



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# SCHRIFTENREIHE REAKTORSICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

## SYSTEMATISCHES AUSWAHLVERFAHREN FÜR PROBABILISTISCHE BRANDANALYSEN

BMU - 2005-667



WIR STEuern UM AUF ERNEUERBARE ENERGIEN.

**BMU – 2005-667**

**„Systematisches Auswahlverfahren für probabilistische  
Brandanalysen“**

**M. Türschmann**

**J. von Linden**

**M. Röwekamp**

## **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

Eine PSA für das anlageninterne, übergreifende Ereignis Brand wird in mehreren Schritten durchgeführt. Erster Schritt ist dabei das Auswahlverfahren ("Screening"), das qualitativ oder quantitativ erfolgen kann oder auch mittels eines kombinierten qualitativen und quantitativen Verfahrens, wie es von der GRS in einem Forschungsvorhaben entwickelt wurde. Bei der Überarbeitung der Fachbände zum PSA-Leitfaden wurde zunehmend deutlich, dass das Auswahlverfahren der GRS insbesondere bei der systemtechnischen Auswahl einer stärkeren Automatisierung und Weiterentwicklung, bedarf, um den Einfluss von Expertenentscheidungen soweit wie möglich zu verringern. Dementsprechend erfolgte eine Weiterentwicklung des kombinierten Verfahrens.

Das im vorliegenden Bericht dargestellte, verbesserte Verfahren erlaubt es, Schätzwerte der Häufigkeiten von Schadenszuständen zu ermitteln. Damit können nicht nur relevante Brandszenarien identifiziert, sondern auch die in einer PSA für Vernachlässigungen festgelegten Abschneidekriterien bei Brandanalysen angewendet werden. Bei diesem Verfahren wird möglichst weitgehend auf bereits vorhandene PSA-Modelle zurückgegriffen, da die in diesen Modellen enthaltenen Ereignis- und Fehlerbäume detailliert den Zusammenhang zwischen Komponentenausfällen und dem Eintritt von Schadenszuständen beschreiben. Dabei verknüpft das Auswahlverfahren brand- und raumspezifische Informationen zur Ermittlung des brandbedingten Komponentenausfalls mit den PSA-Modellen zur Abschätzung von Schadenshäufigkeiten.

Das Auswahlverfahren ist dreistufig. Es beginnt mit einem weitgehend automatisierten brandspezifischen Auswahlprozess auf Basis einer umfangreichen anlagenspezifischen Informationssammlung. In einem weiteren Schritt werden dann qualitative PSA-Informationen berücksichtigt. Die danach verbliebenen und nach bestimmten Ordnungskriterien sortierten Räume bzw. Anlagenbereiche werden einem quantitativen systemtechnischen Auswahlprozess unterzogen. Dabei werden mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen Brandszenarien mit Brandausbreitung zwischen Räumen simuliert und anhand der abgeleiteten Komponentenausfälle Schadenshäufigkeiten ermittelt. Anschließend werden wiederum simulativ die Ereignis- und Fehlerbäume numerisch ausgewertet, wobei als Eingangsinformationen neben der Boole'schen Logik des Fehlerbaums die vorher ermittelten brandbedingten Komponentenausfälle sowie die in der PSA verwendeten Zuverlässigkeitskenngrößen herangezogen werden. Somit lassen sich mittlere Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung auslösender Ereignisse erfor-

derlichen Systemfunktionen unter Berücksichtigung möglicher Brandszenarien und pessimistischer Datenvorgaben ermitteln.

Damit ist eine belastbare Auswahl derjenigen Räume bzw. Anlagenbereiche möglich, die im Rahmen einer PSA für eine detaillierte probabilistische Bewertung erforderlich ist. Die weiterentwickelte Methodik wurde bei der Brand-PSA für ein deutsches Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor älterer Bauart erstmals erfolgreich angewandt.

## **Abstract**

A PSA for the plant internal fire hazard is carried out in several steps. First step is a selection process (“screening”). The screening can be performed qualitatively or quantitatively or by means of a combined qualitative and quantitative approach as developed by GRS in the frame of a research project. During the revision of the PSA guidance documents it turned out that the GRS screening approach needs further automation and developments, in particular regarding the systems specific part to reduce the effects of expert decisions as far as possible. Therefore, the combined approach has been further improved.

The improved screening approach as outlined in this report provides estimated values for damage frequencies. By this means, it is possible to identify relevant fire scenarios and to apply the cut-off criteria defined in the PSA for fire analyses. The approach corresponds as far as possible to the existing PSA models. The event and fault trees of these models describe in detail the correlation between component failures and the occurrence of damage states. The screening process combines fire and compartment specific information for estimating fire induced component failures with the PSA models for determining damage frequencies.

The screening process is carried out in three steps starting with an as far as possible automated fire specific screening based on a comprehensive plant specific information collection. In a second step, qualitative PSA specific information is considered. The rooms and/or plant areas not screened out and ranked by fire specific ranking criteria are subject to a quantitative systems specific selection.

Fire scenarios with fire spreading between compartments are simulated by means of Monte Carlo simulations and component failures derived for estimating damage frequencies. In the following, the event and fault trees are numerically analysed again by simulations. In this context, the fire induced component failures determined before and the reliability data applied in the PSA are considered as well as the Boolean logic of the fault tree. Mean values for the unavailability of the system functions needed for the mitigation of initiating events can thus be determined considering pessimistic data assumptions.

By this means, a reliable screening of those compartments and/or plant areas needed for a detailed probabilistic assessment in the frame of a PSA is possible. The improved

screening methodology has been successfully applied for the first time in the frame of a fire PSA for a German boiling water reactor designed to earlier standards.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Das Auswahlverfahren im Überblick</b> .....	<b>3</b>
2.1	Die Bedeutung des Auswahlverfahrens im Rahmen einer Brand-PSA.....	3
2.2	Das Auswahlverfahren .....	8
<b>3</b>	<b>Bereitstellung raumbezogener Informationen</b> .....	<b>11</b>
3.1	Informationsstruktur .....	12
3.1.1	Raumidentifikation und –klassifikation .....	13
3.1.2	Raumgeometrie.....	13
3.1.3	Brandspezifische Raumdaten .....	15
3.1.4	Raumnutzung.....	17
3.2	Abgeleitete Informationen .....	18
3.2.1	Brandeintrittshäufigkeit .....	18
3.2.2	Kennziffern zur Brandausbreitung .....	23
3.2.3	Rangfolgen der Räume nach den Kriterien Brandbelastung, Brandeintrittshäufigkeit und Brandausbreitung .....	29
3.2.4	Sonstige abgeleitete Informationen.....	30
<b>4</b>	<b>Durchführung des Auswahlverfahrens (Screening)</b> .....	<b>33</b>
4.1	Auswahlkriterium 1 (Brandbelastung) .....	33
4.2	Auswahlkriterium 2 (Gefährdungspotential) .....	34
4.3	Auswahlkriterium 3 (Kernschadenshäufigkeit) .....	35
4.3.1	Annahmen für das Auswahlverfahren nach Auswahlkriterium 3 .....	37
4.3.2	Brandbedingte Raumausfälle .....	37
4.3.3	Brandbedingte Ausfälle von Komponentenfunktionen .....	47
4.3.4	Eintritt brandbedingter auslösender Ereignisse.....	49
4.3.5	Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung auslösender Ereignisse.....	51
4.3.6	Auswertung der Simulationen zur Auswahl relevanter Brandentstehungs-Räume .....	57

4.3.7	Programmmodule für Schritt 3 des Auswahlverfahrens .....	58
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>65</b>

## **Anhänge**

<b>A-1</b>	<b>Datenbank <i>RAUM</i> – Datenstruktur .....</b>	<b>67</b>
<b>A-2</b>	<b>Datenbank <i>RAUM</i> – Kurzanleitung.....</b>	<b>75</b>
<b>A-3</b>	<b>Berechnung einer Ausbreitungskennzahl mit Hilfe eines generischen Ereignisablaufs .....</b>	<b>77</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Arbeitsschritte zur Bestimmung der durch ein Brandszenario $i$ induzierten Kernschadenshäufigkeit .....	7
Abb. 2-2:	Überblick zum Auswahlverfahren.....	8
Abb. 3-1:	Eingabeformular der Datenbank <i>RAUM</i> .....	12
Abb. 3-2:	Eingabe der Parameter zur Berechnung raumspezifischer Brandeintrittshäufigkeiten.....	21
Abb. 3-3:	Ergebnisformular Brandeintrittswahrscheinlichkeit für einen Raum.....	22
Abb. 4-1:	Raum-Schema zur Brandausbreitung.....	38
Abb. 4-2:	Hauptfenster des Simulationsprogramms CRAVEX .....	45
Abb. 4-3:	Eingabe des Brandentstehungsraums .....	45
Abb. 4-4:	Eingabe der Wahrscheinlichkeit für die Auslösung des Brandes.....	46
Abb. 4-5:	Eingabe der Abbruchkriterien für die Simulation .....	46
Abb. 4-6:	Eingabe der Raum-Komponenten-Zuordnung .....	49
Abb. 4-7:	CRAVEX-Hauptfenster nach Eingabe von Raum-Komponenten-Zuordnung, spezifischem Brandvektor sowie Raum und Wahrscheinlichkeit der Brandauslösung .....	53
Abb. 4-8:	CRAVEX-Fenster zum Starten der Simulationen.....	54
Abb. 4-9:	Fenster mit Angaben zu den laufenden Simulationen .....	54
Abb. 4-10:	CRAVEX-Fenster nach Beendigung des Programms.....	55
Abb. 4-11:	Liste der Raum- bzw. Komponentenausfälle und ihre Wahrscheinlichkeiten .....	56
Abb. 4-12:	Ergebniswerte der Simulation (Ausschnitt aus dem Ergebnisprotokoll) .....	56
Abb. 4-13:	Ausfallkombinationen (Ausschnitt aus dem Ergebnisprotokoll).....	57

## Abbildungen in den Anhängen

Abb. A1-1: Datenstruktur (aus der probabilistischen Brandanalyse für eine Siedewasserreaktoranlage älterer Bauart /GRS 04/)	67
Abb. A3-1: Brandspezifischer Ereignisablauf für den Auswahlprozess	79
Abb. A3-2: Benötigte Daten zur Bestimmung einer Ausbreitungskennzahl	80
Abb. A3-3: Verzweigung Brandmeldung	83
Abb. A3-4: Anzeige Berechnung Brandauswirkungsdiagramm eines Raumes	87

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Grundlegende Definitionen zum Auswahlverfahren und Erläuterungen zum probabilistischen Brandmodell.....	5
Tab. 3-1:	Klassifikation der Raumverbindungen (Auszug aus /GRS 04/)	14
Tab. 3-2:	Kenngößen im Verfahren von Berry /BER 79/ .....	20
Tab. 3-3:	Angenommene Nichtverfügbarkeiten der Brandmeldung in Abhängigkeit von der Raumsituation .....	25
Tab. 3-4:	Angenommene Nichtverfügbarkeiten der Brandlöschung mit transportablen manuellen Feuerlöschgeräten in Abhängigkeit von der Raumsituation .....	26
Tab. 3-5:	Angenommene Nichtverfügbarkeiten der automatischen Brandlöschung in Abhängigkeit von der Raumsituation.....	27
Tab. 3-6:	Nichtverfügbarkeiten von bautechnischen Abtrennungen zwischen Räumen.....	27
Tab. 4-1:	Spezifischer Brandvektor mit Brandauslösung in R44 (Beispiel 1) .....	40
Tab. 4-2:	Spezifischer Brandvektor mit Brandauslösung in R11 (Beispiel 2) .....	42
Tab. 4-3:	Wahrscheinlichkeiten für brandbedingte Raumausfälle bei Brandauslösung in R11 mit der Wahrscheinlichkeit gleich 1.....	47

## Tabellen in den Anhängen

Tab. A1-1:	Tabellen und Felder der Datenbank RAUM.....	67
Tab. A3-1:	Verzweigungspunkte in einem brandspezifischen Ereignisablauf .....	77
Tab. A3-2:	Endzustände im brandspezifischen Ereignisablauf .....	78
Tab. A3-3:	Angaben zur Berechnung des brandspezifischen Ereignisablaufs.....	81
Tab. A3-4:	Entdeckungswahrscheinlichkeiten für einen Brand .....	82



# 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 Das Auswahlverfahren im Überblick

Nachfolgend wird das von der GRS im Rahmen des BMWA-Forschungsvorhabens RS 1112 (siehe /HOF 03/) entwickelte zweistufige qualitative-quantitative Auswahlverfahren (Screening) nach brandspezifischen und systemtechnischen Gesichtspunkten in einem kurzen Überblick dargestellt. Im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2418 wurde insbesondere die quantitative Auswahl nach systemtechnischen Gesichtspunkten weiterentwickelt. Das Verfahren wurde bei der Brand-PSA für ein Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor älterer Bauart (SWR 69) angewendet.

### 2.1 Die Bedeutung des Auswahlverfahrens im Rahmen einer Brand-PSA

Bevor für ausgewählte Räume bzw. Anlagenbereiche detaillierte probabilistische Untersuchungen und Fehlerbaumanalysen durchgeführt werden können, muss die große Zahl der Räume eines Kernkraftwerkes zunächst einmal durch ein Auswahl- oder Screening-Verfahren so reduziert werden, dass nur noch diejenigen Räume bzw. Anlagenbereiche weiter untersucht werden, für die signifikante Beiträge zur Häufigkeit von Kernschadenszuständen zu erwarten sind.

Die brandbedingte Kernschadenshäufigkeit  $FCDF$  berechnet sich aus der Summe der Kernschadenshäufigkeiten aller möglichen Brandszenarien  $i$  (zur Erläuterung von Bezeichnungen und Symbolen siehe Tab. 2-1):

$$FCDF = \sum_i FCDF_i \quad (1)$$

Die Bewertung eines Brandszenarios  $i$  in Hinblick auf die induzierte Kernschadenshäufigkeit setzt sich aus den folgenden drei Modellierungsschritten zusammen:

1. Bewertung der Brandeintrittshäufigkeit  $f_i$ ,
2. Bewertung der bedingten Wahrscheinlichkeit  $p_{\{K\}_{ij}}$  des Ausfalls einer Komponentenmenge  $\{K\}_{ij}$  aufgrund eines Brandszenarios  $i, j=1, \dots, m_i$

3. Bewertung der bedingten Wahrscheinlichkeit  $P_{FCD/\{K\}_{ij}}$  eines Kernschadens für jede relevante Komponentenmenge  $\{K\}_{ij}$ .

Die Kernschadenshäufigkeit bezüglich des Brandszenarios  $i$  ergibt sich dann aus folgender Formel (siehe auch Abb. 2-1):

$$FCDF_i = f_i \cdot \sum_{j=1, \dots, m_i} P_{\{K\}_{ij}} \cdot P_{FCD/\{K\}_{ij}} \quad (2)$$

Auf der Grundlage der Formeln (1), (2) zur Berechnung der brandbedingten Kernschadenshäufigkeit  $FCDF$  ist ein praktikables Verfahren zur Bestimmung dieses Werts abzuleiten.

Einerseits ist es nicht praktikabel,  $FCDF$  entsprechend Formel (1) so zu bestimmen, dass für jede mögliche Brandlast ein Brandszenario entwickelt wird, um die entsprechenden Eintrittshäufigkeiten und bedingten Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Andererseits liefert die Formel (2) für die Ableitung eines einzelnen Brandszenarios Hinweise und Ansatzpunkte, inwieweit die Arbeit vereinfacht werden kann. Es ist die Aufgabe eines Auswahlverfahrens, aus der großen Anzahl von denkbaren Brandszenarien diejenigen auszuwählen, die bestimmend für die brandbedingte Kernschmelzhäufigkeit  $FCDF$  sind. Anders formuliert heißt das: Mit einem Auswahlverfahren werden die Brandszenarien aussortiert, die einen vernachlässigbaren Beitrag zu  $FCDF$  liefern.

**Tab. 2-1:** Grundlegende Definitionen zum Auswahlverfahren und Erläuterungen zum probabilistischen Brandmodell

Bezeichnung; Begriff	Definition und Erläuterungen
$f_i$	Eintrittshäufigkeit eines Brandes (Brandszenario $i$ )
$P_{\{K\}_{i,j}}$	Bedingte Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Brandszenario $i$ die Komponentenmenge $\{K\}_{i,j}$ ausfällt. Diese Wahrscheinlichkeit wird mit Hilfe von brandspezifischen Ereignisabläufen bestimmt. Dabei werden die Funktionen von Branderkennung, -meldung, -bekämpfung berücksichtigt.
$P_{FCD \{K\}_{i,j}}$	Bedingte Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Brandszenario $i$ ein Kernschaden aufgrund des Ausfalls der Komponentenmenge $\{K\}_{i,j}$ eintritt.  Bei der Einbindung des Ausfalls in die vorhandene PSA ist zu berücksichtigen, ob durch den Ausfall der Komponentenmenge ein auslösendes Ereignis induziert wird und ob die Beherrschung des auslösenden Ereignisses beeinflusst wird.
$\{K\}; \#\{K\}$	Menge von Komponenten; Anzahl von Elementen in $\{K\}$
$\{R\}; \#\{R\}$	Menge von Räumen; Anzahl von Elementen in Menge $\{R\}$
$\{R\}_0$	Menge der Räume in einem Kraftwerksgebäude
$\{R\}_1, \{R\}_2, \{R\}_3$	Raummengen nach Anwendung des 1., 2. und 3. Auswahlkriteriums auf die Ausgangsmenge $\{R\}_0$
Brandszenario $i$	Jede Brandlast kann durch Zündung zum Ausgangspunkt eines Brandes werden. Der Brandverlauf wird durch vielfältige zufällige Einflüsse geprägt, meist vereinfacht dargestellt in brandspezifischen Ereignisabläufen. Jeder Endzustand eines brandspezifischen Ereignisablaufs lässt sich durch eine Menge von Komponenten $\{K\}_{ij}$ charakterisieren, $j=1, \dots, m_i$ . Die Anzahl $m_i$ der zu unterscheidenden Endzustände ist abhängig vom Ausgangspunkt des Brandes. Alle Komponenten von $\{K\}_{ij}$ sind aufgrund von Brand- oder Löscheinwirkung ausgefallen. Ein Brandszenario ist charakterisiert durch den Brandausgangsort, den möglichen Brandverlauf (Ereignisablauf mit mehreren Sequenzen) und durch die dabei erzeugten Endzustände $\{K\}$ .
$FCDF, FCDF_i$	$FCDF$ bezeichnet die Brand-Kernschadenshäufigkeit (Ergebnis einer Brand-PSA, Formel (1)), $FCDF_i$ bezeichnet die Kernschadenshäufigkeit für ein Brandszenario $i$

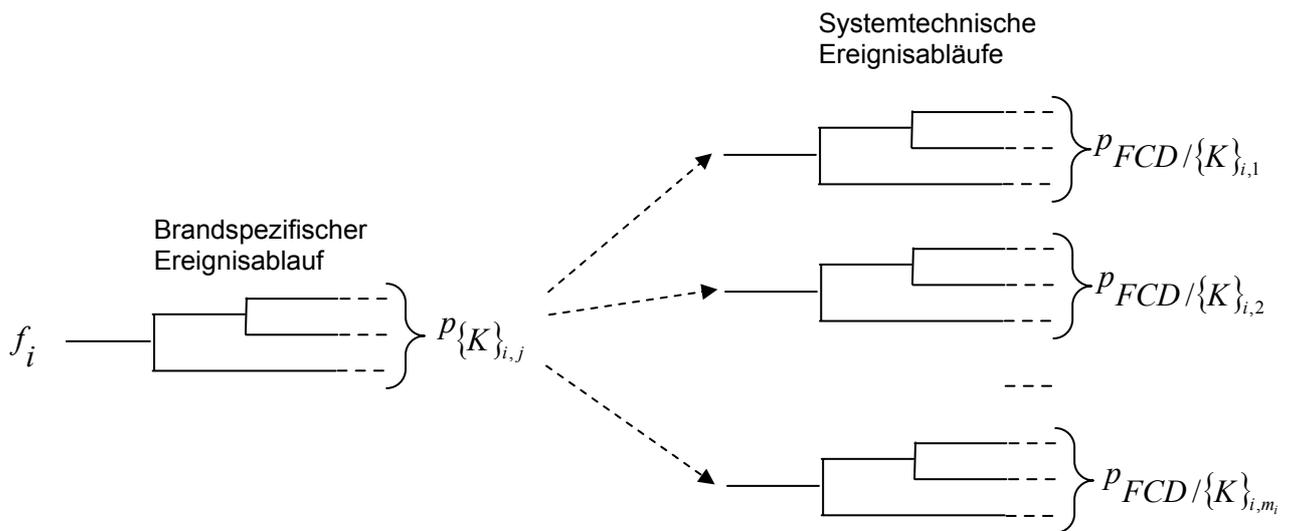
Bezeichnung; Begriff	Definition und Erläuterungen
<p>Komponentenmenge <math>\{K\}_{ij}</math></p>	<p>Menge von Komponenten <math>\{K\}_{ij}, j=1, \dots, m_i</math>, die bei einem Brandszenario <math>i</math> ausfallen. Der Ausfall dieser Komponenten wird bezüglich des eventuell entstehenden Schadens probabilistisch durch Einbindung in die PSA bewertet.</p> <p>Die Anzahl zu betrachtender Komponentenmengen <math>m_i</math> ist vom Brandszenarium <math>i</math> und vom Umfang des Inventars in der Nähe des Brandentstehungsortes ab. Theoretisch müsste jede Teilmenge der Menge von Komponenten, die durch Brandausbreitung in ihrer Funktion beeinträchtigt werden können, betrachtet werden.</p> <p>Meist wird aber von drei Mengen ausgegangen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Der Brand bleibt auf den Entstehungsort beschränkt, d.h. die entsprechende Komponentenmenge enthält nur eine Komponente, falls der Entstehungsort eine Komponente ist.</li> <li>2) Der Brand führt zum Ausfall aller Komponenten im Brandentstehungsraum (Komponentenmenge enthält alle Komponenten des Raumes).</li> <li>3) Der Brand breitet sich in benachbarte Räume aus.</li> </ol> <p>Nach dem Vorliegen von Brandsimulationsrechnungen können die Mengen in Abhängigkeit von der Brandausbreitungsgeschwindigkeit und -richtung festgelegt werden.</p>
$m_i$	Anzahl der Endzustände für Brandszenario $i$
Raum	Im Rahmen des Auswahlverfahrens bezüglich der Brandentstehung und -ausbreitung betrachtete kleinste räumliche Einheit. Der Begriff des <i>Raums</i> orientiert sich grundsätzlich an der Anlagenkennzeichnung, kann aber in Sonderfällen differenziert werden (Zusammenfassung oder Unterteilung von Räumen).
Raumausfall	Räume, in denen ein Brand entstanden ist oder in die sich ein Brand ausgebreitet hat, gelten als „ausgefallen“. Für das Auswahlverfahren bedeutet das, dass alle Komponenten im Raum als ausgefallen angenommen werden (vgl. Abschnitt 4.3).
wichtige Komponenten	Eine Komponente wird wichtig genannt, wenn sie bezüglich einer Ausfallart als Basisereignis im PSA-Anlagenmodell enthalten ist.

