerung"). Als Brandfolge können die Stromversorgungen der Antriebe unterbrochen und die Stellungsrückmeldungen gestört werden. Beide Versagensarten stellen damit keine Gefährdung der Nachwärmeabfuhr dar.

Für ABZ 3-3, 3-4 und 3-5 erfolgt die Nachwärmeabfuhr durch Ansaugen aus dem Flutraum. Dazu sind keine in ZX befindlichen Motorarmaturen erforderlich.

Im Steuerstabantriebsraum müssen die Steuerstabantriebe und sonstige RDB-Anschlüsse dahingehend untersucht werden, ob durch die Brandbelastung ein Leck am RDB-Boden auftreten kann.

Generell ist zu prüfen, ob die Standzarge des RDB bei Brandbelastung versagen könnte. Ein Versagen der Standzarge des RDB würde zu einem nicht beherrschten Ereignisablauf führen.

Im Anlagenbetriebszustand ABZ 2-3 ist eine Füllstandsregelung über die Kühlmittelreinigung TC im Eingriff, die durch den Brand gefährdet werden könnte (z.B. durch Ausdampfen der Standrohre). Hierzu sind noch Untersuchungen durchzuführen.

## 4 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse der Arbeiten zur Verbesserung und Systematisierung der Methodik zur probabilistischen Brandanalyse, die beispielhaft bei einer Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart der Baulinie SWR-69 für Anlagenzustände im Leistungsbetrieb angewendet und für den Nichtleistungsbetrieb erstmals erprobt wurde.

Die generelle Vorgehensweise bei den dargestellten Untersuchungen zur Brand-PSA für die Referenzanlage basiert zunächst auf den in /TUE 04/ dargestellten methodischen Weiterentwicklungen zum mehrstufigen Auswahlverfahren als erstem Schritt bei einer Brand-PSA. Die brand- und raumspezifische Informationssammlung erfolgt dabei mittels einer ausführlichen Recherche aller verfügbaren Unterlagen zu den anlagen-spezifischen wie auch den brandspezifischen Gegebenheiten in der Referenzanlage. Ergänzt und verifiziert werden die der Anlagendokumentation entnommenen Informationen durch umfangreiche Anlagenbegehungen, wie sie auch nach /IAE 98/ für eine Brand-PSA vorgesehen sind.

Weitere, vertiefte Informationen wurden der GRS-Dokumentation (BEVOR-Datenbank) zu meldepflichtigen Ereignissen über Brände in deutschen Kernkraftwerken sowie der Anlagendokumentation zur Instandhaltungs- und Prüfpraxis für aktive Brandschutzeinrichtungen und – sofern erforderlich – auch ergänzenden gutachterlichen Stellungnahmen, Untersuchungsberichten und Informationsnotizen bzw. Schreiben der jeweils von den zuständigen Landesbehörden beauftragten und in die Untersuchungen dieser Ereignisse eingebundenen Sachverständigenorganisationen, wie den Technischen Überwachungs-Verein (TÜV), entnommen.

Infolge des begrenzten Umfangs und der Zielsetzungen der BMU-Vorhaben SR 2418 und SR 2449 war es nicht möglich, eine vollständige Brand-PSA für den Leistungsbetrieb und Nichtleistungsbetrieb der Referenzanlage durchzuführen. Vielmehr sollten die im Rahmen des Vorhabens SR 2418 erfolgten methodischen Weiterentwicklungen beispielhaft für die Referenzanlage erprobt werden.

Nachfolgend sind die wesentlichen methodischen Weiterentwicklungen und Erkenntnisse noch einmal zusammenfassend dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse der konkret für die Referenzanlage vom Typ SWR-69 durchgeführten probabilistischen Brandanalysen für den Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb beschrieben. Zusätzlich

werden die erzielten Ergebnisse in Bezug auf eine vollständige Brand-PSA für das Referenzkraftwerk bei Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb eingeordnet und bewertet.

#### **4.1 Methodische Weiterentwicklungen und Erkenntnisse**

Der Anhang B des PSA-Dokuments "Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke" /FAK 97/ enthält einen Vorgehensvorschlag zur Durchführung einer probabilistischen Analyse anlageninterner Brände. Der Versuch, die Empfehlungen des Leitfadens umzusetzen, führte schon bei einer vorhergehenden Brandanalyse /HAI 01/ zu einigen wesentlichen Modifikationen, die sich jetzt, bei der Durchführung einer Brandanalyse für eine Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart vom Typ SWR-69 mit weiteren praktischen Erkenntnissen angereichert, zu einer umfassenden Methode Brand-PSA ergänzen. Der Hauptteil der neuen Methode, das so genannte Auswahlverfahren, ist ausführlich in einem gesonderten Bericht beschrieben /TUE 04/. Wichtige Erkenntnisse der Arbeit werden in die geplante Neuauflage des Methodenbandes zum PSA-Leitfaden einfließen.

Nachfolgend sind stichpunktartig wichtige Grundsätze zur Methode einer probabilistischen Brandanalyse zusammengefasst:

- Eine probabilistische Brandanalyse muss grundsätzlich das gesamte Kraftwerk einbeziehen. Gebäude, Raumbereiche, einzelne Räume oder Brandquellen dürfen nur begründet von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Dazu wird das Auswahlverfahren eingesetzt.
- Das Auswahlverfahren dient der Begrenzung des Arbeitsaufwandes für eine Brand-PSA auf ein praktikables Maß. Dementsprechend beinhaltet das Verfahren eine vereinfachte Bewertung der Brandszenarien mit dem Ziel, vernachlässigbare Brandszenarien nicht im Detail untersuchen zu müssen. Die Vereinfachungen dürfen nicht zu einer Unterschätzung dieser Szenarien führen.
- Das Auswahlverfahren stellt einen Kompromiss zwischen "automatischer" Verarbeitung brandspezifischer und systemtechnischer Informationen nach einem vorgegebenen Auswertungsverfahren und Expertenentscheidungen dar. Je besser die Qualität der DV-mäßig aufbereiteten Informationen, desto geringer fällt der Anteil der notwendigen Expertenentscheidungen aus.