Eine PSA für das anlageninterne übergreifende Ereignis Brand umfasst die folgenden zwei Arbeitsschritte:

1. Auswahlverfahren zur Auswahl relevanter Raumbereiche  
(wird im folgenden Abschnitt 2.2 beschrieben)

2. Durchführung von Detailanalysen

Für alle mit dem Auswahlverfahren nicht ausgesonderten Brandszenarien sind Detailanalysen entsprechend des in Abb. 2-1 dargestellten Vorgehens zur bestmöglichen Bestimmung der in Formel (2) benötigten Parameter durchzuführen. Dieser Arbeitsschritt umfasst sowohl die Durchführung brandspezifischer Detailanalysen, d. h. die Bestimmung der Eintrittshäufigkeit des Brandszenarios sowie die Ableitung und Quantifizierung brandspezifischer Ereignisabläufe, als auch die Einbindung der brandspezifischen Ergebnisse in die vorhandene PSA.



**Abb. 2-1:** Arbeitsschritte zur Bestimmung der durch ein Brandszenario  $i$  induzierten Kernschadenshäufigkeit

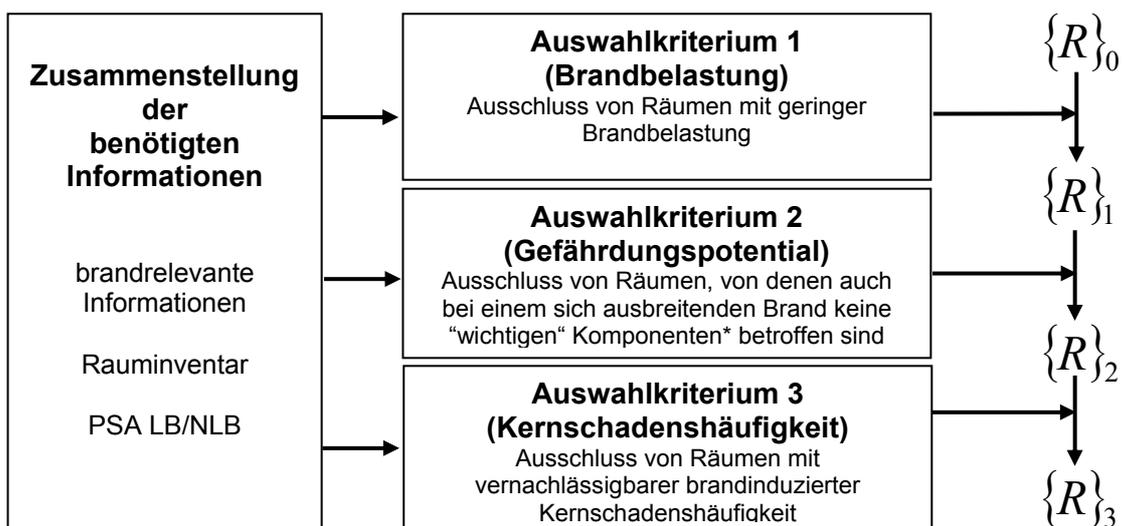
Der vorliegende Bericht beschreibt die theoretischen Grundlagen und die methodische Durchführung des ersten Arbeitsschrittes einer Brand-PSA, des systematischen kombinierten Auswahlverfahrens unter sowohl brandspezifischen als auch systemtechnischen Gesichtspunkten.

## 2.2 Das Auswahlverfahren

Die Berechnung der auf jeden möglichen Brandausgangspunkt bezogenen Brandeintrittshäufigkeiten und bedingten Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines Kernschadenzustandes erfordert einen nicht unerheblichen Arbeitsaufwand, der schrittweise durch Zusammenfassung und Ausschluss von Brandszenarien deutlich reduziert werden kann, ohne das Ergebnis der Brand-PSA zu verfälschen.

Das nachfolgend zusammenfassend und in den Kapiteln 1 und 1 im Detail beschriebene Auswahlverfahren bezieht sich auf Räume, nicht auf einzelne Brandquellen und die daraus entstehenden Brandszenarien. Es ist nicht praktikabel, schon im Auswahlverfahren auf jede mögliche Brandquelle einzugehen. Wird während des Auswahlverfahrens festgestellt, dass ein Raum nicht ausgesondert werden kann, ist im Rahmen der Detailanalyse zu prüfen, ob mehrere mögliche Brandquellen im Raum betrachtet werden müssen.

Als Räume werden grundsätzlich die entsprechend der Anlagenomenklatur festgelegten Bereiche bezeichnet. In Sonderfällen muss das die Analyse durchführende Arbeitsteam entscheiden, ob Räume zusammengefasst oder weiter unterteilt werden müssen. Dazu erfolgen ausführliche Darstellungen in Kapitel 3.1.



$\{R\}_0$  - Menge aller Räume

$\{R\}_i$  - Menge der Räume nach Anwendung von Auswahlkriterium  $i$ ,  $\{R\}_i \subseteq \{R\}_{i+1}$ ;  $i = 0.1.2$

\* - siehe Abschnitt 4.2

**Abb. 2-2:** Überblick zum Auswahlverfahren

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

1. Zusammenstellung aller für den Auswahlprozess benötigten Informationen  
Das bedeutet sowohl Sammlung von Informationen für jeden einzelnen Raum als auch die Bereitstellung übergreifender Informationen (Details dazu in Kapitel 1).
2. Durchführung der Auswahl Schritte  
Die endgültige Raumauswahl beruht auf der Anwendung von drei automatischen Kriterien und auf Expertenentscheidungen, beides auf der Grundlage der zusammengestellten Informationen (siehe Abb. 2-2; Details in Kapitel 1).

Ergebnis des Auswahlprozesses ist eine Menge  $\{R\}_3$  von Räumen, für die Detailanalysen entsprechend Formel (2) durchgeführt werden müssen.

Dazu werden in der Menge  $\{R\}_0$  alle Räume mit einer geringen Brandbelastung (siehe Abschnitt 4.1) ausgeschlossen. Für alle Räume mit einer relevanten Brandbelastung, das ist die Menge  $\{R\}_1$ , wird mit dem zweiten Auswahlkriterium überprüft, ob bei einem sich ausbreitenden Brand keine "wichtigen" Komponenten (Definition siehe Abschnitt 4.2) betroffen sind. Ist das der Fall, können auch solche Räume ausgeschlossen werden (siehe Abschnitt 4.2). Für alle Räume der verbleibenden Menge  $\{R\}_2$  ist zu prüfen, ob die durch einen Brand im Raum induzierte Kernschadenshäufigkeit vernachlässigbar ist (siehe Abschnitt 4.3). Nach dem Ausschluss auch dieser Räume erhält man die Menge  $\{R\}_3$  der Räume, für die Detailanalysen durchzuführen sind.



### 3 Bereitstellung raumbezogener Informationen

Unter einem Raum im Sinne des Auswahlverfahrens versteht man die kleinste lokale Einheit, für die es im Rahmen einer probabilistischen Brandanalyse erforderlich ist, detaillierte Informationen zusammen zu stellen.  $\{R\}_0$  sei die Menge aller Räume eines zu untersuchenden relevanten Gebäudes. Die Anzahl der Räume ist im Wesentlichen durch das Kennzeichnungssystem der Anlage gegeben. Aus verschiedenen Gründen kann es sinnvoll und erforderlich sein, für die weitere Analyse Räume zusammenzufassen oder auch zu unterteilen.

Beispielsweise haben auch lange Kabelkanäle im Allgemeinen nur eine Raumbezeichnung, sind aber oftmals durch Brandschutztüren in kleinere Abschnitte unterteilt. Sehr große Räume (z. B. Ringräume, Flure) sollten, insbesondere wenn sie viele Verbindungen zu Nachbarräumen haben oder die Brandlasten in ihnen inhomogen verteilt sind, in kleinere Raumeinheiten unterteilt werden.

Es ist zu beachten, dass viele weitere Informationen direkt von der Raumbezeichnung abhängen. So ist es z. B. bei großen unterteilten Räumen schwierig, die Komponenten-zuordnung oder die Brandlastverteilung automatisch zu bestimmen. Dies kann dann nur anhand von Anlagendokumentationen und Begehungen erarbeitet werden.

Zur Bereitstellung und Auswertung raumbezogener Informationen wurde die Datenbank *RAUM* (Programm MS Access<sup>®</sup>) erstellt. Die grundlegende Struktur dieser Datenbank (siehe Anhang A) wurde im Wesentlichen anhand mehrerer anlagenspezifischer Branduntersuchungen erarbeitet. Diese sind in den Berichten /HAI 02/, /GRS 04/ und /TUE 03/ dokumentiert. Da die Anlagendokumentationen – insbesondere elektronischer Art - in den zu untersuchenden Referenzanlagen sehr unterschiedlich sind, konnte nur eine Grundstruktur der Daten vorgegeben werden. Bei zukünftigen Projekten mit anderen Referenzanlagen wird es gegebenenfalls erforderlich sein, die Tabellen den gegebenen Daten und Datenstrukturen anzupassen.

Bei der Beschreibung von Struktur und Nutzung der Datenbank *RAUM* muss man sich häufig auf einzelne Datenbankobjekte beziehen. Datenbankobjekte, d.h. Tabellen, Abfragen, Berichte, etc., werden durch spitze Klammern gekennzeichnet. Ein Bezug auf Tabellenfelder wird durch *kursive* Schreibweise deutlich gemacht.

### 3.1 Informationsstruktur

Die Struktur der Datenbank ist im Detail (Beschreibung aller Felder) in der Tab. A1-1 des Anhangs 1 dargestellt. Nachfolgend werden anhand des Eingabeformulars der Datenbank die wesentlichen Eingaben der Datenbank erläutert.

The screenshot shows a software window titled "Raumeigenschaften - Eingabe" (Room Properties - Input). The form is divided into several sections, each with numbered callouts (01-28) indicating specific input fields:

- 01-05:** Header fields for building, room, area, and room designation.
- 06:** Check for "Raum ist Sperrbereich" (Room is restricted area).
- 09-14:** Connection and partitioning options to other rooms.
- 13:** Miscellaneous remarks field.
- 07-08:** Fire load and fire fighting parameters.
- 11-19:** Fire hazard details including combustibles, fire alarm, and extinguishing possibilities.
- 20-22:** Room usage and inventory/criterion selection.
- 23:** Supplementary remarks field.
- 24-26:** Fire detection and alarm settings.
- 27-28:** Fire spreading and equipment amount settings.
- 29-31:** Room importance and feature calculation buttons.

Abb. 3-1: Eingabeformular der Datenbank RAUM

Es gibt ein Datenbankfeld für Kommentare und zusätzliche Information jeglicher Art, die sich nicht eindeutig zuordnen lassen (Feld 23, siehe Abb. 3-1).

### 3.1.1 Raumidentifikation und -klassifikation

Jeder Raum kann mit den Feldern 01 bis 06 (siehe Abb. 3-1) eindeutig identifiziert und klassifiziert werden. Zur Identifikation gehören die Gebäudebezeichnung (01), die Raumnummer (02), eine Kurzbezeichnung (05) und die Höhenkote (03). Der Raum kann mit Hilfe der Felder 04, 06, 07 und 08 klassifiziert werden.

In /GRS 04/ wird – in Anlehnung an die Anlagenkennzeichnung der Referenzanlage - ZGxx.yy als Nomenklatur zur Raumbezeichnung genutzt, dabei steht ZG für das Gebäude und xx.yy für die Raumnummer (xx Etage bzw. Ebene, yy Raumnummer). In einigen Fällen ist es erforderlich, die durch die Anlagenkennzeichnung vorgegebenen räumlichen Strukturen weiter zu unterteilen, z. B. wenn ein Raum zu mehreren Brandabschnitten gehört oder zu groß ist (Korridore, Treppenhäuser). In solchen Fällen wird die vorhandene Nomenklatur um eine Stelle ergänzt, ZGxx.yyz mit  $z = A, B, C, \dots$ . Sind Kabel im Raum brandschutztechnisch abgetrennt in speziellen Kabelkanälen verlegt, sind diese Kanäle als Räume aufzufassen.

Gehören Räume zu einer Raumgruppe, kann das Feld 07 zur Kennzeichnung genutzt werden. Bei den Untersuchungen für eine moderne deutsche Druckwasserreaktoranlage /HAI 02/ waren Brandlasten nur für Raumgruppen gegeben, was mit Hilfe dieses Feldes deutlich gemacht werden konnte. In Abhängigkeit von der im zu analysierenden Kernkraftwerk tatsächlich vorliegenden Datenstruktur können die Felder 04, 06 und 08 zur weiteren Klassifikation der Räume genutzt werden. Feld 06 ist binär und wird in /GRS 04/ genutzt, um Räume in Sperrbereichen zu kennzeichnen.

In ukrainischen Kernkraftwerken hingegen sind die Räume von vornherein nach festgelegten Kriterien in Brandgefahrenklassen unterteilt. Diese Klassifikation wurde bei den Arbeiten zur Brand-PSA für eine Anlage sowjetischer Bauart vom Typ WWER-1000 (vgl. /TUE 03/) im Feld 08 berücksichtigt.

### 3.1.2 Raumgeometrie

Zur Raumgeometrie gehören die Eingabefelder 09 bis 14 (siehe Abb. 3-1). Neben der Raumgröße, d.h. der Grundfläche des Raumes in  $[m^2]$  (11), und dem Raumvolumen (12) sind die Raumverbindungen (09) sowie die baulichen Abtrennungen bzw. Abschottungen (10) zwischen den Räumen einzugeben. In Feld 13 können ergänzende Bemerkungen zu Besonderheiten der Raumgeometrie eingegeben werden.

Sowohl die Raumverbindungen als auch die Abtrennungen (Wände) zwischen den Räumen sind vor Beginn der Dateneingabe zu klassifizieren. Das Ergebnis der Klassifikation ist in die Datenbanktabellen <N Verbindungen> und <N Wände> einzugeben. Als Beispiel ist ein Auszug aus der Verbindungsklassifikation für eine Siedewasserreaktoranlage älterer Bauart (siehe /GRS 04/) in Tab. 3-1 dargestellt.

**Tab. 3-1:** Klassifikation der Raumverbindungen (Auszug aus /GRS 04/)

<b>Kurzzeichen</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Bemerkungen</b>
L	Luke	Luke, meist im Boden- bzw. im Deckenbereich, dazu gehören auch Notausstiege, Einstiege, Montageluken etc.
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
TE	Tür mit Einzelzulassung	Sondertür bzw. Tür mit Einzelzulassung. Die Eigenschaften der Tür können im Datenbankfeld <i>Bemerkungen</i> (13) näher spezifiziert werden.
Txx	Tür Txx	Tür mit Brandwiderstandsdauer xx Minuten; dabei handelt es sich bei xx meist um 15, 30, 60 oder 90 Minuten.
...		

Die Klassifikation der Raumverbindungen kann sehr detailliert vorgenommen werden. Da die Zusammenstellung der Daten zur Raumgeometrie mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden ist, sollte aber vorher genau die Zielstellung der mit Hilfe der Datenbank durchzuführenden Untersuchung festgelegt werden.

Die nachfolgenden Informationen lassen sich zusätzlich in der Verbindungsklassifikation codieren:

- Verbindung - Art der Verbindung (offen, Tür, Luke, ...),
- Feuerwiderstandsdauer (90 min, 60 min, etc. oder 0 min bei Öffnungen bzw. normalen Türen),
- Verbindungsrichtung (Öffnungsrichtung der Tür),

- Verbindungsfläche (in  $[m^2]$ ; diese wird z. B. bei Öffnungen zur Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer oder für Brandausbreitungsrechnungen benötigt)
- Nutzungsart der Verbindung (Notausstieg, Montageluke, etc.)
- weitere Eigenschaften der Verbindung (bei Türen ist z. B. die Frage der Rauchdichtheit von Interesse; bei Luken die Art des Verschlusses, z. B. verschraubt).

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass in der Datenbank noch keine Abbildung des Lüftungssystems realisiert wurde. Die bisherige Angabe der im Raum vorhandenen Lüftungsklappen (im Feld 14) hat sich in /GRS 04/ als nicht notwendig erwiesen, da auf eine vollständige Raum-Komponentenmatrix zurückgegriffen werden konnte, die natürlich auch die räumliche Zuordnung der Lüftungsklappen enthielt.

Als Einzelangaben zur Lüftung in einem Raum sind zukünftig aufzunehmen:

- Summe natürlicher Ventilationsöffnungen im Raum (in  $[m^2]$ )
- Zuluftvolumenstrom der Zwangsventilation (in  $[m^3/h]$ ).

Eine Abbildung der Lüftungssysteme eines Kernkraftwerks ist für zukünftige Untersuchungen wünschenswert, insbesondere kann auf diese Weise die Analyse der Rauchausbreitung bei Bränden dann auch raumspezifisch durchgeführt werden. Ebenso lässt sich überprüfen, ob über die Lüftungskanäle eine unzulässige Aufheizung einer benachbarten Redundanz im Brandfall möglich ist. Für eine Abbildung in der Datenbank bietet sich eine Liste der Lüftungskanäle mit ihren Eigenschaften an. Jedem Raum werden dann die in den Raum führenden Kanäle zugeordnet. Bei vollständiger Erfassung lässt sich zu jedem Raum eine Liste von Räumen erstellen, in welche eine Rauchverschleppung bei einem Ausfall von Klappen und anderen Schließvorrichtungen möglich ist.

### **3.1.3 Brandspezifische Raumdaten**

Ein weiterer Datenblock enthält Informationen zu den Brandlasten und zu den Möglichkeiten der Brandmeldung und -bekämpfung (Felder 15 bis 19, siehe Abb. 3-1). Zur Aufzeichnung von nicht in den Feldern 15 bis 18 standardisiert einzutragenden Eigen-

schaften können im Feld 19 Besonderheiten, Auffälligkeiten und Kommentare zu den brandspezifischen Daten vermerkt werden.

Die Eingabe der Brandbelastung ist abhängig von den zur Verfügung stehenden Daten. Im einfachsten Fall sind die Brandbelastungen, d.h. die Menge an Brandgut pro m<sup>2</sup> Grundfläche des Raumes, für alle Räume (bzw. Raumgruppen) bekannt. Dann kann der Wert direkt in Feld 15 eingetragen werden; dies war beispielsweise bei den Untersuchungen für eine Reaktoranlage sowjetischer Bauart vom Typ WWER-1000 (siehe auch /TUE 03/) der Fall. Ansonsten ergibt sich die Brandbelastung aus der mit der Raumfläche (Feld 11) gewichteten Summe der Brandlasten, die sich aus den Mengen verschiedener im Raum vorhandener Brandgüter (Eingabe Feld 16) und deren jeweiligen Heizwerten ergibt. Auf eine automatische Berechnung der Brandbelastung nach Eingabe der Werte in Feld 16 (bzw. Tabelle <B>, siehe Tab. A1-1) wurde bisher verzichtet, da in allen bisher bearbeiteten Fällen eine Vielzahl von Sonderfällen zu berücksichtigen waren.

Die Datenbank wird zukünftig aufgrund der in /HAI 02/, /HOF 03/ und /GRS 04/ gemachten Erfahrungen im Hinblick auf die Beschreibung der Brandlasten erweitert. Es ist erforderlich, zwischen geschützten und ungeschützten Brandlasten zu unterscheiden. Der Beitrag von geschützten, d.h. brandschutztechnisch abgetrennten oder auch durch Beschichtungen geschützten Brandlasten zur gesamten Brandbelastung eines Raumes kann nach KTA 2101.2 /KTA 00/ durch einen Faktor (Kombinationsbeiwert) verringert werden. Kabel sind oftmals durch ablative oder dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtungen geschützt oder brandschutztechnisch getrennt in speziellen Kanälen verlegt. Bei Verlegung in solchen Kanälen kann eine sichere Abtrennung angenommen werden (oftmals mit einer Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten). Eine Brandausbreitung ist in diesen Fällen nur über eine gegebenenfalls vorhandene, nicht ordnungsgemäß verschlossene Montageluke möglich. Demzufolge sollten solche Kabelkanäle als eigenständige Räume im Sinne des Auswahlverfahrens aufgefasst werden. Damit ist diesem Fall die Brandlastmenge im Kanal von der Brandlast des Raumes, in dem sich der jeweilige Kanal befindet, abzuziehen.

Zur Eingabe der Einrichtungen für die Brandmeldung ist Feld 17 vorgesehen. In der Tabelle <N Brandmeldung> sollten vor Eingabe in die Datenbank die im Kernkraftwerk vorhandenen Brandmeldeeinrichtungen klassifiziert und kategorisiert werden. In der Tabelle <BM> sind dann die Art des jeweiligen Melders (z. B. Ionisationsmelder, Wär-

medifferentialmelder, optischer Rauchmelder etc) das Anlagenkennzeichen und die Lage des Melders einzugeben.

Zur Eingabe der Brandbekämpfungsmöglichkeiten ist Feld 18 vorgesehen. In der Tabelle <N Löschanlagen> sollten vor Beginn des Auswahlprozesses alle im Kernkraftwerk vorhandenen Löscheinrichtungen kategorisiert und klassifiziert werden. In Tabelle <L> sind dann die Art der Löscheinrichtung, deren Anlagenkennzeichen, die Menge des zugehörigen Löschmittels und der jeweilige Löschbereich einzugeben.

Bei den Feldern 24 bis 28 handelt es sich um Eingabefelder für die Methode von Berry zur Bestimmung raumspezifischer Eintrittshäufigkeiten (siehe dazu Kapitel 3.2.1.1).

#### **3.1.4 Raumnutzung**

Zur Durchführung von deterministischen wie probabilistischen Brandgefahren- und -risikoanalysen werden vollständige Inventarlisten für jeden Raum benötigt. Dazu gehören sowohl alle in dem jeweiligen Raum bzw. Raumbereich vorhandenen Komponenten als auch alle elektro- und leittechnischen Kabel für die entsprechenden Komponenten, die sich ggf. in anderen Räumen befinden. Rohrleitungen sind nur dann aufzunehmen, wenn sie brennbare Medien enthalten.

Alle Komponenten und die entsprechenden Kabel, die im PSA-Modell der Anlage bezüglich einer Ausfallart oder mehrerer Ausfallarten als Basisereignis enthalten sind, sind zusätzlich zu kennzeichnen. Eine manuelle Eingabe einer Raum-Komponenten-Matrix ist kaum möglich, insofern muss immer auf die vorhandenen elektronischen Möglichkeiten der Erstellung einer solchen Matrix in der aktuell zu untersuchenden Anlage zurückgegriffen werden.

Befindet sich in einem Raum eine Komponente, deren Ausfall im PSA-Modell als Basisereignis enthalten ist, so wird das Inventarkriterium (Feld 22) gesetzt. Im Kommentarfeld (Feld 20) können zusätzliche Anmerkungen zur Raumnutzung gemacht werden. In den Feldern 21 ist anzugeben, welche Redundanzen im Raum vorhanden sind.

Für eine anlagenspezifische Untersuchung ist es erforderlich, dass zum einen eine Raum-Komponenten-Matrix in elektronischer Form vorliegt (in /GRS 04/ konnte die Tabelle <Raumbelegung> genutzt werden) und dass zum anderen ein

Kabelmanagementsystem genutzt werden kann, mit dem zu jeder Komponente der Verlauf der zugehörigen elektro- und leittechnischen Kabel nachvollzogen werden kann. In der aktuellen Studie für einen Siedewasserreaktor älterer Bauart (siehe /GRS 04/) wurde ein vorhandenes computergestütztes Kabelmanagementsystem mit einer entsprechenden Datenbank zur Ermittlung der raumbezogenen Kabelbrandlasten und zur Bestimmung des Kabelverlaufs von elektrisch angetriebenen Armaturen und Pumpen genutzt.

### **3.2 Abgeleitete Informationen**

Zur Anwendung des Auswahlkriteriums 3 sind auf der Grundlage der in der Datenbank enthaltenen Primärdaten für alle Räume Brandeintrittshäufigkeiten (siehe Kapitel 3.2.1) und Kennziffern für die Möglichkeit einer Brandausbreitung (vgl. Kapitel 3.2.2) zu bestimmen. Daneben kann die Datenbank auch als Informationspool für diverse Zwecke genutzt werden. Einige der dabei verwendeten Abfragen werden standardisiert bereitgestellt (vgl. dazu Kapitel 3.2.4).

#### **3.2.1 Brandeintrittshäufigkeit**

Bei der Abschätzung einer Eintrittshäufigkeit  $f_i$  für Brandszenarien in einem Raum  $i$  besteht das Problem, dass nahezu jeder Raum besondere Eigenschaften aufweist. In den meisten Fällen stehen keine statistisch abgesicherten Daten zur Ableitung der Eintrittshäufigkeit von raumbezogenen Entstehungsbränden zur Verfügung. Im Wesentlichen werden zwei Methoden gewählt, um dieses Problem unter Einbeziehung generischer Daten zu lösen bzw. zu umgehen.

In "Bottom-up"-Verfahren wird versucht, die Kenntnisse zum Raum so in kleinere Informationseinheiten (wie Art und Anzahl der Einrichtungen, Zündmöglichkeiten, Art und Häufigkeit von Personalhandlungen im Raum, etc.) zu zerlegen, dass auf dieser Grundlage statistisch abgesicherte Daten zu erhalten sind. Die Zusammenfassung der einzelnen Informationen kann beispielsweise mittels der Fehlerbaummethode erfolgen. Bottom-up-Verfahren sind für die Bestimmung lokaler Brandeintrittshäufigkeiten (mit Angabe von Unsicherheiten) von Raumbereichen im Rahmen von Detailanalysen geeignet. Eine systematische Vorgehensweise zur Anwendung solcher Verfahren wird in /HOF 03/ vorgeschlagen.

Im Rahmen von Auswahlverfahren können hingegen nur "Top-down"-Verfahren angewendet werden. Bei geeignet gespeicherten Daten ist eine automatische gleichzeitige Bestimmung der Eintrittshäufigkeiten für alle festgelegten Raumbereiche im Kernkraftwerk möglich. Bei diesen Verfahren wird ein Raum bzw. Raumbereich als Teil eines größeren Komplexes von Räumen (z. B. Teil eines Gebäudes oder eines gesamten Kernkraftwerkes) aufgefasst. Auf der Grundlage von Kenntnissen über die Brandeintrittshäufigkeit für das jeweilige Gebäude kann unter Hinzuziehung weiterer Eigenschaften die Brandeintrittswahrscheinlichkeit für einen einzelnen Raum abgeleitet werden. Dabei werden die brandspezifischen Eigenschaften des zu untersuchenden Raumes mit den entsprechenden Werten für die anderen Räume im Gebäude verglichen.

Es ist offensichtlich, dass durch dieses Vorgehen das Problem eigentlich nur verschoben wird. Es ist natürlich genauso diffizil, statistisch evidente Branddaten für ein Gebäude oder ein Kernkraftwerk zu erhalten, aber für die Ermittlung einer Rangordnung der Räume untereinander aufgrund ihrer brandspezifischen Eigenschaften, wie sie beim Screening zunächst benötigt wird, sind derartige Top-down-Verfahren durchaus geeignet. Im Auswahlverfahren der GRS wird das Top-down-Verfahren von Berry /BER 79/ angewendet.

### 3.2.1.1 Das Verfahren von Berry

Für den Raum  $i$  eines Gebäudes  $G$  ist die Eintrittshäufigkeit  $f_i$  eines Brandes zu bestimmen. Die Brandeintrittshäufigkeit für das Gebäude  $f_G$  sei bekannt.

Es ergibt sich  $f_i = \frac{f_G \cdot P_i}{\sum_{k \in \{R\}_G} P_k}$  für alle Räume  $i$  aus dem Gebäude  $G$ ,  $i \in \{R\}_G$ .

Dabei ist  $P_i$  eine Kenngröße für das Entstehen eines voll entwickelten Brandes im Raum  $i$  (nicht gelöschter Entstehungsbrand, der sich über den Entzündungsort hinaus im Raum ausbreitet).

$P_i$  ergibt sich aus

$P_i = A_i \cdot B_i \cdot (1 - C_{i1} \cdot C_{i2}) \cdot (1 - F_i)$ , wobei  $A_i = 1 - (1 - A_{i1}) \cdot (1 - A_{i2}) \cdot (1 - A_{i3})$  gilt.

Die Bedeutung der verschiedenen Kenngrößen bzw. Parameter und ihre möglichen Werte sind Tab. 3-2 zu entnehmen.

**Tab. 3-2:** Kenngrößen im Verfahren von Berry /BER 79/

Beschreibung der Kenngröße		Werte der Kenngröße	
		qualitativ	quantitativ
$A_i$	Kenngröße zur Charakterisierung der Zündquellen im Raum $i$ ;	$A_i = 1 - (1 - A_{i1}) \cdot (1 - A_{i2}) \cdot (1 - A_{i3})$	
$A_{i1}$	Dauer der Anwesenheit von Personen im Raum $i$ (Personen als Zündquelle)	ständig	0.70
		meistens	0.70
		ein Drittel der Zeit	0.30
		während der Rundgänge	0.20
		selten	0.10
$A_{i2}$	Umfang der mechanischen Einrichtungen im Raum $i$	groß	0.50
		mittel	0.30
		gering	0.10
$A_{i3}$	Umfang der elektrischen Einrichtungen im Raum $i$	groß	0.30
		mittel	0.10
		gering	0.05
$P_i$	Kenngröße für das Entstehen eines Leitfeuers im Raum $i$	$P_i = A_i \cdot B_i \cdot (1 - C_{i1} \cdot C_{i2}) \cdot (1 - F_i)$	
$B_i$	Entzündungswahrscheinlichkeit	Flammpunkt < 20 °C	1.00
		20 °C ≤ Flammpunkt ≤ 250 °C	0.10
		Flammpunkt > 250 °C	0.01
		andere Fälle	0.01
$C_{i1}$	Dauer der Anwesenheit von Personen im Raum $i$ (Brandmeldung durch Personen)	ständig	0.99
		meistens	0.95
		ein Drittel der Zeit	0.90
		während der Rundgänge	0.10
		selten	0.00
$C_{i2}$	Löschwahrscheinlichkeit (ohne Hilfsmittel vor Ort, nur in Abhängigkeit vom Flammpunkt)	Flammpunkt < 20 °C	0.50
		20 °C ≤ Flammpunkt ≤ 250 °C	0.90
		Flammpunkt > 250 °C	0.99
		andere Fälle	0.99
$F_i$	Verteilung der Brandlasten im Raum (verlöscht Feuer von selbst?)	im ganzen Raum verteilt	0.02
		im überwiegenden Teil des Raumes	0.20
		in der Hälfte des Raumes	0.50
		in einem begrenzten Teil	0.90
		keine Brandlast	0.95

### 3.2.1.2 Anwendung

Die Eingabe der für die Auswahl wesentlichen Parameter (vgl. Tab. 3-2) erfolgt qualitativ über das entsprechende Formular der Datenbank (siehe Abb. 3-2). Die Eingabe und Auswahl der Parameter wird durch Pop-up-Menüs erleichtert. Die Zuordnung der quantitativen Werte für die Kenngrößen erfolgt automatisch bei der Berechnung der Eintrittshäufigkeit.

Eingabe der Parameter

persons in the room  
during walk-down ←  $A_{i1}$  bzw.  $C_{i1}$

ignition temp. of the material  
FP > 250 degrees (Celsius) ←  $B_i$  bzw.  $C_{i2}$

distrib. of combust. material  
in a big part of the room ←  $F_i$

**fire detection and alarm**  
automatic fire detection  
 nearby  
 far

**fire fighting**  
 portable fire extinguisher  
 extinguishing system

**fire spreading**  
 room open  
 fire door  
 fire damper

amount of mechanical equipm  
medium ←  $A_{i2}$

amount of electrical equipment  
medium ←  $A_{i3}$

**room is important**  ← Parameter wird automatisch *true* gesetzt, wenn der Raum durch die Auswahlkriterien 1 und 2 (siehe Abb. 2-2) nicht ausgeschlossen wurde. Parameter kann auch per Hand belegt werden.  
room isn't excluded by any criterion

room features + calc    building features    choose another building

**Abb. 3-2:** Eingabe der Parameter zur Berechnung raumspezifischer Brandeintrittshäufigkeiten

Für einen einzelnen Raum kann man sich sowohl das Ergebnis als auch die Vorgehensweise für die Berechnungen der Brandeintrittshäufigkeit in einem Formular (siehe Abb. 3-3) anzeigen lassen.

Bei dem Verfahren von Berry handelt es sich um ein Top-down-Verfahren. Daher ist das Ergebnis für jeden einzelnen Raum abhängig von der Anzahl und Art der betrach-

teten Räume im Gebäude. Ob Räume eines Gebäudes bei der Berechnung der einzelnen Brandeintrittshäufigkeiten einbezogen werden oder nicht, kann durch einen binären Parameter in der Datenbank festgelegt werden (siehe Abb. 3-2).

The screenshot shows a software window titled "Eintrittshäufigkeit" with the following content:

Personal im Raum	during walk-down
Umfang mechan. Einrichtungen	medium
Umfang elektr. Einrichtungen	medium
Zündtemperatur des Materials	FP > 250 degrees (Celsius)
Verteilung brennbares Material	in a big part of the room

Gebäude	Raum	Kote	Eintrittshäufigkeit Brand (Gebäude)
ZA	03.11	5,5	G= 8E-02

**Brandeintrittswahrscheinlichkeit**

Personen im Raum	A1=	0,2	C1=	0,1
Umfang mechanischer Einrichtungen	A2=	0,3		
Umfang elektrischer Einrichtungen	A3=	0,1		
Zündtemperatur des Materials	B=	0,01	C2=	0,99
Verteilung brennbares Material	F=	0,2		

Maßzahl Zündquelle und Leitfeuer  
 $A=1-(1-A1)(1-A2)(1-A3)$  und  $P=AB(1-C1C2)(1-F)$   
 A= 4,96E-01  
 P= 3,58E-03

Brandeintrittswahrscheinlichkeit =  
 $P*G/(Summe\ der\ P\ aller\ Räume\ des\ Gebäudes)$  **3,44E-03**

**Abb. 3-3:** Ergebnisformular Brandeintrittswahrscheinlichkeit für einen Raum

Dieser Parameter wird automatisch bei der Durchführung des Auswahlverfahrens (Auswahlkriterien 1 und 2) gesetzt. Will man die spezifischen Eintrittswahrscheinlichkeiten für alle Räume eines Gebäudes berechnen, wird empfohlen, zuerst das Auswahlkriterium 1 (dazu: Ausführung der Aktualisierungsabfragen <Ausschlusskriterium 0> und <Ausschlusskriterium 1 Brandlast>) anzuwenden und anschließend die entsprechenden Häufigkeiten zu berechnen (Bericht <Liste: Eintrittshäufigkeiten>). Im Verfahren von Berry werden nur die Zündmöglichkeiten in den Räumen verglichen. Durch den vorherigen Ausschluss von Räumen mit einer Brandbelastung von weniger als 90 MJ/m<sup>2</sup> (Auswahlkriterium 1) wird zusätzlich ein Schwellenwert bezüglich der Menge an Brandgütern im Raum einbezogen. Für diese Räume wird eine Brandeintrittswahrscheinlichkeit von Null angenommen.

### 3.2.2 Kennziffern zur Brandausbreitung

Zur Auswahl brandrelevanter Räume müssen neben der Brandbelastung und der Brandeintrittshäufigkeit in einem Raum die Möglichkeiten der Brandausbreitung analysiert werden. Die Möglichkeiten der Brandausbreitung können quantitativ bewertet werden. Die Bestimmung der Ausbreitungskennziffern ist abhängig vom vorhandenen Datenmaterial. Die Ausbreitungskennziffern sollten durch möglichst vollständige Ausnutzung der in der Datenbank vorhandenen Informationen automatisch berechnet werden können. Im Auswahlverfahren zur probabilistischen Brandanalyse für eine Anlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart (siehe /GRS 04/) wurde die Ausbreitungskennziffer 1 (siehe Abschnitt 3.2.2.1) genutzt.

#### 3.2.2.1 Ausbreitungskennziffer 1:

##### Brandausbreitung in einen konkreten Nachbarraum

Neben einer Abschätzung der Brandeintrittswahrscheinlichkeit wird für die Anwendung des Auswahlkriteriums 3 (siehe dazu Abb. 2-2 und Kapitel 4.3) auch eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der Brandausbreitung von einem vorgegebenen Raum in einen beliebigen Nachbarraum benötigt. Die automatische Berechnung dieser Übergangskennzahlen für alle Räume in einem Gebäude unter Nutzung von Abfragen der Datenbank *RAUM* wird nachfolgend beschrieben.

Es betrifft die Datenbankabfragen in der Gruppe *<Sonstige Berechnungen>*:

- *<Xtra1 Brandübertragung>*
- *<Xtra2 Brandübertragung Berechnung>*
- *<Xtra3 Brandübertragung Ergebnis>*

Die Wahrscheinlichkeit BA der Brandausbreitung in einen Nachbarraum ergibt sich aus den Nichtverfügbarkeiten der Brandmeldung NVBM, der Brandlöschung NVBL und der Brandwiderstandsdauer der jeweiligen Raumverbindung NVBarr nach folgender Formel:

$$BA = NVBM * NVBL * NVBarr$$

Die Wahrscheinlichkeit der Brandausbreitung (BA) wird in der Datenbank als Funktion *<Xtra2 Brandübertragung Ergebnis>* folgendermaßen ermittelt:

BA:

[Xtra2 Brandübertragung Berechnung]![conn]\*

[Xtra2 Brandübertragung Berechnung]![NVBL]\*

[Xtra2 Brandübertragung Berechnung]![NVBM]

Diese Abschätzung ist nur innerhalb des Auswahlverfahrens zum Vergleich von Räumen und den bei einem Brand von dort ausgehenden Brandausbreitungsgefahren geeignet. Bei der Abschätzung werden nur das Vorhandensein und die Funktion der Brandmelde- und Löscheinrichtungen sowie der bautechnischen Abtrennungen zum Nachbarraum bewertet, nicht jedoch eventuelle Zusammenhänge und Abhängigkeiten (z. B. zeitverzögerte Brandlöschung bei Versagen der Brandmeldung). Im Prinzip wird nur festgestellt, dass z. B. von einem Raum mit automatisch auslösenden Brandmeldern im Brandfall eine geringere Brandausbreitungsgefahr ausgeht als von einem Raum ohne solche Brandmeldeeinrichtungen, etc. Nach Durchführung des Auswahlverfahrens werden diese Abhängigkeiten im brandspezifischen Ereignisablauf für die ausgewählten Räume im Detail modelliert.

- Nichtverfügbarkeit der Brandmeldung NVBM

Zur groben Abschätzung der Nichtverfügbarkeit der Brandmeldung NVBM bei einem Brand in einem gegebenen Raum werden folgende Annahmen zur Bestimmung der Brandausbreitungswahrscheinlichkeit in einen Nachbarraum (Betrachtung eines gegebenen Raumpaars) getroffen:

- Möglichkeiten der Erkennung und Meldung eines Brandes durch eventuell im Raum anwesende Personen werden hier nicht berücksichtigt.
- Es wird gefragt, ob automatische Brandmeldeeinrichtungen im Raum bzw. im Nachbarraum vorhanden sind. Art und Anzahl werden nicht berücksichtigt, dies ist erst bei einer eventuell durchzuführenden Detailanalyse einzubeziehen.

**Tab. 3-3:** Angenommene Nichtverfügbarkeiten der Brandmeldung in Abhängigkeit von der Raumsituation

Raumsituation	NVBM	Bemerkungen
Es gibt keine automatischen Brandmelder im Raum und auch keine im Nachbarraum.	1.00	
Im Raum sind automatische Brandmelder vorhanden; es gibt keine Meldeeinrichtungen im Nachbarraum.	0.02	Der Wert ist /FAK 97, Tab. 7.4/ entnommen und gibt die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung für einen automatischen Brandmelder in der Brandentstehungs- und -ausbreitungsphase wider.
Im Nachbarraum sind automatische Brandmelder vorhanden, es gibt keine Meldeeinrichtungen im Brandentstehungsraum.	0.20	Der Wert ist /FAK 97, Tab. 7.4/ entnommen und gibt die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung für einen automatischen Brandmelder in der Vollbrandphase wider.
Sowohl im Brandentstehungsraum als auch im Nachbarraum sind Brandmelder vorhanden.	0.01	Das Produkt aus 0.02 und 0.20 ergibt 0.004. Unter Einbeziehung der Möglichkeit von Ausfällen aus gemeinsamer Ursache (z. B. Brandmelder gehören zu einer Meldelinie) wird NVBM = 0.01 festgelegt.

Die Festlegungen in Tab. 3-3 wurden in folgende Datenbank-Funktion umgesetzt:

*NVBM:*

*Wenn((([Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge.ABN] = nein und [Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge\_1.ABN ]= nein);1;  
(Wenn((([Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge.ABN] = nein und [Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge\_1.ABN ] =ja);0.2;  
(Wenn((([Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge.ABN] = ja und [Xtra1 Brandübergang]![A - Bearbeitungsmenge\_1.ABN] = nein);0.02;  
0.01))))))*

- Nichtverfügbarkeit Brandlöschung NVBL

Die Nichtverfügbarkeit von Feuerlöscheinrichtungen ergibt sich aus dem Vorhandensein und der Verfügbarkeit sowohl von transportablen Löscheinrichtungen (Handfeuerlöschern) als auch von automatisch oder manuell ausgelösten stationären Löschanlagen. Nachfolgend sind die entsprechenden Datenbank-Funktionen aufgeführt:

*HLnah:*

*Wenn([A - Bearbeitungsmenge\_1.Hand] = ja oder*

*[A - Bearbeitungsmenge.Hand] = ja;ja;nein)*

*NVBLHand: Wenn([Xtra1 Brandübergang]![HLnah] = ja;0.3;1)LAutomatic:*

*Wenn([A - Bearbeitungsmenge\_1.Lanlage] = ja oder*

*[A - Bearbeitungsmenge.Lanlage] = ja;ja;nein)*

*NVBLAuto: Wenn([Xtra1 Brandübergang]![LAutomatic] = ja;0.02;1)NVBL:*

*[NVBLHand]\*[NVBLAuto]*

- Brandlöschung mit transportablen Löschgeräten (Handfeuerlöschern) *NVBL-Hand*

Zur groben Abschätzung der Nichtverfügbarkeit der Brandlöschung *NVBL-Hand* bei einem Brand in einem gegebenen Raum werden folgende Annahmen zur Bestimmung der Brandausbreitungswahrscheinlichkeit in einen Nachbarraum (Betrachtung eines gegebenen Raumpaars) getroffen:

- Anwesenheit von Personen und mögliche Personalfehlhandlungen werden nicht betrachtet.
- Es wird nur gefragt, ob Handfeuerlöscher im Raum bzw. im Nachbarraum vorhanden sind. Art und Anzahl werden nicht berücksichtigt. Ebenso werden Vorhandensein von Wandhydranten und Schlauchanschluss nicht berücksichtigt. Dies alles ist bei einer eventuell durchzuführenden Detailanalyse einzubeziehen.

**Tab. 3-4:** Angenommene Nichtverfügbarkeiten der Brandlöschung mit transportablen manuellen Feuerlöschgeräten in Abhängigkeit von der Raumsituation

<b>Raumsituation</b>	<b>NVBL-Hand</b>	<b>Bemerkungen</b>
Es gibt keine transportablen manuellen Feuerlöschgeräte im Raum und auch keine im Nachbarraum.	1.00	
Im Raum oder im Nachbarraum sind transportable manuelle Feuerlöschgeräte vorhanden (das bedeutet: transportable manuelle Feuerlöschgeräte sind in der Nähe und können sofort eingesetzt werden)	0.3	Der Wert ist /FAK 97, Tab. 7.6/ entnommen und steht für die Wahrscheinlichkeit der Brandlöschung nach 3 Minuten

- Brandlöschung mittels stationärer Löschanlagen *NVBLAuto*

**Tab. 3-5:** Angenommene Nichtverfügbarkeiten der automatischen Brandlöschung in Abhängigkeit von der Raumsituation

Raumsituation	<i>NVBLAuto</i>	Bemerkungen
Es gibt keine automatisch ausgelöste stationäre Löschanlage im Raum und auch keine im Nachbarraum.	1.00	Eine automatisch ausgelöste stationäre Löschanlage im Nachbarraum kann eine Ausbreitung des Brandes in diesen Raum verhindern.
Im Raum oder im Nachbarraum ist eine automatisch ausgelöste stationäre Löschanlage vorhanden	0.02	Der Wert ist /FAK 97, Tab. 7.6/ entnommen.

- Nichtverfügbarkeit bautechnischer Abtrennungen zwischen Räumen *NVBarr*

Es wird die nachfolgende Zuordnung von Nichtverfügbarkeiten für bautechnische Abtrennungen von Räumen getroffen.