- Unabdingbare Grundlage einer probabilistischen Brandanalyse ist die anlagen-spezifische und raumbezogene Zusammenstellung aller brandrelevanten Primärdaten. Um eine automatische Auswertung zu ermöglichen, werden diese Daten in einer Datenbank abgelegt. Unter Primärdaten werden solche Daten verstanden, die noch keinem Verdichtungsprozess unterzogen wurden, sondern einfach die Gegebenheiten eines Raumes (Raumgeometrie, Vorhandensein von Einrichtungen, Umfang von Brandgütern etc.) widerspiegeln.
- Die Qualität der zur Verfügung stehenden Daten steht in direktem Zusammenhang zur Qualität der Brandanalyse. Die Übernahme von DV-mäßigen Kraftwerksinformationen, die manuelle Auswertung von Anlagendokumentationen ist immer, zumindest stichpunktartig, durch Anlagenbegehungen zu verifizieren.
- Für Anlagen, die brandschutztechnisch auf einem hohem Qualitätsniveau stehen, ist die umfassende Zusammenstellung aller Primärdaten besonders wichtig. Bei der Nutzung der Primärdaten in den nachfolgenden Arbeitsschritten zur Durchführung von probabilistischen Brandanalysen sollten folgende Hinweise berücksichtigt werden:
  - Raumaufteilung
 

Der Raumaufteilung muss vor Beginn der Arbeiten zu einer Brand-PSA besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Ein Raum stellt die kleinste räumliche Einheit dar, über die in einem Auswahlverfahren entschieden werden muss, ob bei einem Brandereignis in dieser Einheit die nukleare Sicherheit gefährdet werden kann oder nicht.

Für die vorliegende Analyse wäre es vorteilhaft gewesen, zumindest im Schaltanlagegebäude brandschutztechnisch abgeschottete Kabelkanäle als eigene Räume aufzufassen. Das hätte jedoch Informationen darüber vorausgesetzt welche Komponenten-Kabel in den Kanälen vorhanden sind (siehe dazu mehr in Abschnitt 2.2.1.2).
  - Kabelverlauf und -identifikation
 

Bei der vorliegenden Analyse hat sich gezeigt, dass die umfassende Einbindung eines Kabelmanagementsystems erforderlich ist. Es muss schon im Auswahlverfahren möglich sein, für jeden Raum die Komponenten zu identifizieren, die durch ein Brandereignis im Raum direkt oder indirekt betroffen sind. Hierfür müssen auch die im Raum befindlichen Kabel und deren Funktion (z.B. Stromversorgung, Steuerung, Rückmeldungen) identifiziert

werden, um die zugehörige(n) Komponente(n) und die Art der induzierten Funktionsstörung(en) feststellen zu können.

- Lüftungsdaten  
Zur Analyse der Rauchausbreitung bei Bränden ist das Lüftungssystem vollständig in der Informationsdatenbank abzubilden und zwar so, dass mögliche Rauchausbreitungswege automatisch recherchiert werden können.
- Zur Auswahl brandrelevanter Räume werden die Räume anhand brandspezifischer und systemtechnischer Kriterien bewertet:
  - Auswahlkriterium 1  
Für jeden Raum wird festgestellt, ob dort überhaupt ein Brand entstehen kann; entschieden wird anhand der Größe der Brandbelastung. Informativ werden die Zündmöglichkeiten einbezogen (Bestimmung der räumlichen Brandeintrittshäufigkeiten mit dem Verfahren von Berry).
  - Auswahlkriterium 2  
Für jeden (verbliebenen) Raum wird geprüft, ob durch einen Brand in diesem Raum ein Gefährdungspotential in Hinblick auf Kernschadenzustände besteht. Dabei wird gefragt, ob wichtige Komponenten im Raum selbst oder in direkten Nachbarräumen vorhanden sind. Komponenten werden wichtig genannt, wenn sie bezüglich einer Ausfallart als Basisereignisse in dem zugehörigen PSA-Modell enthalten sind. Es werden die Räume ausgesondert, die sowohl im Raum selbst als auch in den direkten Nachbarräumen keine wichtigen Komponenten enthalten.
  - Auswahlkriterium 3  
Für jeden nach Anwendung des 1. und 2. Auswahlkriteriums verbliebenen Raum wird die brandbedingte Kernschadenshäufigkeit abgeschätzt. Dazu werden unter Berücksichtigung der Brandeintrittshäufigkeiten einerseits brandbedingte Komponentenausfälle (auf der Grundlage der Raum-zu-Raum-Brandausbreitungswahrscheinlichkeiten) und andererseits unabhängige Komponentenausfälle (auf der Grundlage der im PSA-Modell verwendeten Zuverlässigkeitskenngrößen) simulativ generiert und anhand der Ereignis- und Fehlerbäume der PSA ausgewertet. In den vorliegenden Analysen wurden die Ereignis- und Fehlerbäume des auslösenden Ereignisses "Notstromfall" verwendet, das hinsichtlich der Mindestanforderungen an die Systemfunktionen andere Transienten weitgehend abdeckt (brandbedingte Lecks wurden nicht unterstellt). Welche Transiente mit welcher Wahrscheinlichkeit brandbedingt ausgelöst werden kann, muss bisher anhand

von Expertenschätzung ermittelt werden, da in der PSA in der Regel keine Fehlerbäume für den Eintritt auslösender Ereignisse vorliegen.

- Für die effiziente Durchführung des Auswahlverfahrens ist die standardisierte Bereitstellung von Primär- und abgeleiteten Daten von großer Bedeutung. In dieser Hinsicht konnten im vorliegenden Projekt erste Erfahrungen gesammelt werden. Im Rahmen eines Vorhabens zur Weiterentwicklung von PSA-Methoden und Werkzeugen ist geplant, einheitliche Programmmodule zur Durchführung probabilistischer Brandanalysen zu schaffen.

- Das Auswahlverfahren kann iterativ angewendet werden. Ergeben sich bei Detailanalysen neue Erkenntnisse, die auch für das Auswahlverfahren eine Rolle spielen können, ist das Auswahlverfahren bzw. das betroffene Auswahlkriterium erneut anzuwenden.

In der vorliegenden Analyse wurde das im Leistungsbetrieb z.B. in Bezug auf die Brandeintrittshäufigkeiten praktiziert. Zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit für einzelne Räume mit dem Top-down-Verfahren wurde die Gebäudeeintrittshäufigkeit anlagenspezifisch verifiziert. Damit änderten sich bei Anwendung des Verfahrens von Berry alle räumlichen Brandeintrittshäufigkeiten. Mit diesen verbesserten anlagenspezifischen Werten wurde das Auswahlkriterium 3 erneut angewendet (vgl. z.B. Abschnitt 2.3.1.2). Dadurch wird eine zu pessimistische Auswahl von Räume vermieden, und der Aufwand für Detailanalysen kann eingeschränkt werden.