**Tab. 3-6:** Nichtverfügbarkeiten von bautechnischen Abtrennungen zwischen Räumen

Verbindungsart	Bezeichnung	<i>NVBarr</i>
L	Luke	0.90
L90	Luke L90	0.10
LV	Luke, verschraubt	0.90
NS	Nebenschleuse	0.00
O	offen	1.00
OK	kleine Öffnung	1.00
PS	Personenschleuse	0.00
T	normale Tür	0.90
T30	Tür T30	0.50
T60	Tür T60	0.25
T90	Tür T90	0.10
TE	Türen mit Einzelzulassungen, Sondertür	nach Ansicht
TP	Pendeltür	0.90
TS	Schiebetor, -tür	0.90
W	Wasserschott, dicht schließend	0.50

Bei der Umsetzung in entsprechende Datenbank-Funktionen wird folgendes berücksichtigt:

- Es werden nur Türen und andere Bauteile zur bautechnischen Trennung von Räumen (wie Luken, Montageluken, etc.) betrachtet. Die Funktion von Lüftungskanälen und Brandschutzklappen oder Abschottungen werden beim Screening (Auswahlverfahren) nicht mit einbezogen.
- Wenn von einem Raum mehrere Verbindungen zu einem Nachbarraum existieren, so wird nur eine Verbindung, und zwar die mit der größten Brandübergangswahrscheinlichkeit, gezählt.

(Beispiel aus /GRS 04/: Verbindung 00.42B zu 01.11 - aufgeführt sind eine Luke LV und eine Luke L90 mit Feuerwiderstandsdauer von 90 min; es wird nur LV gewertet.)

Ausgangspunkt der Betrachtung ist die Aussage, dass die Nichtverfügbarkeit einer Brandschutztür, sofern nicht nur die rein technische Nichtverfügbarkeit betrachtet wird, aufgrund Personalfehler (regelwidriges Festklemmen) nach /HOF 94/ und /FAK 97a/ mit 0.1 (als Wert für T90-Türen) eingeschätzt wird.

In Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsdauer einer Verbindung wird die entsprechende Nichtverfügbarkeit aus Tab. 3-7 verwendet. Dazu wird die nachfolgende Datenbankfunktion erstellt.

*Wenn ( [Xtra1 Brandübergang]![connection] = "O" oder  
[Xtra1 Brandübergang]![connection] = "OK";1;  
Wenn ( [Xtra1 Brandübergang]![connection] = "T90" oder  
[Xtra1 Brandübergang]![connection] = "L90" oder  
[Xtra1 Brandübergang]![connection] = "TE";0.1;  
Wenn ([Xtra1 Brandübergang]![connection] = "T60";0.25;  
Wenn([Xtra1 Brandübergang]![connection] ="T30" oder  
[Xtra1 Brandübergang]![connection] = "W" ;0.5;  
Wenn ( [Xtra1 Brandübergang]![connection] = "PS" oder  
[Xtra1 Brandübergang]![connection] = "NS";0.0;0.90))))))*

Alle in den Tabellen angegebenen Werte sind vor Durchführung eines umfassenden Projektes auf ihre Angemessenheit zu überprüfen und eventuell den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen.

### **3.2.2.2 Ausbreitungskennziffer 2:**

#### **Möglichkeit der Brandausbreitung in benachbarte Räume**

Als weiteres Beispiel zur Berechnung einer Ausbreitungskennziffer kann die Nutzung eines generischen brandspezifischen Ereignisablaufs angeführt werden. Die Details dazu sind in Anhang 2 enthalten. Die Kennziffer ergibt sich aus der Summe der Häufigkeiten der Endzustände der Ereignissequenzen, die zu einer Ausbreitung des Brandes in Nachbarräume führen. Im Unterschied zur Ausbreitungskennziffer 1 (siehe Kapitel 3.2.2.1) geht hier die Eintrittshäufigkeit des Brandes ein. Außerdem wird die Wahrscheinlichkeit für die Anwesenheit von Personal berücksichtigt.

Zur Vereinfachung der Datenbank-Abfragen zur Berechnung von Ausbreitungskennziffer 2 sind Zwischenergebnisse in den Feldern 29 bis 31 des Eingabeformulars (siehe Abb. 3-1) anzugeben. Diese Werte können per Hand eingegeben werden, sie können aber bei vollständiger vorheriger Eingabe der Daten zur Raumgeometrie und der brandspezifischen Daten auch automatisch belegt werden (siehe Anhang 2).

### **3.2.3 Rangfolgen der Räume nach den Kriterien Brandbelastung, Brandeintrittshäufigkeit und Brandausbreitung**

Es können Rangfolgen der Räume nach den Kriterien Brandbelastung (siehe Abschnitt 3.1.3), Brandeintrittshäufigkeit (siehe Abschnitt 3.2.1) und Brandausbreitung (genutzt wird dabei Ausbreitungskennziffer 2, vgl. Abschnitt 3.2.2.2) aufgestellt werden.

Dazu sind die Tabellenerstellungsabfragen <BFG>, <BHG>, <BLG> durchzuführen (Makro <Neuberechnung von BFG, BHG, BLG>). Anschließend berechnet man mit der Abfrage <Rangliste: gesamt11> die Ranglisten der Räume. Die Ergebnisse werden in einer Tabelle ausgegeben.

*Anmerkung:*

*Bei jeder Änderung im Datensatz sind die Tabellenerstellungsabfragen erneut durchzuführen!*

### 3.2.4 Sonstige abgeleitete Informationen

Zur flexiblen Auswertung der eingegebenen Daten und Informationen werden Abfragen genutzt. Nachfolgend werden einige standardisierte Abfragen erläutert. Die Nutzung der Datenbank bei der Durchführung des Auswahlverfahrens wird in Kapitel 1 und in der Kurzanleitung in Anhang A3 beschrieben.

Standardmäßig können über das Formular *<AtaGlance>* Übersichten zum jeweils analysierten Gebäude in Berichtsform abgerufen werden. Dies betrifft:

- Anzahl und Anordnung der Räume in den Gebäuden  
(betrifft Abfragen *<Anzahl Räume pro Gebäude>*, Bericht *<Raumnummern>*)
- Bericht *<Liste der Raumverbindungen pro Raum>* zu den Verbindungen zwischen den Räumen  
Hier sind die nach Verbindungsarten geordneten Raumverbindungen zusammen gestellt.
- Bericht *<Liste Raumabgrenzungen pro Raum>* zu den Raumabgrenzungen
- Bericht *<Liste Brandgut pro Raum>* zu den Brandbelastungen durch Brandgüter einschließlich Angaben zur Zündtemperatur des Brandgutes und zur Verteilung im Raum (Parameter zum Verfahren von Berry siehe Kapitel 3.2.1.1)
- Bericht *<Liste Brandmelder pro Raum>* zu Brandmeldern (Anzahl und Art) in den Räumen des Gebäudes
- Bericht *<Liste Extinguish>* zu Anzahl und Art der Löschmöglichkeiten in den Räumen des Gebäudes
- Mit dem Bericht *<Liste der Komponenten pro Raum>* kann man sich nach Auswahl einer Komponentenart (z. B. Armatur S oder Kraftmaschine D) anzeigen lassen, in welchen Räumen welche und wie viele dieser Komponenten vorhanden sind.

Weiterhin gibt es vorgefertigte Abfragen, mit denen man spezielle Informationen erhalten kann. Nachfolgend einige Beispiele, ansonsten sollten die Namen der Berichte und Abfragen in der Datenbank *RAUM* und die dortige kurze Beschreibung genügen, um den Inhalt zu erkennen.

Der Aufbau der Abfragen ist abhängig von der Struktur der Daten. Bei erforderlichen Strukturänderungen in der Datenbank aufgrund von speziellen Datenanforderungen in einem Analyseprojekt sind die Abfragen entsprechend anzupassen.

- Die Abfrage *<Anzahl der Räume mit spezieller Brandlast>* zählt die Räume ohne Brandbelastung, die mit einer Brandbelastung kleiner  $90 \text{ MJ/m}^2$  und die mit einer größeren Brandbelastung. Die Abfrage *<Etagen, Raumzahl, Brandlastsumme>* gibt die Anzahl der Räume pro Gebäudeebene an und berechnet die Gesamtbrandlast der jeweiligen Ebene.
- *<nachbarn2>*, *<nachbarn3>*, *<nachbarn4>*  
Nach Eingabe eines Raumes werden die Räume ausgegeben, zu denen eine Verbindung (mit Angabe der Art der Verbindung) besteht, bis zu allen Vierer-Mengen.
- Die Abfrage *<Welcher Raum>* ist mit dem Formular *<Anzeige+Berechnungen>* verbunden. Es werden die im Raum vorhandenen Komponenten aufgelistet.



## 4 Durchführung des Auswahlverfahrens (Screening)

Das Auswahlverfahren ist für jedes relevante Gebäude des Kernkraftwerks durchzuführen. Ein Gebäude ist für eine probabilistische Brandrisikoanalyse relevant, wenn durch einen Brand in diesem Gebäude ein Kernschadenzustand entstehen kann. Die relevanten Gebäude sind vorab mittels Expertenentscheidung festzulegen. Es sind zumindest die Gebäude einzubeziehen, die wichtige Komponenten (siehe Tab. 2-1) enthalten. Nach Durchführung des Auswahlverfahrens für alle relevanten Gebäude sind zusätzlich noch die Verbindungen zwischen diesen Gebäuden auf Brandausbreitungsmöglichkeiten hin zu untersuchen.

$\{R\}_0$  sei die Menge aller Räume eines zu untersuchenden relevanten Gebäudes. Die Anzahl der Räume ist im Wesentlichen durch das Kennzeichnungssystem der Anlage vorgegeben. Aus verschiedenen Gründen können Räume zusammengefasst oder auch unterteilt werden (vgl. dazu Abschnitt 3.1). Für alle Räume der Menge  $\{R\}_0$  sind alle für das kombinierte brandspezifische und systemtechnische Auswahlverfahren (Screening) benötigten Informationen in der Datenbank *RAUM* bereitgestellt.

### 4.1 Auswahlkriterium 1 (Brandbelastung)

Mit dem ersten Auswahlkriterium werden alle Räume mit einer Brandbelastung von bis zu  $90 \text{ MJ/m}^2$  von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Dabei ist  $\{R\}_1$  die verbleibende Raummenge nach Anwendung des Auswahlkriteriums,  $\{R\}_1 \subseteq \{R\}_0$ .

Dieser Auswahlschritt kann durch eine sukzessive Anwendung der Änderungsabfragen *<Ausschlusskriterium 0>*

*<Ausschlusskriterium 1 Brandlast>*

in der Datenbank *RAUM* automatisch durchgeführt werden.

Das Ergebnis  $\{R\}_1$  ist dann die Menge aller Räume mit *BerechnungH* = true (siehe Tab. A1-1).

Die Ergebnisse der automatischen Anwendung dieses ersten Auswahlkriteriums können per Hand durch Änderung des Werts von *BerechnungH* korrigiert werden. Generell wird empfohlen, die Ergebnisse automatischer Auswahlprozesse auf ihre Sinnfälligkeit zu überprüfen. Beispielhaft sind die folgenden Fälle zu nennen:

1. Die Brandbelastung in einem relativ großen Raum beträgt weniger als 90 MJ/m<sup>2</sup>. Das vorhandene Brandgut ist aber in einem kleinen Bereich des Raumes konzentriert, es liegt also eine so genannte "Punktbrandlast" nach /KTA 00/ vor. Hier ist zu überprüfen, ob der Ausschluss des Raumes gerechtfertigt ist oder ob für bestimmte Randbedingungen weitere Untersuchungen anhand der realen Gegebenheiten (z. B. sensitive elektrische oder elektronische Komponenten im Nachbarraum nahe der Brandlast) durchzuführen sind.
2. Ein Raum hat eine sehr hohe Brandbelastung, die durch Kabelisolationsmaterialien bestimmt ist. Die Kabel sind aber brandschutztechnisch abgeschottet in einem geschlossenen Kanal verlegt. In diesem Falle sollte eine Unterteilung des ursprünglichen Raumes in den Raum selbst und den Kanal als weiteren Raum erfolgen.

#### **4.2 Auswahlkriterium 2 (Gefährdungspotential)**

Die Raummenge  $\{R\}_1$  ist die nach der Auswahl mittels des ersten brandspezifischen Auswahlkriteriums 1 verbliebene Menge von Räumen. Im Auswahlkriterium 2 wird abgeschätzt, ob bei einem Brand in diesen Räumen eine Gefährdung "wichtiger" Komponenten eintreten kann. Komponenten werden wichtig genannt, wenn sie bezüglich einer Ausfallart als Basisereignisse in dem zugehörigen PSA-Modell vertreten sind. In der Datenbank *RAUM* werden Räume mit wichtigen Komponenten durch Setzen des Inventarkriteriums *IK* gekennzeichnet.

Mit Auswahlkriterium 2 werden nun solche Räume ausgesondert, von denen im Fall eines Brandes keine Gefährdung wichtiger Komponenten ausgehen kann. Dabei wird nur eine mögliche Brandausbreitung in direkte Nachbarräume berücksichtigt, die offen (z. B. horizontal durch Türen oder Lüftungskanäle oder vertikal z. B. durch Gitterroste) mit dem Raum der Brandentstehung verbunden sind. Es stellt keine Einschränkung dar, dass die Brandausbreitung nur bis in die direkten Nachbarräume betrachtet wird, da auch der direkte Nachbarraum gesondert als möglicher Brandentstehungsort untersucht wird.

Das Auswahlkriterium 2 wird durch Anwendung der aufeinander folgenden Abfragen *<Ausschlusskriterium 2 Inventar>* und *<Ausschlusskriterium 2 Inventar1>* angewendet. In der vorbereitenden Abfrage *<Hilfsabfrage1 Ausschlusskriterium 2>* kann zuvor definiert werden, was unter einer offenen Verbindung zwischen den Räumen verstanden

wird. Das ist abhängig von der anlagenspezifischen Klassifikation der Raumverbindungen (siehe dazu Tab. 3-1).

Durch dieses Auswahlkriterium wird entschieden, ob wichtige Komponenten (oder auch deren zugehörige Kabel) im Brandentstehungsraum vorhanden sind und ob wichtige Komponenten im Nachbarraum durch eine Brandausbreitung gefährdet werden können. Die Abfragen sind Änderungsabfragen mit Einfluss auf den Parameter *BerechnungH*. Nach Durchführung des Auswahl schritts 2 ist  $\{R\}_2$  die Menge aller Räume mit *BerechnungH* = true,  $\{R\}_2 \subseteq \{R\}_1$ .

Die Raummenge  $\{R\}_2$  stellt den Ausgangspunkt für die Anwendung des Auswahlkriteriums 3 dar.

### 4.3 Auswahlkriterium 3 (Kernschadenshäufigkeit)

Mit Auswahlkriterium 1 wurden rein brand- bzw. raumspezifische Aspekte und mit Auswahlkriterium 2 die PSA-Relevanz der vom Brand betroffenen Komponenten qualitativ berücksichtigt. Mit dem Auswahlkriterium 3 wird schließlich das Ziel verfolgt, aus  $\{R\}_2$  diejenige Raummenge  $\{R\}_3$  zu identifizieren, für die sich auf der Grundlage pessimistischer Abschätzungen signifikante Beiträge zur Häufigkeit eines Kernschadenszustandes ergeben und deren Räume detaillierten Brandanalysen zu unterziehen sind. Für diese Schätzungen werden neben den brandspezifischen Informationen

- Brand-Eintrittshäufigkeit  $f_i$  für jeden Raum  $R_i$  aus  $\{R\}_3$ ,
- Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern  $W(R_i \rightarrow R_k)$  für alle Räume, in die sich ein Brand vom Raum der Brandentstehung aus ausbreiten kann und
- Brandbelastungen für jeden dieser Räume

die Raum-Komponentenzuordnungen für alle vom Brand betroffenen Räume sowie das PSA-Modell der Anlage herangezogen. Die Kernschadenshäufigkeiten werden anhand dieser Informationen durch Monte-Carlo-Simulationen ermittelt. Es wird hierzu ein im s Forschungsvorhaben RS 1146 /GRS 03/ von der GRS entwickeltes Verfahren für Brandanalysen angepasst und weiterentwickelt.

In diesem Verfahren werden für alle Räume der Raummenge  $\{R\}_2$  anhand der brand-spezifischen Informationen Brand-Ausbreitungsszenarien simuliert. Räume, in denen ein Brand entstanden ist oder in die sich ein Brand ausgebreitet hat, gelten als „ausgefallen“ (Raumausfall). Für das Auswahlverfahren wird unterstellt, dass bei Vorliegen eines Raumausfalls alle im Raum befindlichen Komponenten ausgefallen sind. Mit den gegebenen Raum-Komponenten-Zuordnungen lassen sich anhand der Wahrscheinlichkeiten der Raumausfälle die Wahrscheinlichkeiten für brandbedingte Komponentenausfälle ermitteln. Diese werden zur Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt brandbedingter Transienten verwendet. Zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung der Transienten erforderlichen Systemfunktionen wird das PSA-Modell herangezogen. Die PSA liefert hierbei mit den Ereignis- und Fehlerbäumen die Informationen über den Zusammenhang zwischen den Ausfällen von Komponentenfunktionen und dem Eintritt eines Schadenszustandes.

Um neben den brandbedingten Komponentenausfällen auch die Zufallsausfälle der Komponenten berücksichtigen zu können, werden die Simulationen brandbedingter Raum- bzw. Komponentenausfälle mit Simulationen der Zufallsausfälle verknüpft. Die numerische Auswertung der Ereignis- und Fehlerbäume erfolgt somit simulativ, wobei die Komponenten brandbedingt oder zufällig ausgefallen sein können.

Es werden in den folgenden Abschnitten die für das Auswahlverfahren nach Auswahlkriterium 3 getroffenen Annahmen dargestellt (Abschnitt 4.3.1) und die Verfahrensschritte beschrieben, im Einzelnen:

- die Simulation brandbedingter Raumausfälle (Abschnitt 4.3.2),
- die Ermittlung brandbedingter Ausfälle von Komponentenfunktionen (Abschnitt 4.3.3),
- die Abschätzung des Eintritts brandbedingter auslösender Ereignisse (Abschnitt 4.3.4),
- die Ermittlung der zur Beherrschung der auslösenden Ereignisse erforderlichen Systemfunktionen (Abschnitt 4.3.5) und
- die Auswahl relevanter Brandszenarien (Abschnitt 4.3.6).

In Abschnitt 4.3.7 wird auf die in diesem Verfahren entwickelten bzw. eingesetzten Programmmodule eingegangen.

#### **4.3.1 Annahmen für das Auswahlverfahren nach Auswahlkriterium 3**

Der gegenwärtige Stand der Methoden für das Auswahlverfahren nach Auswahlkriterium 3 basiert auf folgende Annahmen:

- In einem Raum, in dem ein Brand ausgelöst wurde oder in den sich ein Brand ausgebreitet hat, sind alle PSA-relevanten Funktionen aktiver Komponenten ausgefallen.
- Neben dem brandbedingten Versagen einer Komponentenfunktion kann diese bei Anforderung auch zufallsbedingt ausfallen bzw. ausgefallen sein (entsprechend den Zuverlässigkeitskenngrößen im PSA-Modell).
- Brandbedingte Lecks werden nicht unterstellt.
- Ein Brand breitet sich über maximal drei Raumgrenzen aus (maximale Brand-Ausbreitungstiefe  $BAT_{\max} = 3$ ).
- Raum-zu-Raum-Ausbreitungskennziffern  $W(R_i \rightarrow R_k)$  gelten für die Brandausbreitung über die jeweils erste Raumgrenze (Ausbreitungstiefe 1). Für die Ausbreitung über die zweite und dritte Raumgrenze werden diese Wahrscheinlichkeiten jeweils um einen Faktor (in /GRS 04/ wurde der Faktor 0.5 verwendet) verringert.
- Räume, deren Brandbelastung kleiner als  $90 \text{ MJ/m}^2$  ist, tragen nicht zu einer weiteren Ausbreitung des Brandes in benachbarte Räume bei.
- Liegen für einen Raum in einen benachbarten Raum mehrere Möglichkeiten der Brandausbreitung vor (z. B. mehrere Türen), so werden die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten durch eine logische ODER-Verknüpfung zusammengefasst.

#### **4.3.2 Brandbedingte Raumauffälle**

Ein brandbedingter Raumauffall liegt vor, wenn ein Brand in diesem Raum ausgelöst wird (Entstehungsbrand) oder sich von einem unmittelbar benachbarten Raum aus in diesen ausbreitet. Für das Auswahlverfahren wird eine Brandausbreitung nur über maximal drei Raumgrenzen berücksichtigt (maximale Brandausbreitungstiefe  $BAT = 3$ ).

Die unterschiedlichen Ausbreitungstiefen sind in folgendem Raum-Schema dargestellt (vgl. Abb. 4-1), in dem Raum R44 (grau markierter Raum) als Brandentstehungsraum betrachtet wird. Es wird angenommen, dass sich ein Brand über jeweils drei Raumbereiche in benachbarte Räume ausbreiten kann. Die Raumbereiche sind entsprechend ihrer Ausbreitungstiefe unterschiedlich gekennzeichnet:

- Ausbreitungstiefe 0: der Brand breitet sich nicht in benachbarte Räume aus
- Ausbreitungstiefe 1 (stark umrandeter Bereich): der Brand kann sich in die Räume R34, R45, R54 und R43 ausbreiten
- Ausbreitungstiefe 2 (zweifach umrandeter Bereich): der Brand kann sich zusätzlich in die Räume R24, R35, R46, R55, R42 und R33 ausbreiten
- Ausbreitungstiefe 3 (dreifach umrandeter Bereich): der Brand kann sich zusätzlich in die Räume R14, R25, R36, R47, R56, R65, R74, R63, R52, R41, R32 und R23 ausbreiten.

Ab Ausbreitungstiefe 2 kann sich ein Brand u. U. auf mehreren Wegen in einen Raum ausbreiten. Beispielsweise ist nach dem Raum-Schema in Abb. 4-1 ein Brand in Raum R33 durch Ausbreitung ausgehend von Raum R44 sowohl über den Raum R34 als auch über den Raum R43 möglich.

R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37
R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47
R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57
R61	R62	R63	R64	R65	R66	R67
R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77

**Abb. 4-1:** Raum-Schema zur Brandausbreitung

#### 4.3.2.1 Allgemeiner und spezifischer Brandvektor

Unter der Bedingung, dass in einem bestimmten Raum ein Brand ausgelöst wird (Entstehungsbrand), lassen sich die Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines Brandes in einem der anderen Räume anhand der Raum-zu-Raum-Kennziffern ermitteln (vgl. Ab-

schnitt 3.2.2.1). Diese Kennziffern stellen Schätzwerte der Wahrscheinlichkeiten dar, mit denen eine Brandausbreitung vom Raum i in den Raum j stattfindet. Die Raum-zu-Raum-Kennziffern werden in einem "allgemeinen Brandvektor" dargestellt, der für alle betrachteten Räume eines Kernkraftwerks mit einer Brandbelastung von mindestens  $90 \text{ MJ/m}^2$  die Wahrscheinlichkeiten der Brandausbreitung in jeweils alle benachbarten Räume enthält. In dem in Abb. 4-1 gezeigten Raum-Schema würde der allgemeine Brandvektor 168 Raum-zu-Raum-Kennziffern enthalten, wenn für jeden Raum die Brandbelastung mindesten  $90 \text{ MJ/m}^2$  beträgt und - wie im Bild gezeigt - jeder der 25 inneren Räume mit vier Raumgrenzen an Nachbarräume angrenzt sowie die 24 Außenräume an jeweils drei bzw. die Eckräume an zwei Nachbarräume angrenzen.