- Das Auswahlverfahren ist für Brandanalysen sowohl im Leistungs- als auch im Nichtleistungsbetrieb anwendbar. Die Informationsbasis ist entsprechend anzupassen (Details dazu in Abschnitt 0).
- Detailanalysen sind für alle Räume durchzuführen, die nach Anwendung des Auswahlverfahrens übrig geblieben sind. Zur Vereinfachung der Arbeit kann geprüft werden, ob Räume zusammengefasst werden können oder ob es Räume gibt, bei denen der Verlauf von Brandereignissen als repräsentativ auch für andere Räume angesehen werden kann.
- Zur Quantifizierung brandspezifischer Ereignisabläufe sollten neben den Informationen, die in der Datenbank aller brandrelevanten Primärdaten zusammen gestellt wurden, zusätzlich statistischen Daten heran gezogen werden. Insbesondere zur Bestimmung raumspezifischer Brandeintrittshäufigkeiten sollte für die Brandereignisse des Kraftwerks eine Root-cause-Analyse durchgeführt werden.

Nach Möglichkeit sind dabei alle Brandereignisse, auch die unterhalb der behördlichen Meldeschwelle, auszuwerten. Tatsächlich aufgetretene Brandereignisse liefern Einsichten zu anlagenspezifischen Besonderheiten und können zur Verifizierung generischen Wissens herangezogen werden.

#### **4.2 PSA Brand – Ergebnisse für den Leistungsbetrieb**

Im Rahmen des Arbeitspunktes "Probabilistische Betrachtungen (bzgl. Brand) für SWR 69 im Leistungsbetrieb (im Rahmen einer PSA der Stufe 2)" wurden im BMU-Vorhaben SR 2449 die nachfolgend aufgeführten Arbeiten für die Referenzanlage durchgeführt:

- ***Informationszusammenstellung***  
In diesem Arbeitsschritt erfolgte die Ermittlung aller für eine umfassende probabilistische Brandanalyse benötigten anlagenspezifischen Daten für die zu betrachtenden Gebäude ZA, ZE, ZK, ZV und ZX.
- ***Auswahlverfahren (Screening)***  
Für die unter PSA-Aspekten als wesentlich erachteten Gebäude der Referenzanlage erfolgte – mit Ausnahme des Sicherheitsbehälters, der im Wesentlichen während des Leistungsbetriebs inertisiert und somit nicht relevant für die PSA-Brand ist, und des Maschinenhauses - die Durchführung des datenbankgestützten Auswahlverfahrens.
- ***Aufstellung und Quantifizierung einer probabilistische Analyseketten für einen ausgewählten relevanten Raumbereich***  
Ausgehend von einem unterstellten Brand in einem zuvor mittels des Auswahlverfahrens ermittelten Raumbereich wurde unter Einbeziehung von Brand-simulationsrechnungen der brandspezifische Ereignisablauf aufgestellt, dessen Endzustände klassifiziert und die so erhaltenen probabilistischen Ergebnisse in das mit Fehler- und Ereignisbäumen beschriebene Anlagenmodell eingebunden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte zusammengefasst und erste Schlussfolgerungen für die Einordnung der Ergebnisse für die Referenzanlage bei Leistungsbetrieb gezogen.

## Informationszusammenstellung

Grundlage für die Durchführung einer probabilistischen Brandanalyse und insbesondere der effizienten Anwendung des Auswahlverfahrens ist eine umfassende Informationssammlung zu den brandspezifischen Aspekten aller Räume in den relevanten Gebäuden. Sämtliche recherchierten Daten wurden in einer Datenbank *BA SWR-69* abgelegt. Damit wurde die automatische Auswertung der Daten bei der Durchführung des Auswahlverfahrens ermöglicht. Für folgende Gebäude wurden die brandrelevanten Daten vollständig zusammengestellt (Grundlage der Datenerfassung waren zahlreiche vom Kraftwerk zur Verfügung gestellte Dokumente einschließlich elektronischer Datenquellen):

- Reaktorgebäude ZA (einschließlich Sicherheitsbehälter ZX)
- Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude, Teil ZE
- Dieselgebäude ZK
- USUS-Gebäude ZV.

Bezugsgröße der Informationssammlung ist der Begriff des "Raums", d.h. zu jedem Raum werden die entsprechenden Informationen zusammengestellt. Grundsätzlich ist die räumliche Struktur eines Kraftwerksgebäudes durch das Kennzeichnungssystem der Anlage beschrieben. Bei der Entwicklung und Anwendung des neuen Auswahlverfahrens wurde deutlich, dass der Raumaufteilung vor Beginn der Arbeiten für eine Brand-PSA besondere Aufmerksamkeit zukommen muss. Es ist ein Kompromiss zwischen dem größten Detaillierungsgrad (jede einzelne Brandlast) und einer für die Analyse ausreichenden räumlichen Unterteilung zu finden.

Zu jedem Raum wurden folgende Daten zusammengestellt:

- Raumgeometrie (Größe des Raums, Nachbarräume einschließlich Raumverbindungen und -grenzen),
- Brandspezifische Raumdaten (Brandbelastung, Möglichkeiten der Brandmeldung und -bekämpfung),
- Raumnutzung (Anzahl und Art von Komponenten, Kabel, Redundanzen).

Neben den in der Datenbank *BA SWR-69* zusammen gestellten Daten wurde für die Durchführung des Auswahlverfahrens die PSA für die Referenzanlage zur Verfügung gestellt.

### **Auswahlverfahren (Screening)**

Auf der Grundlage der Informationszusammenstellung wurde das Auswahlverfahren für folgende Gebäude durchgeführt:

- Reaktorgebäude ZA

Das Reaktorgebäude wurde in 342 Räume unterteilt (ohne Sicherheitsbehälter). Darunter sind 53 Räume mit einer Brandbelastung größer  $90 \text{ MJ/m}^2$ . Bei einem Entstehungsbrand in einem dieser Räume können in 47 Räumen bei Ausbreitung des Brandes wichtige Komponenten gefährdet werden. Bei der manuelle Durchsicht dieser Raumliste und der iterative Anwendung des Auswahlkriteriums 3 (quantitative Bewertung der Brandgefahren in den Räumen durch Einschätzung der brandinduzierten Kernschadenshäufigkeit) wurden 12 Räume ermittelt, für die Detailanalysen durchzuführen sind.