Es ist zu beachten, dass die im allgemeinen Brandvektor angegebenen Wahrscheinlichkeiten nur für den Brandübergang in unmittelbar benachbarte Räume gelten (Ausbreitungstiefe 1). Mit den in Abschnitt 4.3.1 getroffenen Annahmen wird berücksichtigt, dass Brandübergänge mit zunehmender Ausbreitungstiefe unwahrscheinlicher werden. Die Wahrscheinlichkeiten für die Brandausbreitung sind somit von der Ausbreitungstiefe und damit auch vom Raum der Brandauslösung abhängig. Für das Auswahlverfahren werden die Wahrscheinlichkeiten bei den Ausbreitungstiefen 2 und 3 gegenüber denen der Ausbreitungstiefe 1 um den Faktor 0.5 verringert. Hätten die Raum-zu-Raum-Kennziffern im genannten Beispiel (Abb. 4-1) alle den Wert  $1.0 \text{ E-}01$ , so würden sich bei Brandentstehung im Raum R44 u. a. folgende Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten ergeben:

- R44 → R34:  $1.0 \text{ E-}01$  (Ausbreitungstiefe 1)
- R34 → R24:  $5.0 \text{ E-}02$  (Ausbreitungstiefe 2)
- R24 → R14:  $5.0 \text{ E-}02$  (Ausbreitungstiefe 3).

Für den Übergang  $R44 \rightarrow R34 \rightarrow R24 \rightarrow R14$  ergibt sich daraus eine Wahrscheinlichkeit  $2.5 \text{ E-}04$ . Entsteht der Brand dagegen in Raum R43, dann ändern sich zwei der oben genannten Brandübergangs-Wahrscheinlichkeiten:

- R44 → R34:  $5.0 \text{ E-}02$  (Ausbreitungstiefe 2 statt 1)
- R24 → R14: 0 (Ausbreitungstiefe 4 statt 3).

Für jeden der in der Raummenge  $\{R\}_2$  zu untersuchenden Räumen ist somit ein "spezifischer Brandvektor" zu ermitteln, der sowohl die niedrigeren Wahrscheinlichkei-

ten der Brandübergänge für die Ausbreitungstiefen 2 und 3 als auch die Beschränkung der Brandübergänge auf die Ausbreitungstiefe 3 berücksichtigt (d. h. die Wahrscheinlichkeiten bei höherer Ausbreitungstiefe sind gleich Null). Zur Ermittlung der spezifischen Brandvektoren wurde mit MS EXCEL® ein Programm erstellt, welches aus dem allgemeinen Brandvektor nach Eingabe des Brandentstehungsraumes den spezifischen Vektor in der für die Weiterverarbeitung erforderlichen Form erzeugt.

Der spezifische Brandvektor für das gezeigte Beispiel mit Brandentstehung in Raum R44 und Raum-zu-Raum-Kennziffern von 0.1 enthält dann folgende Übergangswahrscheinlichkeiten (Wk):

**Tab. 4-1:** Spezifischer Brandvektor mit Brandauslösung in R44 (Beispiel 1)

von Raum	zu Raum	Wk
R24	R14	5.0 E-02
R24	R23	5.0 E-02
R24	R25	5.0 E-02
R24 <sup>1)</sup>	R34 <sup>1)</sup>	5.0 E-02
R33	R23	5.0 E-02
R33	R32	5.0 E-02
R33	R34	5.0 E-02
R33	R43	5.0 E-02
R34	R24	5.0 E-02
R34	R33	5.0 E-02
R34	R35	5.0 E-02
R35	R25	5.0 E-02
R35	R34	5.0 E-02
R35	R36	5.0 E-02
R35	R45	5.0 E-02
R42	R32	5.0 E-02
R42	R41	5.0 E-02
R42 <sup>1)</sup>	R43 <sup>1)</sup>	5.0 E-02
R42	R52	5.0 E-02
R43	R33	5.0 E-02
R43	R42	5.0 E-02
R43	R53	5.0 E-02
R44	R34	1.0 E-01
R44	R43	1.0 E-01

Fortsetzung

von Raum	zu Raum	Wk
R44	R45	1.0 E-01
R44	R54	1.0 E-01
R45	R35	5.0 E-02
R45	R46	5.0 E-02
R45	R55	5.0 E-02
R46	R36	5.0 E-02
R46 <sup>1)</sup>	R45 <sup>1)</sup>	5.0 E-02
R46	R47	5.0 E-02
R46	R56	5.0 E-02
R53	R43	5.0 E-02
R53	R52	5.0 E-02
R53	R54	5.0 E-02
R53	R63	5.0 E-02
R54	R53	5.0 E-02
R54	R55	5.0 E-02
R54	R64	5.0 E-02
R55	R45	5.0 E-02
R55	R54	5.0 E-02
R55	R56	5.0 E-02
R55	R65	5.0 E-02
R64 <sup>1)</sup>	R54 <sup>1)</sup>	5.0 E-02
R64	R63	5.0 E-02
R64	R65	5.0 E-02
R64	R74	5.0 E-02

<sup>1)</sup> irrelevanter Übergang (siehe Erläuterung im Text)

Die spezifischen Brandvektoren können Raumpaarungen enthalten, welche für die Ermittlung der Raumausfälle irrelevant sind, aber aus Gründen der Programmvereinfachung nicht ausgesondert werden. Im Beispiel 1 (siehe Tab. 4-2) gilt das für die folgenden vier Übergänge:

- R24 → R34
- R42 → R43
- R46 → R45
- R64 → R54

Ein Brand im jeweiligen “Ausgangsraum“ (Raum der Brandentstehung) R24 bzw. R42, R46 oder R64 kann ausschließlich durch Brandausbreitung aus Raum R34 bzw. R43, R45 oder R54 eintreten. Der jeweilige Übergang in umgekehrter Richtung ist somit irrelevant.

Bei der Erzeugung des spezifischen Brandvektors wird eine vorgegebene maximale Ausbreitungstiefe berücksichtigt ( $BAT_{max} = 3$ , vgl. Abschnitt 4.3.1). So enthält beispielsweise der in Tabelle 4.1 dargestellte Vektor keinen Übergang von Raum R14 nach R15 (vgl. Abb. 4-1), weil für diesen Übergang vier Raumgrenzen überschritten werden müssen ( $BAT = 4$ ).

Bei der simulativen Auswertung des spezifischen Brandvektors werden jedoch unter bestimmten Bedingungen auch Übergänge mit  $BAT > BAT_{max}$  zugelassen. Dies stellt eine pessimistische Vereinfachung des Simulationsprogramms dar, die für das Auswahlverfahren in Kauf genommen wird. Eine höhere Ausbreitungstiefe wird durch die Vereinfachung immer dann zugelassen, wenn von allen möglichen Ausbreitungswegen mindestens einer der maximal zulässigen Ausbreitungstiefe entspricht. Nach dem in Tab. 4-2 gezeigten Brandvektor ist beispielsweise ein Brandübergang von Raum R44 über Raum R34 nach R33 möglich ( $BAT = 2$ , vgl. Abb. 4-1).

Ein Brand kann sich gemäß Brandvektor aber auch von R44 über R45, R35 und R34 in den Raum R33 ausbreiten. Damit würde die Ausbreitungstiefe  $BAT = 4$  vorliegen. Es wird also in der Simulation vereinfachend nicht geprüft, ob beim Übergang von R34 nach R33 die Ausbreitungstiefe  $BAT = 3$  überschritten wurde, indem die Ausbreitung über den „langen“ Weg von R44 über R45 und R35 nach R34 erfolgt ist. Je nach den

Werten der Übergangswahrscheinlichkeiten könnten sich daraus zusätzliche signifikante Beiträge zur Wahrscheinlichkeit eines Brandes in einem Raum ergeben.

Neben dem Raum R44 der Brandentstehung sind in Beispiel 1 weitere 24 Räume mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten von einer Brandausbreitung betroffen. Mit derselben Raumanordnung (siehe Abb. 4-1) und demselben allgemeinen Brandvektor ergibt sich bei Brandauslösung im Raum R11 der in Tab. 4-2 gezeigte spezifische Brandvektor. In diesem Fall kann sich ein Brand ausgehend von Raum R11 lediglich in weitere 9 Räume mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten ausbreiten.

**Tab. 4-2:** Spezifischer Brandvektor mit Brandauslösung in R11 (Beispiel 2)

von Raum	zu Raum	Wk
R11	R12	1.0 E-01
R11	R21	1.0 E-01
R12	R13	5.0 E-02
R12	R22	5.0 E-02
R13	R12	5.0 E-02
R13	R14	5.0 E-02
R13	R23	5.0 E-02
R21	R22	5.0 E-02
R21	R31	5.0 E-02
R22	R12	5.0 E-02
R22	R21	5.0 E-02
R22	R23	5.0 E-02
R22	R32	5.0 E-02
R31	R21	5.0 E-02
R31	R32	5.0 E-02
R31	R41	5.0 E-02

<sup>1)</sup> irrelevanter Übergang (siehe Erläuterung im Text)

Auch hier enthält der spezifische Brandvektor Raumpaareungen, die für die Ermittlung der Raumausfälle irrelevant sind, aber aus Gründen der Programmvereinfachung nicht ausgesondert werden:

- R13 → R12
- R31 → R21

Ein Brand im "Ausgangsraum" (Raum der Brandentstehung) R13 bzw. R31 kann ausschließlich durch Brandausbreitung aus Raum R12 bzw. R21 eintreten. Der Übergang in umgekehrter Richtung ist somit auch hier irrelevant.

Wie in Beispiel 1 werden durch die pessimistische Vereinfachung des Simulationsprogramms Ausbreitungstiefen größer 3 zugelassen. Dies trifft beispielsweise für den Ausbreitungsweg von R11 über R12, R22 und R21 in den Raum R31 zu (BAT = 4).

#### 4.3.2.2 Simulation der Raumausfälle

Anhand der spezifischen Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten lassen sich für alle Räume bzw. Raum-Kombinationen bedingte Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines Brandes berechnen, wobei als Bedingung die Brandauslösung in einem bestimmten Raum angenommen wird. Dies erfolgt in dem hier entwickelten Auswahlverfahren mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation. Das simulative Verfahren wird einer analytischen Vorgehensweise aus folgenden Gründen vorgezogen:

- Die analytische Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines Brandes in einem Raum bzw. gleichzeitig mehreren Räumen wird mit zunehmender Ausbreitungstiefe immer aufwendiger, weil sich der Brand auf mehreren Wegen in einen Raum ausbreiten kann und alle diese Möglichkeiten mit ihren ggf. vorhandenen Abhängigkeiten zu berücksichtigen sind. Beispielsweise kann mit einer Raumanordnung nach Abb. 4-1 und Brandauslösung in Raum R44 ein Brand in Raum R23 auf drei zum Teil von einander abhängigen Wegen ausbreiten:
  - R44 → R43 → R33 → R23
  - R44 → R34 → R33 → R23
  - R44 → R34 → R24 → R23
- Mehr noch als die Wahrscheinlichkeiten für einen Brand in einzelnen Räumen interessieren die Wahrscheinlichkeiten für Brände in gleichzeitig mehreren Räumen, um Ausfälle mehrerer Redundanzen zu erfassen. Mit einem analytischen Verfahren müssten zunächst die relevanten Kombinationen von Raumausfällen ermittelt werden (analog zur Ermittlung von Minimalschnitten in der PSA) und diese bewertet werden. Aufgrund der möglichen Abhängigkeiten zwischen den Wahrschein-

lichkeiten für den Eintritt eines Brandes in den einzelnen Räumen kann sich hier bei Anwendung eines analytischen Verfahrens ein sehr hoher Aufwand ergeben.

- Die Simulation der Raumaufälle (d.h. der Brandübergänge in die in Frage kommenden Räume) kann über die Raum-Komponentenzuordnung direkt mit dem PSA-Modell und den Zufallsausfällen PSA-relevanter Komponentenfunktionen verknüpft werden.

Die Simulationen der Raumaufälle erfolgen mit dem in der GRS entwickelten Programm CRAVEX (siehe Abschnitt 4.3.7.2). Sie sind Teil der Simulationen, die zur Ermittlung der Häufigkeiten von Kernschadenzuständen durchgeführt werden, können aber auch separat zur Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten für Raum- bzw. Komponentenaufälle eingesetzt werden.

Die Eingaben für das Programm CRAVEX erfolgen unter der MS WINDOWS®-Oberfläche "Schadensanalyse". Abb. 4-2 zeigt das Hauptfenster für die Eingabe, wobei die Raum-Komponenten-Zuordnung (links im Bild) und der in Tab. 4-2 dargestellte spezifische Brandvektor (rechts im Bild unter "Brandausbreitung") bereits eingegeben sind. Für das zu untersuchende Szenario fehlt noch die Eingabe des Raums, in dem der Brand ausgelöst wird. Hierzu wird der Raum angeklickt (im Beispiel R11) und in dem sich öffnenden Fenster "Brand-Auslösung" ausgewählt (Abb. 4-3). Als Wahrscheinlichkeit für die Auslösung des Brandes wird zweckmäßigerweise  $W = 1$  eingegeben, um Wahrscheinlichkeiten unter der Bedingung zu erhalten, dass ein Brand ausgelöst wurde (Abb. 4-4).

Das Programm kann dann durch Anklicken der Schaltfläche "CRAVEX aufrufen" gestartet werden, wobei vor dem eigentlichen Beginn der Simulationen noch eine CRAVEX-Datei geöffnet werden muss (Details hierzu in Abschnitt 4.3.7.2) sowie die Abbruchkriterien für die Simulationen anzugeben sind (siehe Abb. 4-5). Für die Simulationen der Raum- und Komponentenaufälle ist nur die Angabe der Ausfallwahrscheinlichkeit relevant. Eine Ausfallwahrscheinlichkeit  $< 1 \text{ E-}06$ , wie in Abb. 4-5 gezeigt, wird vom Programm als Aufforderung zum Abbruch nach 1.000.000 Spielen interpretiert.

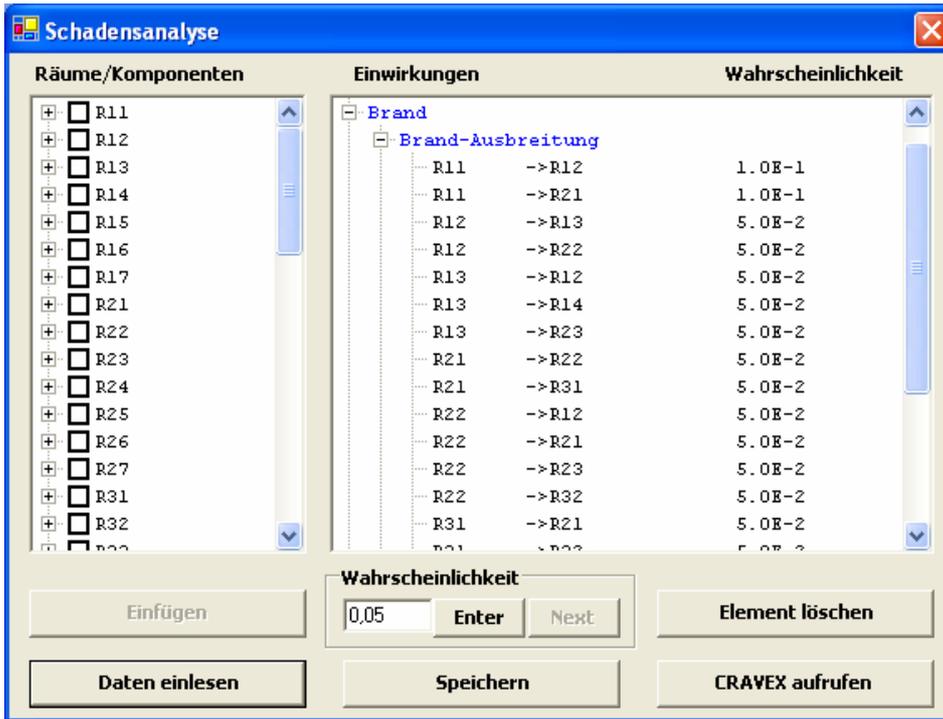


Abb. 4-2: Hauptfenster des Simulationsprogramms CRAVEX

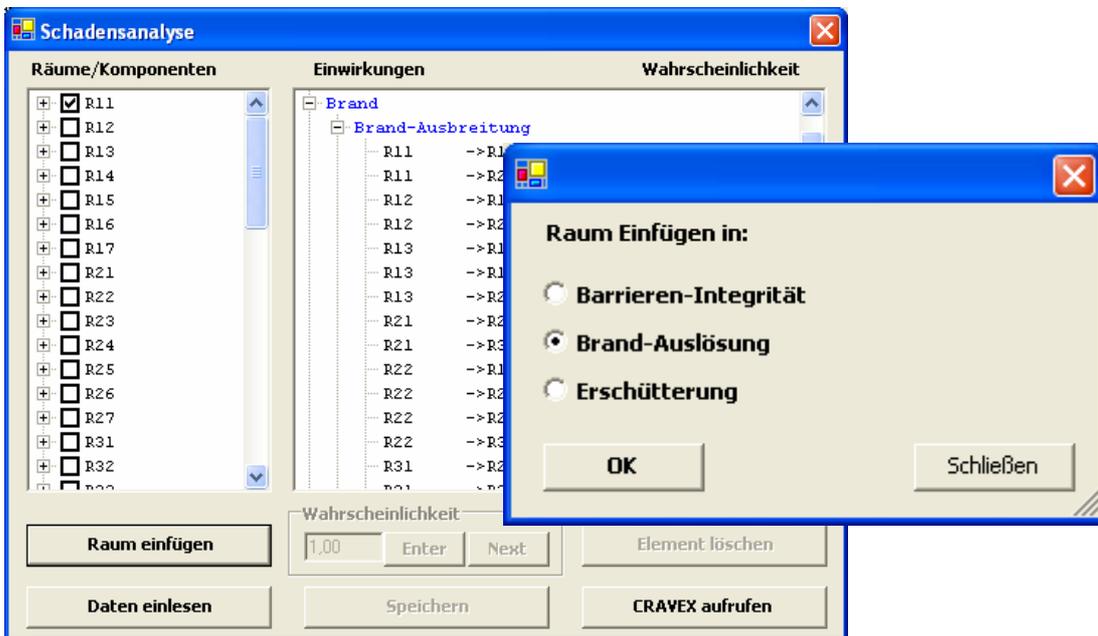


Abb. 4-3: Eingabe des Brandentstehungsraums

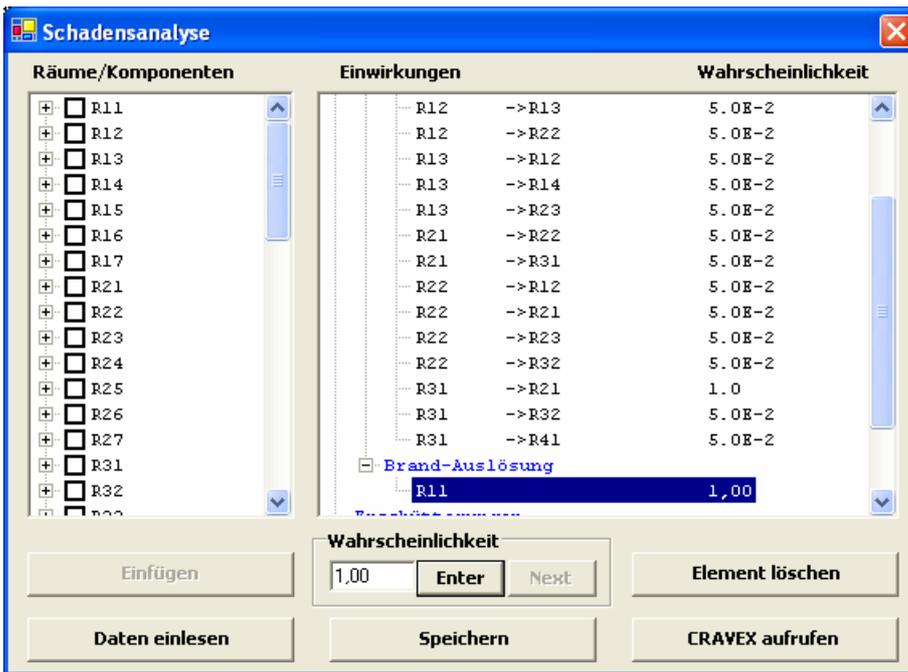


Abb. 4-4: Eingabe der Wahrscheinlichkeit für die Auslösung des Brandes



Abb. 4-5: Eingabe der Abbruchkriterien für die Simulation

Die Monte-Carlo-Simulation mit dem Programm CRAVEX ergibt für das Brandszenario einer Brandentstehung in Raum R11 (Wahrscheinlichkeit gleich 1 gesetzt) und dem in

Tab. 4-2 dargestellten spezifischen Brandvektor nach 1.000.000 Spielen folgende Wahrscheinlichkeiten für brandbedingte Raumausfälle (Tab. 4-3).

**Tab. 4-3:** Wahrscheinlichkeiten für brandbedingte Raumausfälle bei Brandauslösung in R11 mit der Wahrscheinlichkeit gleich 1

Raum	W
R11	1.0E+00
R12	1.0 E-01
R13	5.0 E-03
R14	2.6 E-04
R21	1.0 E-01
R22	1.0 E-02
R23	7.0 E-04
R31	4.9 E-03
R32	7.2 E-04
R41	2.4 E-04

### 4.3.3 Brandbedingte Ausfälle von Komponentenfunktionen

Für das Auswahlverfahren wird angenommen, dass alle in einem Raum befindlichen Komponenten in den PSA-relevanten Funktionen ausfallen, wenn in dem Raum ein Brand vorliegt (vgl. Abschnitt 3.4.1). Ein Raum ist grundsätzlich durch die anlagenspezifische Raumbezeichnung definiert (vgl. Tab. 2-1). Die in einem Raum befindlichen Komponenten sind der Raum-Komponenten-Zuordnung zu entnehmen.

Räume können jedoch für das hier angewandte Auswahlverfahren beliebig unterteilt werden, um eine realistischere Modellierung der brandbedingten Auswirkungen zu ermöglichen. Dies trifft insbesondere für sehr große Räumen zu, für die nicht zu unterstellen ist, dass bei einem Brand alle Komponenten des Raums brandbedingt mit der Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  ausfallen. Die so definierten Raumbereiche sind dann als eigene Räume zu codieren (vgl. Abschnitt 3.1.1) und die Raum-Komponenten-Zuordnung ist entsprechend zu modifizieren, d.h. die im ursprünglichen Raum befindlichen Komponenten sind auf die einzelnen Raumbereiche aufzuteilen.