Der Raum ZA03.11 wurde für Detailanalysen ausgewählt.

- Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude, Teil ZE

Der Teil ZE des Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäudes wurde in 176 Räume unterteilt. Darunter sind 74 Räume mit einer Brandbelastung größer  $90 \text{ MJ/m}^2$ . Bei einem Entstehungsbrand in einem dieser Räume können in 48 Räumen bei Ausbreitung des Brandes wichtige Komponenten gefährdet werden. Bei der manuelle Durchsicht dieser Raumliste und der iterative Anwendung des Auswahlkriteriums 3 (quantitative Bewertung der Brandgefahren in den Räumen durch Einschätzung der brandinduzierten Kernschadenshäufigkeit) wurden 12 Räume ermittelt, für die Detailanalysen durchzuführen sind.

Der Raum ZE00.08B wurde schon vorab für Detailanalysen ausgewählt.

- Dieselgebäude ZK

Das Dieselgebäude wurde in 25 Räume unterteilt. Darunter sind 18 Räume mit einer Brandbelastung größer  $90 \text{ MJ/m}^2$ . Bei einem Entstehungsbrand in einem

dieser Räume können in 11 Räumen bei Ausbreitung des Brandes wichtige Komponenten gefährdet werden. Bei der manuelle Durchsicht dieser Raumlise und der iterative Anwendung des Auswahlkriteriums 3 (quantitative Bewertung der Brandgefahren in den Räumen durch Einschätzung der brandinduzierten Kernschadenshäufigkeit) wurden für alle Räume nur vernachlässigbare Beiträge ermittelt. Detailuntersuchungen von Brandszenarien sind im Dieselgebäude nicht erforderlich.

- USUS-Gebäude ZV

Das USUS-Gebäude wurde in 36 Räume unterteilt. Darunter sind 15 Räume mit einer Brandbelastung größer  $90 \text{ MJ/m}^2$ . Bei einem Entstehungsbrand in einem dieser Räume können in 11 Räumen bei Ausbreitung des Brandes wichtige Komponenten gefährdet werden. Bei der manuelle Durchsicht dieser Raumlise und der iterative Anwendung des Auswahlkriteriums 3 (quantitative Bewertung der Brandgefahren in den Räumen durch Einschätzung der brandinduzierten Kernschadenshäufigkeit) wurden für alle Räume nur vernachlässigbare Beiträge ermittelt. Detailuntersuchungen von Brandszenarien sind im USUS-Gebäude nicht erforderlich.

### **Ergebnisse von Detailanalysen**

Für den Leistungsbetrieb wurden Detailanalysen für zwei Raumbereiche durchgeführt. Zum einen handelt es sich um den speziell im Vergleich zu den Auswirkungen eines Brandes während des Nichtleistungsbetriebs zu untersuchenden Raumbereich ZA03.11 im Reaktorgebäude. Außerdem wurde im Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude ZE ein großer Kabelraum ZE00.08B mit angrenzenden Räumen für Detailanalysen ausgewählt.

Die für den Raumbereich ZA03.11 im Rahmen der detaillierten Analysen durchgeführten Brandsimulationsrechnungen ergeben aufgrund des großen Raumvolumens, der räumlichen Trennung von Komponenten und Kabeln verschiedener Redundanzzugehörigkeit durch Abstand oder auch durch zusätzliche, nachträglich angebrachte Schutzmaßnahmen (Dämmschichtbildner) und nur wenige mögliche Zündquellen, dass nur solche Komponenten kurzfristig beeinträchtigt werden bzw. gefährdet sein können, die sich in unmittelbarer Nähe des eigentlichen Brandentstehungsortes befinden. Redundanzübergreifende direkte Brandschäden sind nicht zu unterstellen.

Zur Klassifikation der Brandfolgen wird der Raum in Quadranten unterteilt. Als Brandfolgen werden die Fälle a und b unterschieden, wobei a den Ausfall von Komponenten am Brandentstehungsort und b den Ausfall aller Komponenten des benachbarten Quadranten bedeutet. Als Eintrittshäufigkeit für einen Entstehungsbrand in diesem Raumbereich wurde für den Leistungsbetrieb auf Basis der anlagenspezifischen Betriebserfahrung unter Einbezug generischer Daten aus der gesamten deutschen Betriebserfahrung ein Wert von  $4,57 \text{ E-}04/a$  ermittelt. Damit ergibt sich für den Endzustand b des brandspezifischen Ereignisablaufs eine Eintrittshäufigkeit von  $2,20 \text{ E-}06/a$ .

Die unter Berücksichtigung der detaillierten brandtechnischen Analysen ermittelte Häufigkeit für Systemschadenzustände für den Raum ZA03.11 ist kleiner  $5,0 \text{ E-}06/a$  und liefert damit weniger als 20 % zur Summenhäufigkeit der Systemschadenzustände von  $3,0 \text{ E-}05/a$  (Wert aus der Basis-PSA). Der Hauptbeitrag zur brandbedingten Häufigkeit von kleiner  $5,0 \text{ E-}06/a$  geht auf einen Brand im Sektor ZA03.11C ( $270^\circ$  bis  $360^\circ$ ) zurück, wobei brandbedingte Ausfälle der Hochdruckeinspeisungen TM und TJ die wesentliche Rolle spielen.

Im Verlauf der Studie wurde das Auswahlverfahren verbessert und systematisiert. Der Raum ZE00.08B mit den angrenzenden Raumbereichen wurde aufgrund vorläufiger Ergebnisse des Auswahlverfahrens als ein relevanter Raumbereich für Detailanalysen mit Brandsimulationsrechnungen angesehen. Die Detailanalysen führten zu dem Ergebnis, dass - je nach Lage der vom Brand direkt oder indirekt betroffenen Kabel - von einem Funktionsausfall, speziell von Kabeln der Energie- und Leittechnik, nach einer Zeitspanne von 6,5 - 15 min auszugehen ist.

Außerdem muss eine Brandausbreitung auf den Kabeltrassen unterstellt werden, womit nach rund 7 min nahezu alle Kabel bestimmter Trassen als ausgefallen anzunehmen sind. Da die endgültigen Ergebnisse des Auswahlverfahrens eine deutlich geringere PSA-Relevanz dieses Raumbereiches erwarten ließen, war es nicht erforderlich, einen brandspezifischen Ereignisablauf aufzustellen und seine Endzustände zu klassifizieren. Die Ergebnisse der Brandsimulationsrechnungen lassen sich aber auf andere, nach dem Auswahlverfahren als relevant auszuwählende Räume bzw. Raumbereiche mit einem höheren Anteil an Kabeln übertragen und für die dortigen Detailanalysen nutzen. Die Häufigkeit der Systemschadenzustände für den Raum ZE00.08B wurde nicht im Detail ermittelt, da dieser Raum bereits im Auswahlverfahren als vernachlässigbar bewertet wurde.

### 4.3 PSA Brand – Ergebnisse für den Nichtleistungsbetrieb

Im Arbeitspunkt 1 des Vorhabens SR 2418 "Probabilistische Betrachtungen (bez. Brand) für den SWR 69 im Nichtleistungsbetrieb" wurden die nachfolgend aufgeführten Arbeiten für die Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart durchgeführt:

- **Informationszusammenstellung**

In diesem Zusammenhang erfolgten die methodische Anpassung und Modifikationen der datenbankgestützten Informationszusammenstellung für probabilistische Brandanalysen für Anlagenzustände des Nichtleistungsbetriebs.

- **Auswahlverfahren (Screening)**

Auf Basis der für den Nichtleistungsbetrieb veränderten anlagenspezifischen Daten aus der Informationssammlung wurden Unterschiede bei der Anwendung des Auswahlverfahrens für den Nichtleistungsbetrieb festgestellt und erläutert.

- **Detailanalysen für einen ausgewählten Raumbereich**

Auf der Grundlage der in der GRS vorhandenen Anlagenkenntnisse wurde schon bei Projektbeginn durch Abschätzung der sicherheitstechnischen Bedeutung der Reaktorgebäude-Ringraum ZA03.11 für Detailanalysen ausgewählt. Diese beinhalten die Aufstellung und Quantifizierung der probabilistischen Analyseketten ausgehend von der angenommenen Brandentstehung im ausgewählten Raumbereich, die Bestimmung der raumbezogenen Eintrittshäufigkeit, die sich unter Einbeziehung von Brandsimulationsrechnungen ergebenden brandspezifischen Ereignisablauf sowie die Einbindung der Ergebnisse in das mit Fehler- und Ereignisbäumen beschriebene Anlagenmodell im Nichtleistungsbetrieb.

Aufgrund der sicherheitstechnischen Bedeutung des Sicherheitsbehälters ZX war außerdem die Notwendigkeit einer probabilistischen Analyse von Bränden in ZX während des deinertisierten Zustands zu diskutieren.

Nachfolgend werden die einzelnen Ergebnisse zu den einzelnen Arbeitsschritten nochmals kurz zusammengefasst und erste Schlussfolgerungen für die Einordnung der Ergebnisse für die Referenzanlage bei Nichtleistungsbetrieb gezogen.

#### **Informationszusammenstellung und Auswahlverfahren**

Die Methodik des Auswahlverfahrens, entwickelt für probabilistische Brandanalysen für Anlagenbetriebszustände des Leistungsbetriebs, ist auch für Anlagenbetriebszustände des Nichtleistungsbetriebs anwendbar. Dazu ist die Informationsbasis zu ändern (vgl.

Abschnitt 0). Zur praktischen Umsetzung der Änderungen in der Informationsbasis wird empfohlen, eine Kopie der Datenbank zur Brandanalyse im Leistungsbetrieb (hier: BA SWR-69) anzufertigen und die Datenänderungen einzutragen. Dann sind die automatischen Prozeduren zur Bestimmung der Auswahlkriterien 1 und 2 sowie zur Datenübergabe für die Bestimmung des Auswahlkriteriums 3 auch im Nichtleistungsbetrieb anwendbar.

### **Ergebnisse von Detailanalysen**

Bei den Brandanalysen für den Nichtleistungsbetrieb wurde ebenfalls der Raum ZA03.11 mit einer vergleichsweise hohen Brandbelastung im Reaktorgebäude detaillierten Analysen unterzogen. In diesem Raumbereich finden zeitweilig während bestimmter Phasen des Nichtleistungsbetriebs Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten statt, die zum Teil durchaus brandrelevant im Hinblick auf das Einbringen zusätzlicher temporärer Brandlasten und möglicher vorhandener Zündquellen sind. Aus einer Auswertung der Arbeitsaufträge für diese Betriebsphasen in der Referenzanlage, der anlagenspezifischen Betriebserfahrung für Brandereignisse sowie unter Einbezug und Nutzung von generischem nationalem wie internationalem Datenmaterial zu Brandeintrittshäufigkeiten, insbesondere während des Nichtleistungsbetriebs, wurde eine mittlere Brandeintrittshäufigkeit für den Raum ZA03.11 von  $3,5 \text{ E-}03/\text{a}$  für den Nichtleistungsbetrieb ermittelt.

Für die beiden Varianten der Brandsimulationsrechnungen wird ein durch Heißarbeiten verursachter Entstehungsbrand von Lösungsmittel unterstellt, der nach wenigen Sekunden zu einem Kabelbrand führt. Dabei können nur diejenigen Komponenten durch Brandeinwirkung beeinträchtigt werden, die sich in unmittelbarer Nähe des Brandentstehungsortes befinden, wobei folgende Gründe maßgebend sind:

- großes Raumvolumen,
- räumlichen Trennung von Komponenten und Kabeln verschiedener Redundanzen durch Abstand,
- zusätzliche, nachträglich angebrachte Schutzmaßnahmen (Dämmschichtbildner).

Die Analysen zeigen, dass bei allen in der PSA für den Nichtleistungsbetrieb untersuchten Betriebsphasen ein auslösendes Ereignis durch einen im Raum ZA03.11 unterstellten Brand nicht zu erwarten ist. Die Brandauswirkungen im unmittelbaren Bereich der Brandentstehung können jedoch im untersuchten Fall zu einer

Beeinträchtigung von Komponenten der in Bereitschaft stehenden verfahrenstechnischen Redundanz führen.

Auch unter pessimistischen Annahmen ergeben sich hieraus brandbedingte Häufigkeiten von Kernschadenzuständen, die mit  $4,4 \text{ E-}07/\text{a}$  um ca. zwei Größenordnungen unter den für den Nichtleistungsbetrieb ohne Brand ermittelten Häufigkeiten liegen.