Mit der angewandten Methode lassen sich auch komponentenbezogene fiktive "Raumbereiche" definieren. Dies kann sinnvoll sein, wenn beispielsweise davon aus-

zugehen ist, dass Komponenten, die sich im selben Raumbereich befinden, brandbedingt mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten ausfallen. Damit ließe sich bereits im Auswahlverfahren die Abhängigkeit des Ausfallverhaltens der Komponenten von der Zeitdauer der Brandeinwirkung berücksichtigen.

Nach Modifikationen der ursprünglichen Raum-Definitionen ist der allgemeine Brandvektor entsprechend anzupassen. Für unterteilte Räume müssen dann entsprechend den neuen Raumgrenzen für die entstandenen Raumpaarungen Übergangswahrscheinlichkeiten angegeben werden. Ebenso muss die ursprüngliche Raum-Komponenten-Zuordnung an die neue Raumeinteilung angepasst werden.

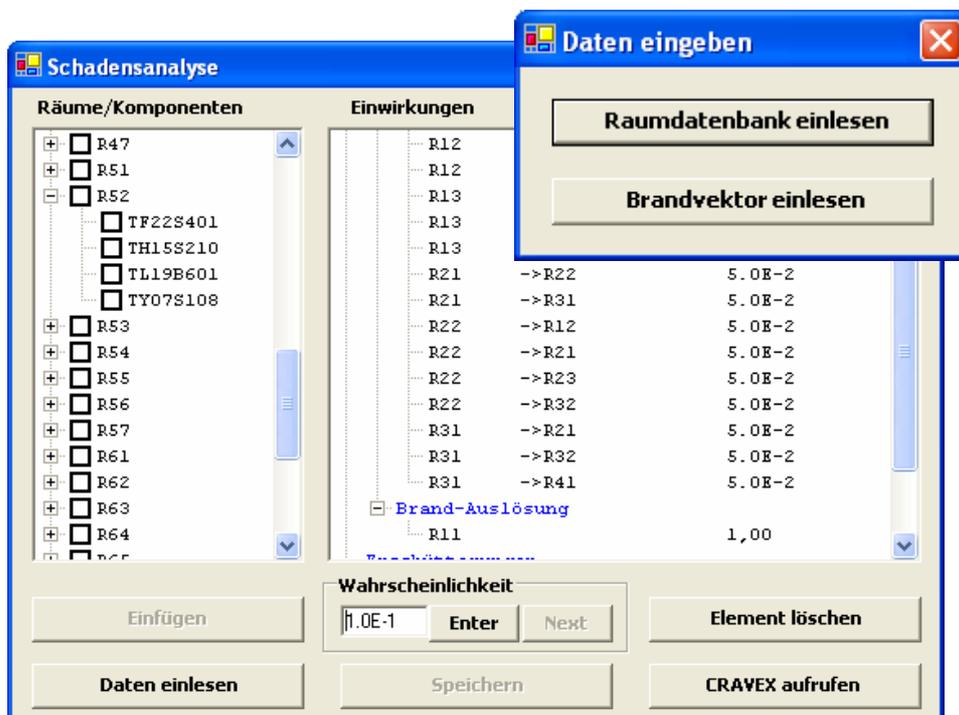
Für Komponenten, die in der Simulation der Raumausfälle brandbedingt ausfallen, wird im Auswahlverfahren unterstellt, dass alle in der PSA modellierten Funktionen versagen. Beispielsweise würde eine Pumpe in einem "Brandraum" nicht starten (Startversagen) oder während des Betriebes ausfallen (Betriebsversagen), eine Motorarmatur würde nicht öffnen bzw. nicht schließen.

Da im Programm CRAVEX die Simulation der Raum- bzw. Komponentenausfälle direkt mit der simulativen Auswertung der Ereignis- und Fehlerbäume verknüpft wird, muss die Kodierung der Komponenten in der Raum-Komponenten-Zuordnung derjenigen der Komponentenfunktionen (Basisereignisse) in den Fehlerbäumen des PSA-Modells entsprechen. Hierzu werden zweckmäßigerweise die Anlagenkennzeichen der Komponenten (z. B. "TM01S105") für die Raum-Komponenten-Zuordnung verwendet und um die Kodierung für die Ausfallarten der unabhängigen Ausfälle ergänzt (z. B. "...SN" für "schließt nicht"). Im Programm CRAVEX werden dann für die Simulation im Programmteil CRESSEX alle Komponentenfunktionen als brandbedingt ausgefallen gesetzt, bei denen die ersten acht Stellen des Basisereignisnamens mit dem Komponentennamen der im Programmteil RAVE ausgespielten Komponenten übereinstimmen. Liegt also zum Beispiel ein brandbedingter Ausfall der Komponente TM01S105 vor, dann würden in der Fehlerbaumauswertung durch CRESSEX die Funktionen "TM01S105 schließt nicht" (Basisereignis "TM01S105SN") und "TM01S105 öffnet nicht" (Basisereignis "TM01S105ÖN") als ausgefallen angenommen.

Durch diese Art der Kodierung der Komponenten in der Raum-Komponenten-Zuordnung lässt sich im Auswahlverfahren gegenwärtig nicht unterscheiden, aufgrund welchen brandbedingten Betriebsmittelausfalls (z. B. Kabel zur Stromversorgung eines Motors) eine Komponente ausgefallen ist. Für eine Bewertung der Brandfolgen im Hin-

blick auf den Eintritt eines Schadenszustandes kann aber die Information zu brandbedingten Ausfällen der Betriebsmittel einzelner Komponenten von Bedeutung sein. Das Auswahlverfahren sollte in diesem Punkt weiterentwickelt werden.

Die Eingabe der Raum-Komponenten-Zuordnung für das Programm CRAVEX erfolgt im Hauptfenster der MS WINDOWS®-Oberfläche "Schadensanalyse" durch Betätigen der Schaltfläche „Daten einlesen“ und in dem sich dann öffnenden Fensters durch Betätigen der Schaltfläche "Raumdatenbank einlesen" (Abb. 4-6). Die Raum-Komponenten-Zuordnung wird dann im linken Teil des Hauptfensters dargestellt. Bei Anklicken eines Raumes werden die im Raum befindlichen Komponenten angezeigt (beispielhaft für Raum R52 in Abb. 4-6).



**Abb. 4-6:** Eingabe der Raum-Komponenten-Zuordnung

#### 4.3.4 Eintritt brandbedingter auslösender Ereignisse

Zur Ermittlung der Häufigkeiten von Kernschadenszuständen aufgrund von Bränden sind Art und Häufigkeiten brandbedingter auslösender Ereignisse und die Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung der auslösenden Ereignisse erforderlichen System-

funktionen zu bestimmen. Während zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen das für die Anlage erstellte PSA-Modell (Ereignis- und Fehlerbäume) herangezogen werden kann (siehe folgender Abschnitt), stehen entsprechende Modelle für die auslösenden Ereignisse im Allgemeinen nicht zur Verfügung, da deren Häufigkeiten in der PSA weitgehend direkt aus der Betriebserfahrung abgeschätzt werden. Für das hier angewandte Auswahlverfahren werden daher zur Ermittlung der brandbedingten auslösenden Ereignisse und ihrer Häufigkeiten Expertenschätzungen auf der Basis der bei der Simulation der Raum- bzw. Komponentenausfälle ermittelten Wahrscheinlichkeiten verwendet.

Die bei einem Brandszenario - Eintritt eines Brandes in einem bestimmten Raum und Ausbreitung mit den entsprechenden Übergangswahrscheinlichkeiten - betroffenen Komponenten werden dahingehend beurteilt, ob ihr Versagen zur Auslösung einer Transiente mit Anforderung der Reaktorschnellabschaltung führen kann. Der brandbedingte Eintritt eines Kühlmittelverluststörfalls bzw. einer durch ein Leck ausgelösten Transiente wird dabei nicht unterstellt.

Berücksichtigt werden die in der PSA untersuchten Transienten, beispielsweise:

- Notstromfall,
- Ausfall Hauptwärmesenke (ohne bzw. Ausfall Hauptspeisewasser),
- Ausfall Hauptspeisewasser,
- Fehlschließen eines Frischdampf-Isolations-Ventils,
- Überspeisungstransiente.

Der brandbedingte Eintritt des auslösenden Ereignisses bei einer Siedewasserreaktoranlage "Fehlschließen eines Frischdampf-Isolations-Ventils" wird beispielsweise unterstellt, wenn die Magnetsteuerventile für eine DDA (Durchdringungsarmatur) aufgrund eines Brandes ausfallen. Anhand der in den Simulationen der Raum- und Komponentenausfälle ermittelten Wahrscheinlichkeiten lassen sich dann die Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt des entsprechenden auslösenden Ereignisses grob abschätzen.

Um die für ein Brandszenario in Frage kommenden auslösenden Ereignisse systematisch ermitteln zu können, ist zu den in der Raum-Komponenten-Zuordnung enthaltenen Komponenten anzugeben, zu welchem auslösenden Ereignis das brandbedingte Komponentenversagen führen kann. Dabei ist zu unterscheiden, ob der Ausfall der

Komponente alleine oder nur in Kombination mit anderen Komponentenversagen zum auslösenden Ereignis führen kann. Beispielsweise können Ausfälle der Magnetsteuerventile für die Frischdampf-Isolationsventile zu den auslösenden Ereignissen "Fehlschließen eines FD-Iso-Ventils" und "Ausfall Hauptwärmesenke" führen, allerdings nur in Kombination mit dem Versagen weiterer Magnetsteuerventile.

Gegenüber der Abschätzung der Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung brandbedingter auslösender Ereignisse (siehe folgender Abschnitt), für die auf ein PSA-Modell zurückgegriffen werden kann, sind zur Ermittlung dieser Ereignisse und ihrer Wahrscheinlichkeiten zusätzliche systemtechnische Analysen erforderlich. Um unnötigen Analyseaufwand zu vermeiden, sollten daher Brandszenarien ausgesondert werden, die für die Kernschadenshäufigkeit numerisch keine Rolle spielen, auch wenn der brandbedingte Eintritt eines auslösenden Ereignisses mit der bedingten Wahrscheinlichkeit  $W = 1$  bzw. der Brand-Eintrittshäufigkeit unterstellt wird. Hierzu können zunächst Simulationen zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen für möglichst abdeckende auslösende Ereignisse (abdeckend im Sinne von Anforderungen an die Systemfunktionen) durchgeführt werden.

#### **4.3.5 Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen zur Beherrschung auslösender Ereignisse**

Zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen zur Beherrschung auslösender Ereignisse werden die Ereignis- und Fehlerbäume der PSA herangezogen. Ihre numerische Auswertung erfolgt durch ein simulatives Verfahren, in welchem brandbedingte Komponentenausfälle und Zufallsausfälle berücksichtigt werden. Die Monte Carlo-Simulationen werden mit dem in der GRS entwickelten Programm CRAVEX durchgeführt (siehe Abschnitt 4.3.7.2).

Um dieses Programm nutzen zu können, muss für das untersuchte auslösende Ereignis ein Fehlerbaum mit dem Top-Ereignis für den Ausfall der Systemfunktionen (d. h., auslösendes Ereignis nicht beherrscht) vorliegen. Da die Verknüpfungen der einzelnen Systemfunktionen in den PSA-Programmen üblicherweise anhand von Ereignisbäumen dargestellt und ausgewertet werden, müssen die für ein bestimmtes auslösendes Ereignis zutreffenden Top-Verknüpfungen der Systemfunktionen in einem zusätzlichen Fehlerbaum (Top-Verknüpfungen für die Systemfunktionen) erstellt werden. Dies kann in dem jeweils verwendeten PSA-Programm erfolgen. Der so entstandene

Gesamtfehlerbaum (Boole'sche Logik) und der Datensatz für die Zuverlässigkeitskenngrößen werden als ASCII-Dateien exportiert und mit einem in der GRS entwickelten Programm in für CRAVEX geeignete Formate konvertiert.

Besonderheiten eines PSA-Programms, wie beispielsweise so genannte "House-Events" im Programm RISKPECTRUM<sup>®</sup>, werden bei der Konvertierung nicht umgesetzt. Sie müssen vor dem Auslesen der Boole'schen Logik durch eine explizite Modellierung ersetzt werden.

Vor dem Exportieren des Gesamtfehlerbaums sind ggf. weitere Modifikationen an den ursprünglich vorhandenen Fehlerbaumverknüpfungen für den Ausfall einzelner Systemfunktionen vorzunehmen. Dies kann Komponentenfunktionen betreffen, die in der PSA aufgrund der vernachlässigbaren Ausfallwahrscheinlichkeiten nicht modelliert sind, jedoch aufgrund eines Brandes für das Ergebnis durchaus wichtig sein können. Möglicherweise sind in der PSA auch UND-verknüpfte Komponentenfunktionen in einem Basisereignis zusammengefasst, die jedoch unterschiedlichen Räumen zuzuordnen sind und daher brandbedingt nicht immer gleichzeitig ausfallen müssen.

Weitere Modifikationen betreffen die Formatierung der Basisereignisse im Fehlerbaum bzw. im Datensatz für die Zuverlässigkeitskenngrößen. Die Namen der Basisereignisse für einen unabhängigen Ausfall einer Komponentenfunktion müssen mit dem achtstelligen Anlagenkennzeichen (entsprechend der Raum-Komponenten-Zuordnung) beginnen. Die weiteren Zeichen sind beliebig. Dagegen dürfen Basisereignisse für GVA in den ersten acht Stellen nicht mit einem Anlagenkennzeichen übereinstimmen. Der Grund hierfür ist, dass in CRAVEX bei der Simulation eines brandbedingten Ausfalls einer Komponente im Fehlerbaum alle Basisereignisse als ausgefallen gesetzt werden, bei denen die ersten acht Zeichen mit dem Anlagenkennzeichen übereinstimmen.

Nach Konvertierung der für ein bestimmtes auslösendes Ereignis zutreffenden Boole'schen Logik und der Zuverlässigkeitskenngrößen können für die zu untersuchenden Brandszenarien die Monte-Carlo-Simulationen zur Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten der entsprechenden Systemfunktionen durchgeführt werden. Im Hauptfenster des Simulationsprogramms CRAVEX (vgl. Abb. 4-7 und Abb. 4-8) werden hierzu eingegeben:

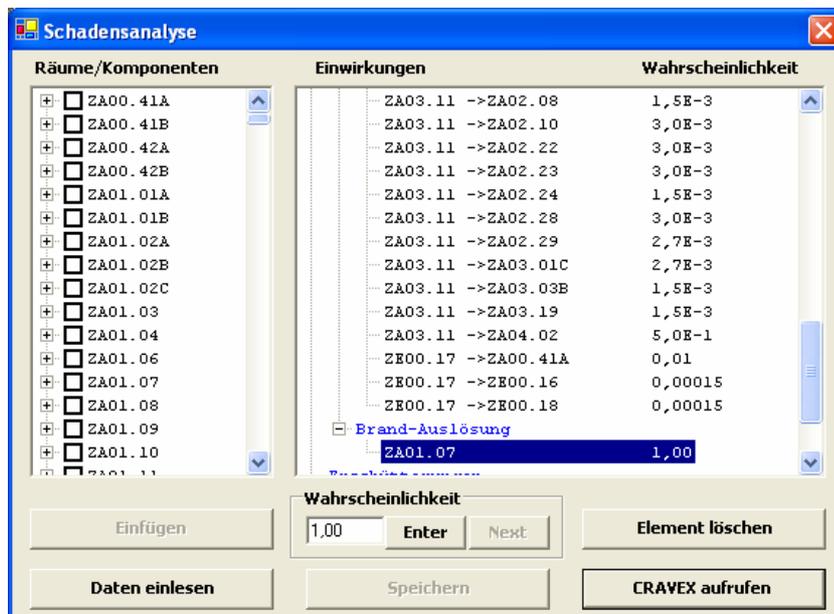
- Raum-Komponenten-Zuordnung,
- spezifischer Brandvektor,

- Raum und Wahrscheinlichkeit der Brandauslösung,
- Dateien für die Boole'sche Logik und für die Zuverlässigkeitskenngrößen,
- Abbruchkriterien der Simulation.

In einer ersten Anwendung des Verfahrens wurde den Simulationen der Fehlerbaum für den "Notstromfall" zugrunde gelegt. Der "Notstromfall" ist bezüglich der Anforderungen an die Systemfunktionen bei Transienten in weiten Bereichen abdeckend.

Der Verlauf einer solchen Simulation wird beispielhaft ausschnittsweise in Abb. 4-9 gezeigt. Dabei gibt die erste Spalte die Anzahl der durchgeführten Spiele an. Die zweite Spalte enthält die entsprechenden Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen. In Spalte drei wird die erreichte Standardabweichung angegeben. Aus den beiden letzten Spalten kann die verbrauchte bzw. die beim gegebenen Abbruchkriterium als noch erforderlich abgeschätzte CPU-Zeit in Sekunden ersehen werden.

In dem Beispiel beträgt die Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen nach 16.000 Spielen  $NV = 5.06 \text{ E-}03$ , wobei eine Standardabweichung von 11.1 % erreicht wurde. Für die Simulationen wurden ca. 21 Sekunden benötigt (einschließlich Einlesen aller Daten). Um die geforderte Standardabweichung von 1 % zu erreichen, wird ein Rechenzeitbedarf von weiteren 2.526 Sekunden abgeschätzt.



**Abb. 4-7:** CRAVEX-Hauptfenster nach Eingabe von Raum-Komponenten-Zuordnung, spezifischem Brandvektor sowie Raum und Wahrscheinlichkeit der Brandauslösung

Neben den eingegebenen Kriterien zum Abbruch der Monte-Carlo-Simulationen (vgl. Abb. 4-8) kann das Programm auch jederzeit durch Eingriff "von außen" beendet werden, ohne die bis dahin erzielten Ergebnisse der Simulationen zu verlieren.

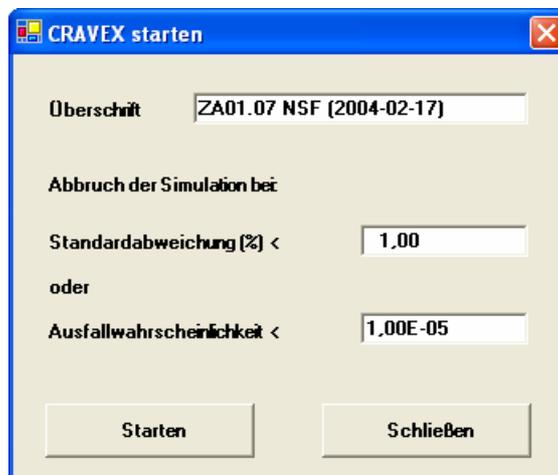


Abb. 4-8: CRAVEX-Fenster zum Starten der Simulationen

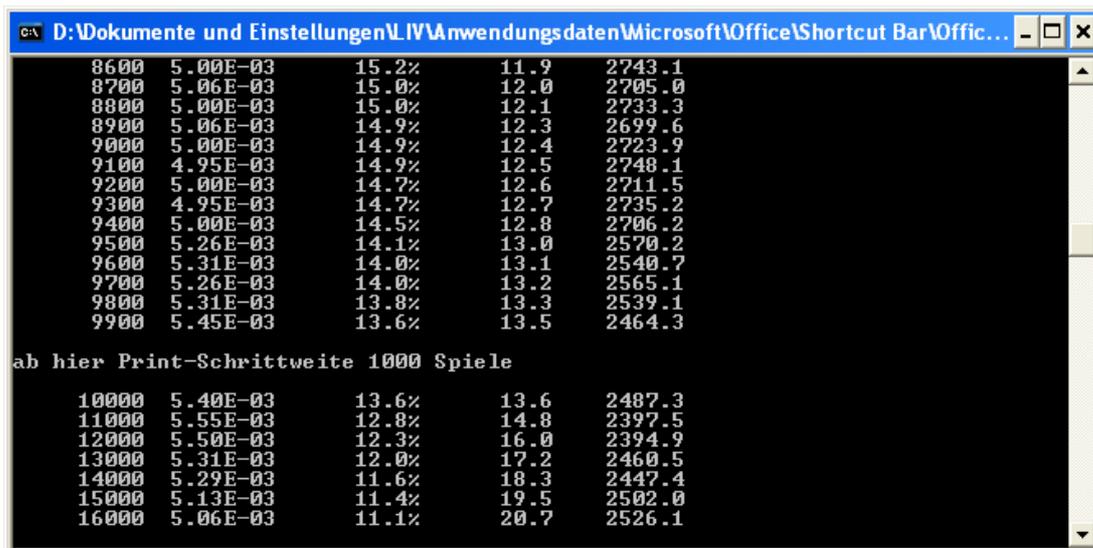


Abb. 4-9: Fenster mit Angaben zu den laufenden Simulationen

Nach Beendigung der Simulationen wird ein Fenster (siehe Abb. 4-10) mit der ermittelten Nichtverfügbarkeit und den Schaltflächen zum Öffnen der Ergebnisdateien geöffnet.



**Abb. 4-10:** CRAVEX-Fenster nach Beendigung des Programms

Die Fenster mit den Ergebnissen zu brandbedingten Raum- und Komponentenausfällen können separat über eigene Schaltflächen geöffnet werden. Die Listen (vgl. Abb. 4-11) können alphanumerisch oder nach den ermittelten Wahrscheinlichkeiten geordnet ausgegeben werden. Die Ergebnisse der zur Ermittlung von Nichtverfügbarkeiten von Systemfunktionen durchgeführten Simulationen weisen nur diejenigen brandbedingten Komponentenausfälle aus, die im zugehörigen Fehlerbaum als Basisereignisse vorkommen (zur Ermittlung aller brandbedingten Komponentenausfälle siehe Abschnitt 4.3.3).

Das Ergebnisprotokoll entspricht dem Ergebnisausdruck einer CRESSEX-Rechnung /GRS 82/, wobei zusätzlich die Wahrscheinlichkeiten der brandbedingten Raum- und Komponentenausfälle sowie verschiedene Informationen zur Überprüfung der Eingaben angegeben sind. Dazu gehören folgende Listen:

- Räume, die keine PSA-Komponenten enthalten,
- PSA-Komponenten, die in mehreren Räumen enthalten sind,
- Raum-Komponenten-Zuordnung (für die im spezifischen Brandvektor enthaltenen Räume und die darin enthaltenen PSA-Komponenten),
- Komponenten-Raum-Zuordnung (nur PSA-Komponenten und die im spezifischen Brandvektor enthaltenen Räume),
- Brandentstehungs-Raum und Wahrscheinlichkeit der Brandauslösung,
- Brand-Übergangswahrscheinlichkeiten (spezifischer Brandvektor).