Zu den Auswirkungen eines Brandes im Steuerstabsantriebsraum ergeben sich folgende Einschätzungen:

Ein brandbedingter Verlust der strukturellen Integrität des Flutkompensators wird auf Basis früher durchgeführter Untersuchungen für einen SWR 72 als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Auswirkungen eines Brandes auf die Steuer- und Stromversorgungskabel für die zur Nachwärmeabfuhr erforderlichen Motorarmaturen spielen für die Nachwärmeabfuhr in den untersuchten Betriebsphasen des Nichtleistungsbetriebs eine unerhebliche Rolle.

#### **4.4 Vollständigkeit der Analysen**

Die Brand-PSA für den Leistungsbetrieb der Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart der Baulinie SWR-69 ist derzeit noch unvollständig. Dies hat prinzipiell zwei Gründe.

Eine vollständige Brand-PSA war in dem begrenzten Auftragsumfang der auf methodische Weiterentwicklungen abzielenden Vorhaben SR 2418 und SR 2449 nicht vorgesehen. Deshalb wurde z.B. auch das Maschinenhaus von vornherein von der Betrachtung ausgeschlossen. Das Maschinenhaus hätte einen erheblichen Arbeitsaufwand bei der Durchführung des Auswahlverfahrens erforderlich gemacht, der auftragsgemäß nicht abgedeckt war.

In den Vorhaben SR 2418 und SR 2449 erfolgte vor allem eine methodische Weiterentwicklung und Systematisierung des von der GRS entwickelten mehrstufigen Auswahlverfahrens /HOF 03/ auf Basis einer umfangreichen, möglichst vollständigen Informationssammlung von anlagen- und brandspezifischen Daten, die nur für einige der sicherheitsrelevanten Gebäude zu erproben und verifizieren war. Dabei stellte sich im Verlauf der Arbeiten heraus, dass für eine vollständige Brand-PSA nach dieser

Methodik für jeden beliebigen Raum bzw. für jede beliebige Komponente auch die Kabelverläufe aller zugehörigen Kabel und deren Funktion bereit zu stellen sind. Damit lassen sich Aussagen treffen, welche PSA-relevante Komponente durch Ausfall welchen Kabels bei der Ausführung welcher Funktion beeinträchtigt wird.

Zusätzlich hat sich bei den durchgeführten Analysen herausgestellt, dass die Raumunterteilung einiger Räume bzw. Raumbereiche, z.B. wenn sie brandschutztechnisch voneinander abgeschottete Kabel bzw. Komponenten verschiedene Redundanzzugehörigkeit enthalten, weiter zu verfeinern ist, womit sich bereits während des Auswahlverfahrens Aussagen zur PSA-Relevanz dieser Räume bzw. Raumbereiche treffen lassen. Unter Einbezug dieser wesentlichen Informationen ist das Auswahlverfahren für einige Gebäude zu ergänzen und für andere zu wiederholen.

Für alle dann nicht von der Betrachtung auszuschließenden Räume bzw. Raumbereiche sind dann – sofern nicht bereits erfolgt – Detailanalysen durchzuführen, d.h. brandspezifische Ereignisabläufe unter Einbezug raumspezifischer Brandeintrittshäufigkeiten abzuleiten und deren Endzustände zu klassifizieren. Die Ergebnisse der Brand-PSA sind in die vorliegende PSA der Referenzanlage für den Leistungsbetrieb einzubinden.

Die Anlagenzustände des Nichtleistungsbetriebs betreffend, waren auftragsgemäß vor allem mögliche Unterschiede in der Vorgehensweise bei den Analyseschritten Informationssammlung und Auswahlverfahren gegenüber dem Leistungsbetrieb herauszuarbeiten und zu prüfen, ob und inwieweit sich die Methodik auf den Nichtleistungsbetrieb übertragen lässt. Bei dem begrenzten Auftragsumfang war demzufolge eine vollständige Informationssammlung unter Einbezug aller Informationen über während der einzelnen Phasen des Nichtleistungsbetriebs in den einzelnen Räumen bzw. Raumbereichen vorhandenen Brandlasten und möglichen Zündquellen nicht möglich.

Da insbesondere die Unterschiede zwischen Leistungsbetrieb und Nichtleistungsbetrieb bei der methodischen Herangehensweise herauszuarbeiten waren, wurden bereits in einer frühen Phase des Vorhabens SR 2418 Festlegungen hinsichtlich der im Rahmen von Detailanalysen zu untersuchenden Raumbereiche getroffen. Auf der Basis von Expertenentscheidungen wurde festgelegt, dass ein im Nichtleistungsbetrieb PSA-relevanter Raumbereich im Reaktorgebäude zu betrachten war.

Für die Durchführung einer vollständigen Brand-PSA für Anlagenzustände des Nichtleistungsbetriebs in der Referenzanlage sind Ergänzungen der Informationssammlung auf Basis von Datenzusammenstellungen zu den während der einzelnen Phasen des Nichtleistungsbetriebs durchzuführenden Heißarbeiten sowie zusätzlich vorhandener Brandlasten und Zündquellen sowie ein darauf basierendes, vollständiges Auswahlverfahren unter Einbezug der Informationen zu den während des Nichtleistungsbetriebs erforderlichen PSA-relevanten Komponenten und deren Funktion durchzuführen, bevor dann für alle nach dem Auswahlverfahren verbliebenen Räume bzw. Raumbereiche die Detailanalysen durchzuführen sind. Diese Arbeiten erfordern einen nicht unerheblichen Arbeitsaufwand.