Die Ergebnisse der Simulationen für die Nichtverfügbarkeiten sind im Ergebnisprotokoll in dem in Abb. 4-12 gezeigten Ausschnitt dargestellt. Die für die hier durchgeführten Analysen interessierende mittlere Nichtverfügbarkeit ist in dem Protokoll unter "UNAVAILABILITY" (EW) angegeben und bezeichnet den Erwartungswert der mittleren Nichtverfügbarkeit der zur Beherrschung des auslösenden Ereignisses erforderlichen Systemfunktionen. Die zugehörige Standardabweichung ist im Allgemeinen höher als die geforderte Standardabweichung (Abbruchkriterium), die sich auf den Ergebniswert "UNRELIABILITY" bezieht (vgl. /DRE 76/).

Raum	Wahrscheinlichkeit
ZA00.41A	1.98E-04
ZA01.06	9.18E-03
ZA01.07	1.00E+00
ZA01.08	1.00E-02
ZA01.09	6.09E-05
ZA01.19	3.26E-03
ZA01.29	4.58E-04
ZA02.06	6.04E-03
ZA02.07	9.87E-04
ZA02.08	5.34E-07
ZA02.10	5.34E-07
ZA02.22	9.24E-04
ZA02.23	4.67E-04
ZA02.25	7.47E-06
ZA02.28	1.60E-06
ZA02.29	8.18E-04
ZA03.01C	5.34E-07
ZA03.03B	1.07E-06

Komponente	Wahrscheinlichkeit
RA06S101C	1.93E-04
RA06S102C	1.00E+00
RA11S2120	9.29E-03
RA11S2130	9.29E-03
RA11S2140	1.00E+00
RA11S2220	1.00E+00
RA11S2230	1.00E+00
RA11S2600	9.29E-03
RA11S2610	1.93E-04
RA21S2120	9.29E-03
RA21S2130	1.93E-04
RA21S2140	1.00E+00
RA21S2220	1.93E-04
RA21S2230	1.00E+00
RA21S2610	1.93E-04
RA31S2120	9.29E-03
RA31S2130	1.00E+00
RA31S2140	1.00E+00

Abb. 4-11: Liste der Raum- bzw. Komponentenausfälle und ihre Wahrscheinlichkeiten

```

*****
UNAVAILABILITY (EW) = 5.0863D-04      STANDARD DEVIATION = 1.3936D-05 ( 2.7%)
UNRELIABILITY      = 5.3123D-03      STANDARD DEVIATION = 5.3115D-05 ( 1.0%)
*****

ZA01.07 NSF (2004-02-17)
CRAVEX -RUN FROM:   DATE: 2004-06-25   TIME: 14:48:00
INPUT-MEMBER FROM:  DATE: 17.02.04     TIME: 15:53:59
*****

CONFIDENCE INTERVALS FOR THE EXPECTATION VALUE OF THE MEAN UNAVAILABILITY OF THE SYSTEM:
-----
CERTAINTY 65%:      ( 4.95D-04, 5.23D-04 )
CERTAINTY 95%:      ( 4.81D-04, 5.37D-04 )
CERTAINTY 99%:      ( 4.67D-04, 5.50D-04 )

CONFIDENCE INTERVALS FOR THE EXPECTATION VALUE OF THE UNRELIABILITY OF THE SYSTEM:
-----
CERTAINTY 65%:      ( 5.26D-03, 5.37D-03 )
CERTAINTY 95%:      ( 5.21D-03, 5.42D-03 )
CERTAINTY 99%:      ( 5.15D-03, 5.47D-03 )

*****
ZA01.07 NSF (2004-02-17)
CRAVEX -RUN FROM:   DATE: 2004-06-25   TIME: 14:48:00
INPUT-MEMBER FROM:  DATE: 17.02.04     TIME: 15:53:59
*****

```

Abb. 4-12: Ergebniswerte der Simulation (Ausschnitt aus dem Ergebnisprotokoll)

Das Ergebnisprotokoll enthält neben den in den Simulationen als ausgefallen “ausgespielten“ Basisereignissen des Fehlerbaums auch die am häufigsten beobachteten Ausfallkombinationen, die zum Top des Fehlerbaums führen (siehe Abb. 4-13). Dabei können die in einer Kombination enthaltenen Ausfälle brandbedingt verursacht sein oder als Zufallsausfälle vorliegen (den Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten entsprechend).

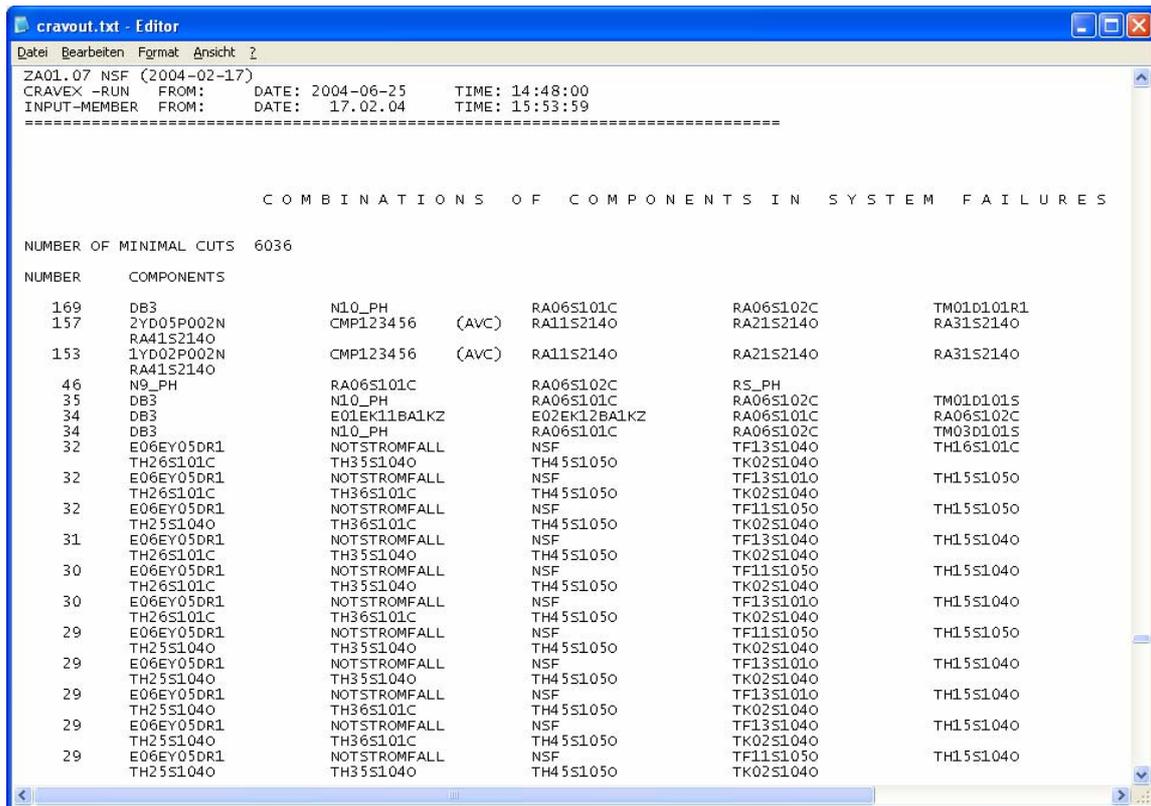


Abb. 4-13: Ausfallkombinationen (Ausschnitt aus dem Ergebnisprotokoll)

### 4.3.6 Auswertung der Simulationen zur Auswahl relevanter Brandentstehungs-Räume

Die im Auswahlschritt 3 für die Räume der Raummenge  $\{R\}_2$  durchgeführten Monte Carlo-Simulationen werden zur Ermittlung der Raummenge  $\{R\}_3$  ausgewertet, für die weitere Analysen erforderlich sind. Hierzu sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Häufigkeiten der Brandentstehung in den Räumen der Raummenge  $\{R\}_2$ ,

- Ergebniswerte der mittleren Nichtverfügbarkeiten der Systemfunktionen,
- dominante Ausfallkombinationen,
- dominante brandbedingte Ausfälle,
- zutreffende brandbedingte auslösende Ereignisse.

Brandentstehungsräume brauchen nicht weiter untersucht zu werden, wenn die Häufigkeit eines brandbedingten Schadenszustandes den in der PSA festgelegten Abschneidekriterien genügt. Räume lassen sich möglicherweise demnach bereits aussondern, wenn sich unter Berücksichtigung der Brandeintrittshäufigkeit und der mittleren Nichtverfügbarkeit der Systemfunktionen entsprechend geringe Werte ergeben. Für diese Fälle ist die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des brandbedingten Eintritts eines auslösenden Ereignisses nicht erforderlich. In den anderen Fällen sind durch Expertenabschätzungen die Wahrscheinlichkeiten der auslösenden Ereignisse zu ermitteln und für die Schätzwerte der Häufigkeiten brandbedingter Schadenszustände zu berücksichtigen.

#### **4.3.7 Programmmodule für Schritt 3 des Auswahlverfahrens**

##### **4.3.7.1 Programm zur Erzeugung des spezifischen Brandvektors**

Zur Erzeugung des spezifischen Brandvektors wurde ein Programm mit Hilfe einer MS EXCEL<sup>®</sup>-Anwendung (Makro) entwickelt. Mit dem in der MS EXCEL<sup>®</sup>-Mappe "Spez. Brandvektor-500.xls" enthaltenen Programm können allgemeine Brandvektoren mit maximal 500 Raum-Raum-Kennziffern ausgewertet und die spezifischen Brandübergangswahrscheinlichkeiten bis zu einer Ausbreitungstiefe von 3 ermittelt werden. Der in der Brandanalyse für eine Siedewasserreaktoranlage älterer Bauart verwendete Brandvektor hat 490 Raum-Raum-Kennziffern. Das Programm lässt sich für größere Brandvektoren erweitern, benötigt dann aber mehr Speicherplatz und längere Ausführungszeiten. Neben einem MS EXCEL<sup>®</sup>-Tabellenblatt mit Erläuterungen enthält die MS EXCEL<sup>®</sup>-Mappe folgende Blätter:

- "Brandvektor":  
Hier müssen (einmalig) der allgemeine Brandvektor und die von der Ausbreitungstiefe abhängigen Faktoren eingegeben werden. Zur Anwendung des Programms,

d.h. zur Erzeugung eines spezifischen Brandvektors, ist dann der Raum der Brandentstehung anzugeben und das Makro zu starten.

- “Auswahl1“:  
In diesem Blatt werden durch das MS EXCEL<sup>®</sup>-Makro aus dem allgemeinen Brandvektor automatisch alle zutreffenden Brand-Übergänge der Ausbreitungstiefe 1, 2 und 3 ausgefiltert und die entsprechenden Übergangswahrscheinlichkeiten ermittelt. Dabei ist es möglich, dass Brandübergänge für identische Raumpaarungen sowohl in der Ausbreitungstiefe 2 als auch 3 vorkommen. Da nach den getroffenen Annahmen die Faktoren in beiden Fällen identisch sind, ergeben sich auch identische Übergangswahrscheinlichkeiten.
- “Auswahl2“:  
Hier werden durch das MS EXCEL<sup>®</sup>-Makro die mehrfach vorhandenen Raumpaarungen ausgesondert, wobei jeweils der Übergang mit der geringeren Ausbreitungstiefe, d.h. Ausbreitungstiefe 2 erhalten bleibt. “Auswahl2“ im Filtermodus enthält somit die für den spezifischen Brandvektor zutreffenden Raumpaarungen mit den Übergangswahrscheinlichkeiten.
- “Spez. Brandvektor“:  
Der in “Auswahl2” ermittelte spezifische Brandvektor wird durch das Makro in eine zur Weiterverarbeitung im Programm “CRAVEX“ geeignetes Format gebracht und zum Ausdrucken vorbereitet.

Der spezifische Brandvektor wird als Eingangsinformation für die Simulation der brandbedingten “Raumausfälle“ und der dadurch verursachten Komponentenausfälle verwendet.

Die für das Auswahlverfahren maximal zugelassene Brand-Ausbreitungstiefe (BAT) ist in der vorliegenden Programmversion  $BAT = 3$ . Sie kann durch Null-Setzen der „Wahrscheinlichkeits-Faktoren“ für die Übergangs-Wahrscheinlichkeiten der Tiefen 3 bzw. 2 auf  $BAT = 2$  bzw.  $BAT = 1$  reduziert werden. Sollen Ausbreitungstiefen von 4 und mehr zugelassen werden, sind Programm-Modifikationen zur Ermittlung der spezifischen Brandvektoren erforderlich. Soll die Ausbreitungstiefe überhaupt nicht beschränkt werden, dann kann anstelle der spezifischen Brandvektoren jeweils der allgemeine Brandvektor verwendet werden. Es gelten dann allerdings für alle Brandübergänge – unabhängig von der Ausbreitungstiefe – die im Brandvektor angegebenen Übergangswahrscheinlichkeiten (d.h. die Raum-zu-Raum-Kennziffern).

#### 4.3.7.2 Simulationsprogramm CRAVEX

Das Programm CRAVEX enthält die beiden Programmteile RAVE<sup>1</sup> und CRESSEX<sup>2</sup>, in denen separate Monte Carlo-Simulationen durchgeführt werden. RAVE wurde im Forschungsvorhaben RS 1146 als Prototyp entwickelt und im vorliegenden Vorhaben angepasst und für die praktische Anwendung weiterentwickelt. CRESSEX lag als Teil des von der GRS entwickelten PSA-Programmpakets RALLY vor /GRS 82/ und wurde zur Nutzung für CRAVEX modifiziert.

Im Programmteil RAVE werden in einem Monte Carlo-Spiel die Räume bzw. Komponenten des Kernkraftwerks ermittelt, die durch Brandeinwirkung ausfallen. Grundlage der Simulationen sind die für die Räume bzw. Komponenten als Erwartungswerte einer Gleichverteilung abgeschätzten Wahrscheinlichkeiten für Ausfälle durch Brandeinwirkung, sei es durch Auslösung des Brandes in einem Raum oder durch Brandausbreitung in andere Räume. Wird ein Raum als (brandbedingt) ausgefallen simuliert, ermittelt RAVE anhand der Raum-Komponenten-Zuordnung die dadurch ausgefallenen Komponenten. Für eine ausgefallene Komponente wird angenommen, dass alle in der PSA modellierten Komponentenfunktionen versagen (eine Relativierung dieser unter Umständen sehr pessimistischen Annahme kann im Programm durch eine modifizierte Kodierung in der Raum-Komponenten-Zuordnung umgesetzt werden). Die in einem Monte-Carlo-Spiel ermittelten Komponentenausfälle werden als Eingabe für CRESSEX verwendet. Die Gesamtheit der Spiele (Stichproben) wird zudem statistisch ausgewertet. Als Ergebnis dieser Auswertung erhält man die Wahrscheinlichkeiten für die "Ausfälle" von Räumen und für Komponentenausfälle.

Im Programmteil CRESSEX werden in einem Monte-Carlo-Spiel für die nicht durch Brandeinwirkung ausgefallenen Komponenten die Ausfälle aufgrund der in der PSA für die Zufallsausfälle angegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt. Für reparierbare Komponenten werden die Ausfallzeitpunkte und Ausfallzeiten ausgespielt. Die insgesamt ermittelten Komponentenausfälle (durch Brandeinwirkung oder aufgrund von Zufallsausfällen) und ihre Ausfallzeiten werden anhand der Fehlerbaumlogik ausgewertet, d. h. es wird ermittelt, ob das unerwünschte Ereignis (Fehlerbaum-Top) erfüllt ist.

---

<sup>1</sup> Programmname RAVE aus "Raumversagen"

<sup>2</sup> Programmname CRESSEX aus "Calculation of the Reliability of Systems by Simulation, Extended Version"

Unter Berücksichtigung der Ausfallzeiten für reparierbare Komponenten (bei Zufallsausfällen) wird außerdem die "Systemtotzeit", also der Zeitraum, in dem das System ausgefallen ist, ermittelt. Aus den über die Spiele aufsummierten Totzeiten und der Gesamtbeobachtungszeit wird die mittlere Nichtverfügbarkeit des Systems berechnet (vgl. /DRE 76/).



## 5 Zusammenfassung

Eine PSA für das anlageninterne, übergreifende Ereignis Brand beinhaltet als ersten Schritt ein Auswahlverfahren (Screening) für Szenarien, die für das Brandrisiko relevant sind. In einem zweiten Schritt werden für die nach diesem Screening verbliebenen Brandszenarien Detailanalysen und probabilistische Bewertungen durchgeführt.

Der Screening-Prozess kann zum einen rein qualitativ erfolgen, zum anderen quantitativ oder auch mittels eines kombinierten qualitativen und quantitativen Verfahrens, wie es von der GRS bereits im Forschungsvorhaben RS 1112 /HOF 03/ entwickelt wurde. Bei der Überarbeitung der Fachbände zum PSA-Leitfaden wurde zunehmend deutlich, dass das von der GRS entwickelte kombinierte brandspezifische und systemtechnische Auswahlverfahren - insbesondere bezüglich der systemtechnischen Auswahl - noch stärker automatisiert und weiterentwickelt werden sollte, um den Einfluss von Expertenentscheidungen soweit wie möglich zu verringern.

Mit der Entwicklung des hier dargestellten Auswahlverfahrens sollte eine Methode bereitgestellt werden, die es erlaubt, Schätzwerte der Häufigkeiten von Schadenszuständen (z. B. Kernschadenszuständen) zu ermitteln. Damit können relevante Brandszenarien identifiziert werden sowie die in einer PSA für Vernachlässigungen festgelegten Abschneidekriterien auch bei Brandanalysen angewendet werden. Das Verfahren sollte möglichst weitgehend auf bereits vorhandene PSA-Modelle zurückgreifen, da die in diesen Modellen enthaltenen Ereignis- und Fehlerbäume sehr detailliert den Zusammenhang zwischen Komponentenausfällen und dem Eintritt von Schadenszuständen beschreiben. Das hier entwickelte Auswahlverfahren verknüpft brand- und raumspezifische Informationen zur Ermittlung der brandbedingten Komponentenversagen mit diesen Modellen zur Abschätzung von Schadenshäufigkeiten.

Das Auswahlverfahren besteht aus drei Schritten. In den ersten beiden Auswahlritten werden brand- bzw. raumspezifische sowie qualitative PSA-Informationen berücksichtigt, im dritten Auswahlritt werden Schadenshäufigkeiten durch Monte Carlo-Simulationen abgeschätzt. Hierzu wurde in der GRS das Programm CRAVEX mit seinen beiden Modulen RAVE und CRESSEX erstellt. Mit dem neu entwickelten Programmteil RAVE werden die Brandausbreitung von Raum zu Raum simuliert und daraus Informationen zu Komponentenausfällen abgeleitet. Das im PSA-Programmpaket der GRS (RALLY) enthaltene Modul CRESSEX wertet anhand von

Monte Carlo-Simulationen die Ereignis- und Fehlerbäume numerisch aus, wobei als Eingangsinformationen neben der Boole'schen Logik des Fehlerbaums die in RAVE ermittelten brandbedingten Komponentenausfälle sowie die in der PSA verwendeten Zuverlässigkeitskenngrößen herangezogen werden. Mit CRAVEX lassen sich somit auf der Grundlage von Ereignis- und Fehlerbäumen mittlere Nichtverfügbarkeiten der zur Beherrschung auslösender Ereignisse erforderlichen Systemfunktionen simulativ ermitteln.

Zur Abschätzung der Häufigkeiten brandbedingter auslösender Ereignisse stehen empirisch abgesicherte Daten im Allgemeinen nicht zur Verfügung. Das Auswahlverfahren stützt sich hier auf Expertenschätzungen. Das Auswahlverfahren sollte bezüglich der systematischen Ermittlung brandbedingter auslösender Ereignisse und ihrer Häufigkeiten weiterentwickelt werden.

Mit der Anwendung des Auswahlverfahrens in der PSA für eine Anlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart (SWR Baulinie 69) wurde die Methodik erprobt und bei einer Brand-PSA umgesetzt.