## 5 Literatur

### 5.1 Allgemeine Literatur

- /BAR 03/ Bartalszky, H. et al.  
Erprobung und Bewertung von Methoden für probabilistische Sicherheitsanalysen zur Sicherheitsbewertung von Siedewasserreaktoren der Baulinie 69 (PSA SWR 69), Zwischenbericht zum Vorhaben SR 2414, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, April 2003
- /BER 04/ Berg, H. P., T. Fröhmel, R. Goertz  
Updating the Regulatory PSA Guidance in Germany Based on Current Applications, Proceedings of Probabilistic Safety Assessment and Management, PSAM7 – ESREL '04, Springer-Verlag, London, Berlin, Vol. 4, S. 1900 – 1905, 2004
- /BER 79/ Berry, D. L., E. E. Minor  
Nuclear Power Plant Fire Protection, Fire Hazard Analysis NUREG/CR-0654, SAND 79-0324, September 1979
- /DEH 02/ Dehne, M.  
Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung, Dissertation TU Braunschweig, 2003
- /DIN 81/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)  
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Baustoffe - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen (DIN 4102, Teil 1), Mai 1981
- /FAK 97/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke  
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: Dezember 1996, BfS-KT-16/97, Juni 1997
- /FAK 97a/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke  
Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, Stand: April 1997, BfS-KT 18/97, Juni 1997

- /FAN 01/ Framatome ANP (FANP)  
 Probabilistische Sicherheitsanalyse für den Nichtleistungsbetrieb  
 Kernkraftwerk Philippsburg 1,  
 Framatome ANP GmbH, Mai 2001
- /FAS 01/ Fasel, H.-J., M. Türschmann, M. Röwekamp  
 Die Auswahl kritischer Brandbereiche bei probabilistischen Brandanalysen  
 GRS-A-2835, April 2001
- /GIL 98/ Gilbert, J., H. Hoffmann  
 Probabilistische Brandschutzanalyse für Druckwasserreaktoren im Still-  
 stand  
 BMU-1998-524, ISSN 0724-3316
- /GRS 02/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nichtleistungsbetrieb  
 eines SWR  
 Sachstandsbericht zur Information des Auftraggebers, Dezember 2002
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Datenbank für meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken  
 "VERA", Stand 2003
- /GRS 91/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Sicherheitstechnische Optimierung von Brandschutzmaßnahmen in  
 Kernkraftwerken mit Siedewasserreaktoren, GRS-A-1774, April 1991
- /GRS 93/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 SWR Sicherheitsanalyse, Abschlußbericht, Teil 2, GRS-102/2,  
 ISBN3-923875-52-5, 1993
- /GRS 99/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 SWR Sicherheitsanalyse, Phase II, GRS-A-2713,  
 September 1999

- /HAI 01/ Haider, C., et al  
 Erweiterte PSA der Stufe 1 im Hinblick auf die Behandlung übergreifender  
 Einwirkungen und die Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten am Beispiel  
 einer Anlage vom Typ Konvoi  
 GRS-A-2836, Juni 2001
- /HOF 03/ Hofer, Eduard, M. Röwekamp, M. Türschmann  
 Fortschrittliche Methoden für eine Brand-PSA  
 GRS-190, ISBN 3-931995-58-5, Juli 2003
- /HOF 99/ Hofer, E., J. Peschke  
 Bayesian modeling of failure rates and initiating event frequencies,  
 Proceedings of ESREL 1999 – The 10. European Conference on Safety  
 and Reliability, Munich (Germany), 13 -17 Sept. 1999
- /HOL 01/ Holtschmidt, H., A. Kreuser, J. Peschke  
 Auswertung des Ausfallverhaltens von Komponenten aus gemeinsamer  
 Ursache für die PSA GKN-2, GRS-A-2930, August 2001
- /HOR 90/ Hora, S.C. and R.L. Iman:  
 Bayesian Modelling of Initiating Event Frequencies at Nuclear Power Plants  
 Risk Analysis, Vol. 10, No. 1, 1990, 103-109
- /HOS 04/ Hosser, D., et al.  
 “Durchführung von weiterführenden Kabelbrandversuchen einschließlich  
 der Präsentation der Ergebnisse im Rahmen des internationalen Projektes  
 ICFMP”, Vorhaben SR 2449, Unterauftrag UA-2298, Juni 2004
- /IAE 98/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
 Treatment of Internal fires in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear  
 Power Plants, Safety Reports Series, No. 10; IAEA, Vienna 1998
- /IAE 92/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
 Fire Protection in Nuclear Power plants, IAEA Safety Series SG-50-D2,  
 Rev. 1, 1992

- /IPS 01/ Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN)  
Methodology used by IPSN to estimate frequency of fires  
September 2000
- /JAH 88/ Jahn, H. und B. Schwinges  
Rechnungen zu einem Ölbrand im Maschinenhaus des Kernkraftwerkes  
KRB mit dem Rechenprogramm CRDLOC, GRS-A-1513, Dezember 1988
- /KLE 00/ Klein-Heßling, W., et al.  
COCOSYS V1.2 User's Manual, GRS-P-3,  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Juli 2000
- /KLE 01/ Klein-Heßling, W., M. Röwekamp, H.-J. Allelein  
Application of pyrolysis models in COCOSYS  
EUROSAFE 2001, November 2001
- /KTA 00/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA)  
Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 2101, Brandschutz in  
Kernkraftwerken, Teil 1-3, Fassung 12/00; Dezember 2000
- /KUL 03/ Kulig, M.  
An approach to risk-informed fire compartment screening  
SMIRT 17 Post Conference Seminar Nr. 21  
Piestany, Slovakia 08/2003
- /NOW 01/ Nowlen, S. P., et al  
Risk Method Insights Gained From Fire Incidents  
NUREG/CR-6738, SAND2001-1676P, September 2001
- /PES 95/ Peschke, J.  
Methoden zur Gewinnung von Verteilungen für Zuverlässigkeitskenngrößen  
aus Vorinformation und anlagenspezifischer Betriebserfahrung  
GRS-A-2220, Januar 1995

- /ROE 97/ Röwekamp, M., T. Riekert, W. Sehrbrock  
Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen  
in deutschen Kernkraftwerken, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und  
Strahlenschutz, BMU-1997-486, ISSN 0724-3316, 1997
- /ROE 00/ Röwekamp, M., S. Oltmanns  
Ermittlung kernkraftwerksspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen für  
Brandschutzeinrichtungen in einem älteren Kernkraftwerk und in einer  
Konvoi-Anlage, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-  
2001-573, ISSN 0724-3316, Dezember 2000
- /ROE 02/ Röwekamp, M., M. Türschmann  
Die Bestimmung anlagenspezifischer Eintrittshäufigkeiten von  
Entstehungsbränden in Räumen von Kernkraftwerken  
GRS-A-2977, Juni 2002
- /TUE 02/ Türschmann, M., M. Röwekamp  
Ermittlung von Sicherheitsindikatoren zur frühzeitigen Erkennung von  
Änderungen des brandschutztechnischen Sicherheitsniveaus  
GRS-A-3031, Juni 2002
- /TUE 04/ Türschmann M., J. von Linden, M. Röwekamp  
Systematisches Auswahlverfahren für probabilistische Brandanalysen  
GRS-A-3164, in Vorbereitung
- /WIK 04/ WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>

## 5.2 Anlagenspezifische Unterlagen

- /ENB 00/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Kabeltrassenplan, Grundriss 5,50 - 11,00 m, Ringtrassen  
Zeichnungsnr. 1A/3750/4010/ZA11-092/522404/E-YR, 04.07.2000
- /ENB 00a/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Kabeltrassenplan; Grundriss 5,50 - 11,00 m, vorwiegend Axialpumpen  
Zeichnungsnr. 1A/3750/4010/ZA11-091/522403/E-YR, 29.06.2000
- /ENB 01/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
ZA Anordnung Starkstr.- und Leittechn. UV, Grundriss 5,50 - 11,00 m,  
Aufstellungsplan Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA11-818-508140-EYD,  
25.07.2001
- /ENB 02/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Wesentliche Veränderungen an der Brandmeldeanlage seit 1990,  
interne Unterlage KKP-1 zum Brandschutz, 14.05.02
- /ENB 02a/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Informationen aus Begehung; Begehung ZA und ZE (ohne Sperrbereiche),  
ZV am 29./30. Januar 2002
- /ENB 02b/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Informationen aus Begehung; Begehung ZA (mit Sicherheitsbehälter ZX)  
und ZF während Revision (mit Sperrbereichen) am 15./16. Mai 2002
- /ENB 02c/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Informationen aus Begehung; Begehung ZE am 04./05. Juni 2002
- /ENB 03/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Betriebshandbuch KKP-1, Stand August 2003
- /ENB 03a/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Simuliertes Alarmprotokoll für Brand im Raum ZA03.11; (Meldergruppe 01-  
19-01 bis 01-19-04E); Ausdruck vom 11.11.2003

- /ENB 03b/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Brandschutzordnung KKP-1, Stand 12/2003
- /ENB 04/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Auszug aus der Datenbank der Arbeitsaufträge während der während der  
Revisionen 1993 bis 2003; (Arbeitsaufträge mit Brandschutzschein),  
Stand Januar 2004
- /ENB 90/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Brandschutz- und Fluchtwegepläne – USUS-Gebäude, Juni 1990  
Zeichnungsnr. 1A-4090-ZV14-741, 800044/BUF
- /ENB 94/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Brandschutz- und Fluchtwegepläne – Reaktorgebäude, Juni 1994
1. Zeichnungsnr. 1A-4010-ZA14-689, 800020/BUF (Ebene 00)
  2. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-318, 800009/B-UF (Ebene 01)
  3. Zeichnungsnr. 1A-4010-ZA14-319, 800010/BUF (Ebene 02)
  4. Zeichnungsnr. 1A-4010-ZA14-320, 800011/BUF (Ebene 03)
  5. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-321, 800012/B-UF (Ebene 04/05)
  6. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-322, 800013/B-UF (Ebene 06)
  7. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-323, 800014/B-UF (Ebene 07)
  8. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-482, 800016/B-UF (Ebene 08)
  9. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-483, 800017/B-UF (Ebene 09)
  10. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-484, 800018/B-UF (Ebene 10)
  11. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-485, 800019/B-UF (Ebene 11)
  12. Zeichnungsnr. 1-A-4010-ZA14-340, 800015/B-UF (Ebene 12)
- /ENB 94a/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
Brandschutz- und Fluchtwegepläne – Betriebs-, Warten- und  
Schaltanlagengebäude, Juni 1994
1. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-547, 800028/B-UF (Ebene 00)
  2. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-548, 800029/B-UF (Ebene 01)
  3. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-549, 800030/B-UF (Ebene 02)
  4. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-550, 800031/B-UF (Ebene 03)
  5. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-599, 800032/B-UF (Ebene 04)
  6. Zeichnungsnr. 1-A-4050-ZE14-600, 806277/B-UF (Ebene 05)

- /ENB 94b/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
 Brandschutz- und Fluchtwegepläne – Maschinenhaus, Juni 1994
1. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-342, 800027/BUF (Ebene 00)
  2. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-325, 800021/BUF (Ebene 01)
  3. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-326, 800022/BUF (Ebene 02)
  4. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-327, 800023/BUF (Ebene 03)
  5. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-328, 800024/BUF (Ebene 03/04)
  6. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-329, 800025/BUF (Ebene 05/06)
  7. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-330, 800026/BUF (Ebene 07)
  8. Zeichnungsnr. 1A-4020-ZF14-100, 806258/BUF (Ebene 08)
- /ENB 95/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
 Brandschutz- und Fluchtwegepläne – Notstromdiesel-Gebäude, Sept. 1995  
 Zeichnungsnr. 1A-4070-ZK 14-101, 806334/BUF
- /ENB 98/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
 Kernkraftwerk Philippsburg, Probabilistische Sicherheitsanalyse KKP 1,  
 Juli 1998
- /ENB 98a/ Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke GmbH  
 Kernkraftwerk Philippsburg, RiskSpectrum-Projekt, 1998
- /GRS 04/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 MS ACCESS®-Datenbank zur Brandanalyse <BA SWR-69>,  
 Stand Juni 2004
- /GRS 04a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Komponentenlisten zum Raum ZA03.11, MS EXCEL®-Datei <ZA0311  
*Komponenten.xls*>, 2004
- /GRS 04b/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Listenausdrucke der Ergebnisse anlagenspezifischer Erfassung  
 Zuverlässigkeitskenngrößen in der Datenbank zu Betriebsdaten BBD, 2004
- /GRS 04c/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Zusammenstellung der für die CRAVEX-Rechnungen verwendeten  
 Eingabe-Datensätze, 2004

/KAB 03/ Gesellschaft für Kabelmanagement und technische Beratung mbH (KAB-tec)

Von Kabeln verursachte Brandlasten (3 CD)

CD 1: Gebäude ZV, ZZ, ZO, ZM, ZK

CD 2: Gebäude ZA, ZX

CD 3: Gebäude ZE, ZF

KAB-tec, 2003

/KWU 00/ Kraftwerksunion (KWU)

N2-Inertisierungssystem XN, KWU Kundenschulungsmaterial,

KWU B211S, OS-Nr. 1663

/REU 93/ Reuter, S.

Brandschutztechnische Trennung redundanter elektrischer Einrichtungen in älteren Kernkraftwerken, Stellungnahme KKP zur RSK-Anfrage vom

06.04.1993; 25.06.1993