## 6 Literatur

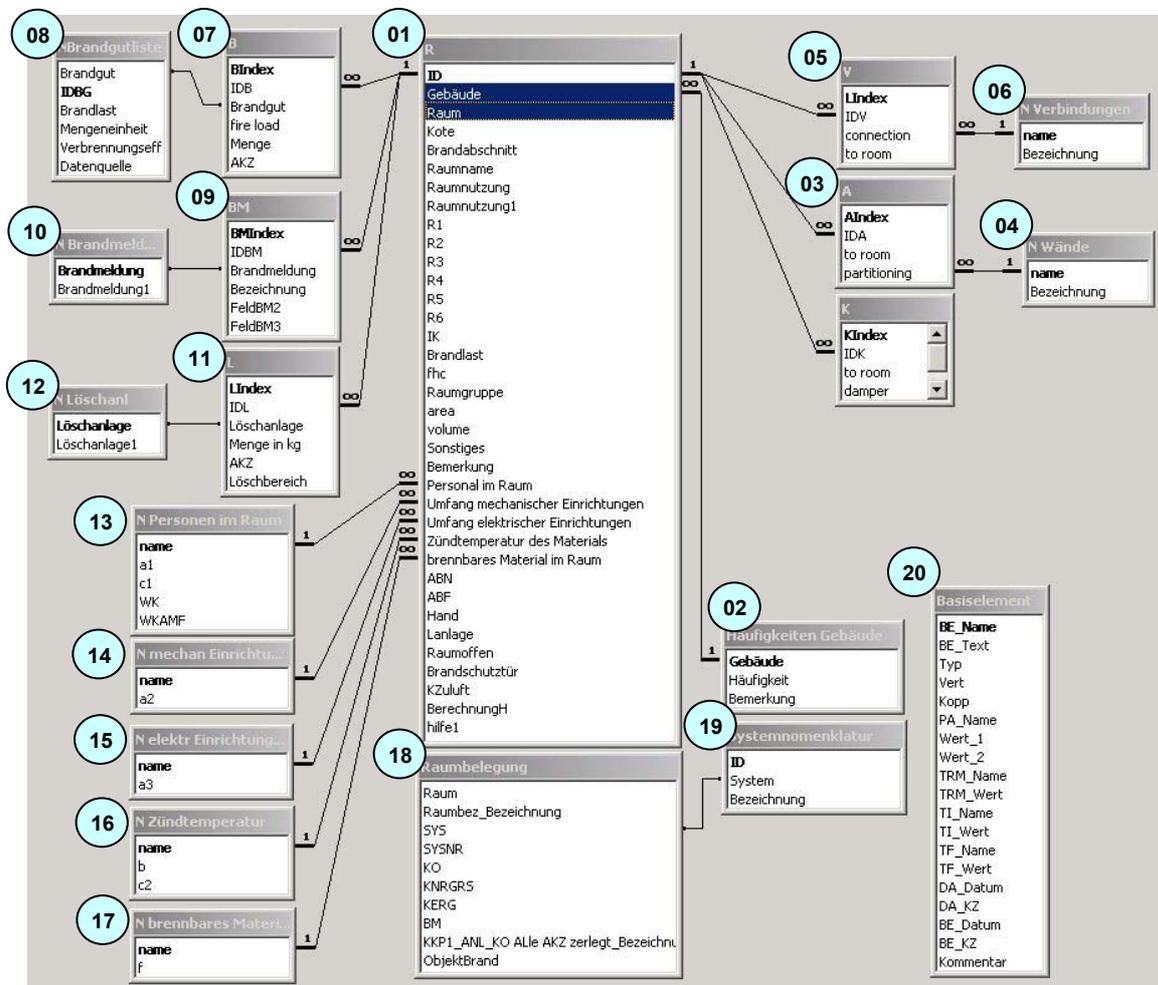
- /BER 79/ Berry, D. L., E. E. Minor  
Nuclear Power Plant Fire Protection, Fire Hazard Analysis,  
NUREG/CR-0654, SAND 79-0324, September 1979
- /BLE 02/ Bley, Dennis C., R. J. Budnitz, S. Kaplan, R. S. Magee  
Improved fire risk analysis methodology for determination of the frequency  
of challenging fires, Contract NRC-04-00-049, Draft September, 2002
- /DRE 76/ E. Dressler  
Theoretische Grundlagen Programmsystem SAFTL und CRESS zur  
Berechnung der Zuverlässigkeit von Systemen, MRR 164, September 1976
- /FAK 97/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraft-  
werke  
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 Fehlerbäu-  
men, Stand: April 1997, BfS-KT 18/97, Juni 1997
- /FAS 01/ Fasel, H. J., M. Röwekamp, M. Türschmann  
Die Auswahl kritischer Brandbereiche bei probabilistischen Brandanalysen  
(The Selection of Critical Fire Zones for Probabilistic Fire Safety Analyses),  
GRS-A-2835, April 2001
- /GRS 82/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Programmsystem RALLY - Zur probabilistischen Sicherheitsbeurteilung  
großer technischer Systeme, GRS-44, März 1982

- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Dringlichkeitsprojekt Äußere Einwirkungen, Entwicklung von Modellen zur Simulation der Auswirkungen verschiedener gezielter Einwirkungen von außen auf kerntechnische Einrichtungen, Charakterisierung potentieller Ziele (Arbeitsgebiet 3), Technischer Fachbericht, VS - nur für den Dienstgebrauch, GRS-V-RS1146 - AG3/2003, 2003
- /GRS 04/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Brand-PSA für eine Referenzanlage mit Siederwasserreaktor älterer Bauart, in Vorbereitung, 2004
- /HAI 02/ 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, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2002-592, ISSN 0724-3316, 2002
- /HOF 03/ Hofer, E., M. Röwekamp, M. Türschmann  
Fortschrittliche Methoden für eine Brand-PSA, GRS-190, ISBN 3-931995-58-5, 2003
- /HOF 94/ Hoffmann, H., G. Breiling  
Vorschlag zur Erweiterung "Probabilistischer Sicherheitsanalysen" auf interne Brände in deutschen Nuklearanlagen;  
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des BMU,  
BMU-1994-403, Bonn, 1994
- /KTA 00/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA)  
Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 2101.1, Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 1-3, Fassung 12/00; Dezember 2000
- /TUE 03/ Türschmann, M., W. Klein-Heßling, M. Röwekamp  
Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen dem Kernkraftwerk Saporoshje und der GRS im Jahr 2003  
GRS-V-SR2440-13/2003

# Anhang 1

## Datenbank RAUM - Datenstruktur

Die Struktur der Datenbank ist flexibel und zu einem gewissen Grad abhängig von dem zu bearbeitenden Problem und von den dafür vorhandenen Daten. In der nachfolgenden Übersicht werden die wichtigsten Tabellen der Datenbank und die entsprechenden Felder erläutert. Dabei wird auf den aktuellen Bearbeitungsstand der Datenbank im Rahmen der aktuellen Arbeiten zur Brand-PSA für ein Kernkraftwerk älterer Bauart mit Siedewasserreaktor Bezug genommen /GRS 04/. Zur Orientierung sind in der folgenden Abb. A1-1 die wichtigsten Beziehungen der Tabellen veranschaulicht.



\* Die Zahlen in den blauen Kreisen verweisen auf die entsprechenden Erläuterungen in Tabelle A1

**Abb. A1-1:** Datenstruktur (aus der probabilistischen Brandanalyse für eine Siedewasserreaktoranlage älterer Bauart /GRS 04/)

Die Tabelle <K> wird in der folgenden Tabelle nicht erläutert. Am Beginn des Arbeiten zur Brandanalyse für eine Referenzanlage älterer Bauart mit Siedewasserreaktor /GRS 04/ war geplant, hier den Räumen die entsprechenden Lüftungseinrichtungen zuzuordnen. Da aber im Verlauf des Projektes entschieden wurde, eine vollständige Raum-Komponenten-Matrix <Raumbelegung> einzubeziehen, konnte nachfolgend auf Tabelle <K> verzichtet werden.

**Tab. A1-1:** Tabellen und Felder der Datenbank RAUM

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
01	<R> Haupttabelle der <i>Datenbank RAUM</i> : Tabelle der Räume		
	ID	Zahl	Hauptindex der Datenbank
	Gebäude	Text(5)	Verbindung zur Codetabelle <Häufigkeiten Gebäude>, dort ausführliche Gebäudebezeichnung
	Raum	Text(8)	Raumnummer Die Raumnummer sollte in Analogie zum Nummernsystem des Kraftwerks gewählt werden. Im aktuellen Fall ist die Raumnummer wie folgt aufgebaut: EE.YYS. Dabei steht EE für die Etage, YY für eine laufende Raumnummerierung und S für einen Separator, falls eine Unterteilung des Raums in mehrere Bereiche erforderlich wird.
	Kote	Zahl	Kote in [m]
	Brandabschnitt	Text(10)	Name des Brandabschnitts Nicht belegt in /GRS 04/; genutzt in /TUE 03/; Feld kann in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung zur weiteren Raumklassifikation (vgl. auch Feld <i>fhc</i> ) genutzt werden.
	Raumname	Text (50)	Kurzbezeichnung des Raumes
	Raumnutzung	Memo	Zusatzinformationen zur Raumnutzung
	Raumnutzung1	Memo	Zusatzinformationen zu den brandspezifischen Daten
	R1 bis R6	ja/nein	Redundanzen im Raum
	IK	ja/nein	Inventarkriterium Das Kriterium wird gesetzt, wenn im Raum "wichtige" Komponenten vorhanden sind (das gilt auch für Kabel solcher Komponenten). Wichtige Komponenten per Definition solche, die in der PSA Verwendung finden. Kriterium wird (noch) per Hand gesetzt; ein automatisches Setzen ist möglich, wenn eine vollständige Komponenten-Raum-

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
			Zuordnungstabelle zur Verfügung steht.
	<i>Brandlast</i>	Zahl	Brandbelastung , d.h. Brandlast pro m <sup>2</sup> [MJ/m <sup>2</sup> ]; Eingabe nach Datenlage: Feld berechnet aus Tabelle < <i>Brandgut</i> > oder direkte Eingabe
	<i>fhc</i>	Text(5)	Fire hazard category Nicht belegt in /GRS 04/; genutzt in /TUE 03/; Feld kann in Abhängigkeit von der Aufgaben- stellung zur weiteren Raumklassifikation (vgl. auch Feld <i>Brandabschnitt</i> genutzt werden.
	<i>Raumgruppe</i>	Text(10)	Räumen können Raumgruppen zugeordnet werden. Nicht belegt in /GRS 04/; genutzt in /HAI 02/; Feld kann in Abhängigkeit von der Aufgaben- stellung zur weiteren Raumklassifikation (vgl. z. B. auch Feld <i>fhc</i> ) genutzt werden. In /HAI 02/ war die Brandbelastung manchmal nur für Raumgruppen gegeben.
	<i>Area</i>	Zahl	Fläche in [m <sup>2</sup> ]
	<i>Volume</i>	Zahl	Raumvolumen in [m <sup>3</sup> ]
	<i>Sonstiges</i>	Memo	Zusatzinformationen zu den Raumverbindungen
	<i>Bemerkung</i>	Memo	Weitere Bemerkungen zum Raum möglich
	<i>Personal im Raum</i>	Text(50)	Parameter des Berry-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.2.1.1); Eingabewert als Auswahl aus Tabelle < <i>N Personen im Raum</i> > vorgegeben
	<i>Umfang mechanischer Einrichtungen</i>	Text(50)	Parameter des Berry-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.2.1.1); Eingabewert als Auswahl aus Tabelle < <i>N mechan Einrichtungen</i> > vorgegeben
	<i>Umfang elektrischer Einrichtungen</i>	Text(50)	Parameter des Berry-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.2.1.1); Eingabewert als Auswahl aus Tabelle < <i>N elektr Einrichtungen</i> > vorgegeben
	<i>Zündtemperatur des Materials</i>	Text(50)	Parameter des Berry-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.2.1.1); Eingabewert als Auswahl aus Tabelle < <i>N Zündtemperatur</i> > vorgegeben
	<i>Brennbares Material im Raum</i>	Text(50)	Parameter des Berry-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.2.1.1); Eingabewert als Auswahl aus Tabelle < <i>N brennbares Material</i> > vorgegeben
	<i>ABN</i>	ja/nein	Sind automatische Brandmelder im Raum? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandausbreitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>ABF</i>	ja/nein	Sind automatische Brandmelder in direkten Nachbarräumen? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandaus-

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
			breitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>Hand</i>	ja/nein	Sind Handfeuerlöscher im Raum oder im Nebenraum? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandausbreitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>Lanlage</i>	ja/nein	
	<i>Raumoffen</i>	ja/nein	Ist der Raum offen bzw. hat nur normale Türen? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandausbreitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>Brandschutztür</i>	ja/nein	Brandschutztür vorhanden? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandausbreitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>KZuluft</i>	ja/nein	Sind Brandschutzklappen vorhanden? Feld wird automatisch belegt; Änderungsabfrage in der Gruppe <1: <i>automatische Belegung</i> >; Wert wird bei der Berechnung der Brandausbreitungsmöglichkeit genutzt.
	<i>BerechnungH</i>	ja/nein	Raum ist nach Anwendung der Auswahlkriterien 1 und 2 (vgl. Abb. 2-2) noch übrig (bei automatischer Setzung durch Anwendung der Gruppe <2: <i>Definition Ausschlusskriterium</i> >)
	<i>hilfe1</i>	ja/nein	Raum ist Sperrbereich (Vorsicht: Aktivität!) Erstmalig benutzt in /GRS 04/; Feld kann in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung zur Raumklassifikation genutzt werden.
<b>02</b>	<b>&lt;Häufigkeiten Gebäude&gt;</b>		
	Tabelle ist verknüpft mit dem Feld <i>Gebäude</i> in <R>		
	<i>Gebäude</i>	Text (5)	Kurzbezeichnung Gebäude (zur Verwendung in <R>)
	<i>Häufigkeit</i>	Zahl	Brandeintrittshäufigkeit für das Gebäude Zur Bestimmung der Brandeintrittshäufigkeit für einzelne Räume (Verfahren von Berry) wird dieser Wert als Ausgangswert gewählt. Zur Berechnung von relativen Häufigkeiten kann hier der Wert 1 gewählt werden.
	<i>Bemerkung</i>	Text(50)	Langtext zum Gebäude
<b>03</b>	<b>&lt;A&gt;</b>		
	Tabelle beschreibt die Art der Barriere zum Nachbarraum		
	<i>AIndex</i>	Autowert	Index Tabelle <A>
	<i>IDA</i>	Zahl	Verbindung zu Tabelle <R>

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
	<i>to room</i>	Zahl	Nachbarraum zu
	<i>partitioning</i>	Text(5)	Art der Rauntrennung, der Barriere (Codierung in Tabelle <N Wände>)
<b>04</b>	<b>&lt;N Wände&gt;</b> Codierung der Barrieren, zur Verwendung im Feld <i>partitioning</i> von Tabelle <A> (Diese Tabelle sollte vor Beginn eines Projektes aufgestellt werden. Die Tabelle kann entsprechend den Klassifizierungsforderungen erweitert werden, z. B. Felder zur <i>Wandstärke</i> oder zur <i>Art des Materials</i> )		
	Name	Text(5)	Codierung der Trennung
	Bezeichnung	Text(20)	Langtext zur Art der Trennung
<b>05</b>	<b>&lt;V&gt;</b> Tabelle beschreibt die Art der Verbindung(en) zum Nachbarraum		
	<i>LIndex</i>	Autowert	Index Tabelle <V>
	<i>IDV</i>	Zahl	Verbindung zu Tabelle <R>
	<i>to room</i>	Zahl	Nachbarraum zu
	<i>connection</i>	Text(5)	Art der Verbindung (Codierung in Tabelle <N Verbindungen>)
<b>06</b>	<b>&lt;N Verbindungen&gt;</b> Codierung der Verbindungen, zur Verwendung im Feld <i>connection</i> von Tabelle <V> (Diese Tabelle sollte vor Beginn eines Projektes aufgestellt werden. Die Tabelle kann entsprechend den Klassifizierungsforderungen erweitert werden, z. B. Felder zu <i>Art und Eigenschaften der Türen</i> )		
	Verbindung	Text(5)	Codierung der Verbindung
	Bezeichnung	Text(20)	Langtext zur Art der Verbindung
<b>07</b>	<b>&lt;B&gt;</b> Tabelle enthält Informationen zu den im Raum vorhandenen Brandgütern		
	<i>BIndex</i>	Autowert	Index Tabelle <B>
	<i>IDB</i>	Zahl	Verbindung zu Tabelle <R>
	Brandgut	Text	Verbindung zur Tabelle <NBrandgutliste>
	Fire load	Zahl	Brandlast in [MJ] Eingabe nach Datenlage: Die Brandlast eines Brandgutes berechnet sich aus $B.Menge * NBrandgutliste.Brandlast$ bzw. direkte Dateneingabe
	Menge	Zahl	Maßeinheit entsprechend $NBrandgutliste.Mengeneinheit$
	AKZ	Text(50)	Kann das Brandgut einem Behälter oder einer anderen Komponente zugeordnet werden, ist hier das Anlagenkennzeichnung einzugeben.
<b>08</b>	<b>&lt;NBrandgutliste&gt;</b> Eigenschaften von Brandgütern, Verbindung zu Tabelle <B>		
	Brandgut	Text(25)	Bezeichnung des Brandguts, Verbindung zu

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
			Tabelle <B>
	IDBG	Zahl	Index Brandgut
	Brandlast	Zahl	Brandlast in [MJ] pro Mengeneinheit
	Mengeneinheit	Text(10)	zugrunde liegende Maßeinheit (z. B. kg, l oder m bei vorgegebenen Kabelarten)
	Verbrennungseff	Zahl	Verbrennungseffektivität der ungeschützten Stoffe
	Datenquelle	Text(50)	Herkunft des Wertes
<b>09</b>	<b>&lt;BM&gt;</b> Tabelle enthält Informationen zu den im Raum vorhandenen Möglichkeiten der Brandmeldung		
	BMIndex	Autowert	
	IDBM	Zahl	Verbindung zu Tabelle <R>
	Brandmeldung	Text(50)	Art der Brandmeldung Verbindung zur Tabelle <N Brandmeldung>
	Bezeichnung	Text(50)	AKZ der Brandmeldeeinrichtung (falls gegeben)
	FeldBM2	Text(50)	Zusätzliche Angaben in Abhängigkeit von den vorliegenden Informationen (in /GRS 04/ sind Angaben zum Ort der Melder enthalten, z. B. Melder im Zwischenboden).
	FeldBM3	Text(50)	Zusätzliche Angaben in Abhängigkeit vom Problem, aktuell nicht belegt
<b>10</b>	<b>&lt;N Brandmeldung&gt;</b>		
	Brandmeldung	Text(50)	Art der Brandmeldung vorgegebene Codierung für <i>BM.Brandmeldung</i>
	Brandmeldung1	Text(50)	Zusätzliche Angaben in Abhängigkeit vom Problem, aktuell nicht belegt
<b>11</b>	<b>&lt;L&gt;</b> Tabelle enthält Informationen zu den im Raum vorhandenen Möglichkeiten der Brandlöschung		
	LIndex	Autowert	
	IDL	Zahl	Verbindung zu Tabelle <R>
	Löschanlage	Text(50)	Art der Brandlöschung Verbindung zur Tabelle <N Löschanl>
	Menge in kg	Text(50)	Menge des Löschmittels in [kg]
	AKZ	Text(50)	Anlagenkennzeichnung der Löschanlage (falls gegeben)
	Löschbereich	Text(50)	Angabe des Löschbereichs (falls gegeben)
<b>12</b>	<b>&lt;N Löschanl&gt;</b>		
	Löschanlage	Text(50)	Art der Brandlöschung vorgegebene Codierung für <i>L.Löschanlage</i>
	Löschanlage1	Text(50)	Zusätzliche Angaben in Abhängigkeit vom Problem, aktuell nicht belegt

Nr.	Feld	Feldgröße	Bemerkungen
13 14 15 16 17	<N Personen im Raum> <N mechan Einrichtungen> <N elektr Einrichtungen> <N Zündtemperatur> <N brennbares Material>		Tabellen enthalten die Parameter zur Berechnung der raumspezifischen Brand-eintrittshäufigkeiten nach dem Verfahren von Berry (vgl. Abschnitt 3.2.1.1). Tabelleninhalte sind fest vorgegeben und werden nicht verändert.
18 19	<Raumbelegung> <Systemnomenklatur>		Tabelle enthält die räumliche Zuordnung von Komponenten. Diese Zuordnung und die damit vorhandene Tabellenform sind abhängig vom Datensystem der untersuchten Anlage. In /GRS 04/ wurde die Originalstruktur der Raum-Komponentenzuordnung übernommen. Eine Zuordnung zur Tabelle <R> muss mit Abfragen realisiert werden (z. B. Abfrage <Welcher Raum>). Die Tabelle <Raumbelegung> enthält keine Kabelzuordnung. Dazu musste in /GRS 04/ auf ein Kabelmanagementsystem zurückgegriffen werden.
20	<Basiselemente>		Tabelle enthält die Basisereignisse der entsprechenden PSA. Wenn eine Komponente bez. einer Ausfallart Basisereignis in der PSA ist, wird für den Raum in dem sich die Komponente befindet, das Inventarkriterium <i>R.IK</i> gesetzt. Ebenso ist für alle Räume, durch die Versorgungs- oder Steuerungskabel für diese Komponente verlaufen, das Inventarkriterium zu setzen. Der Prozess der Belegung von <i>R.IK</i> ist nicht automatisiert. Die Auswertung von <Basiselemente> erfolgt mit Abfragen und <i>R.IK</i> wird per Hand gesetzt.



## Anhang 2

### Datenbank *RAUM* – Kurzanleitung

#### (1) Dateneingabe

Der grundsätzliche Aufbau der Datenbank ist in Anhang 1 beschrieben. Bei Anwendung dieser allgemein vorgegebenen Struktur auf eine konkrete Kernkraftwerksanlage wird es im Allgemeinen notwendig sein, Änderungen oder Ergänzungen vorzunehmen. Dazu ist dann auch das Eingabeformular an die geänderte Struktur anzupassen. Für die Datenerfassung ist es meist erforderlich, dass mehrere Personen daran mitarbeiten.

#### (2) Auswahl des zu analysierenden Gebäudes

Das Auswahlverfahren kann immer nur auf die Räume eines Gebäudes angewendet werden. Dazu ist in der Abfrage *<A-Bearbeitungsmenge>* die entsprechende Auswahl vorzunehmen.

#### (3) Durchführung des Auswahlverfahrens

Es wird vorausgesetzt, dass alle Primärdaten (siehe dazu Abschnitt 3) eingegeben sind.

Es sind Gruppen von Datenbankobjekten definiert, um die Arbeitsschritte festzulegen:

*<1: automatische Belegung>*

Eine Reihe von Feldern kann automatisch belegt werden. Das sind vor allem solche Felder, die für die Berechnung der Ausbreitungskennziffer 2 benötigt werden (vgl. Abschnitt 3.2.2.2). Die Aktualisierungsabfragen der Gruppe sind in der richtigen Reihenfolge auszuführen. Zur Erleichterung der Arbeit kann auch das Makro *<automatic>* genutzt werden. Dort ist die richtige Reihenfolge vorgegeben.

Insbesondere das Feld *Raumoffen* muss gesetzt sein, damit nachfolgend die Auswahlkriterien angewendet werden können.

*<2: Festlegung Ausgangsmenge>*

Die Aktualisierungsabfragen der Gruppe sind in der richtigen Reihenfolge durchzuführen. Zur Erleichterung der Arbeit kann auch das Makro *<Festlegung der*

*Ausgangsmenge*> genutzt werden, dort wird als Ergebnis die Liste der verbleibenden Räume angezeigt.

### <3. Ergebnisse>

Sollten aufgrund von Expertenentscheidungen aus der zuvor automatisch erzeugten Liste Änderungen per Hand (Wert von <BerechnungH>) vorgenommen worden sein, kann man sich die endgültige Liste einzeln mit der Abfrage <verbliebene Räume> anzeigen lassen.

Es sind die Tabellenerstellungsabfragen <BFG>, <BHG>, <BLG> durchzuführen (Makro <Neuberechnung von BFG, BHG, BLG>). Anschließend berechnet man mit der Abfrage <Rangliste: gesamt11> die Ranglisten der Räume nach den Kriterien Brandbelastung, Eintrittshäufigkeit und Brandausbreitung. Die Ergebnisse werden in einer Tabelle ausgegeben.

Wichtig! Bei jeder Änderung im Datensatz sind die Tabellenerstellungsabfragen erneut durchzuführen.

### **(4) Durchführung von Variantenrechnungen**

Zur Durchführung von Variantenrechnungen wird empfohlen, die Datenbank zu kopieren und in der Kopie die Änderungen durchzuführen. Der Datensatz im Original sollte nicht verändert werden.

Dieses Vorgehen ist auch anzuwenden, wenn die Datenbank sowohl für eine Brand-PSA im Leistungsbetrieb als auch für den Nichtleistungsbetrieb genutzt werden soll.

## Anhang 3

### Berechnung einer Ausbreitungskennzahl mit Hilfe eines generischen Ereignisablaufs

Ein detaillierter brandspezifischer Ereignisablauf muss mindestens die in der folgenden Tab. A3-1 enthaltenen Abfragen umfassen.

**Tab. A3-1:** Verzweigungspunkte in einem brandspezifischen Ereignisablauf

<b>Verzweigungspunkte im Ereignisablauf</b>	<b>Bemerkungen</b>
<b>Brandentstehung</b>	Brand Eintrittshäufigkeit; Ausgangspunkt des brandspezifischen Ereignisablaufs
<b>Brandentdeckung und -meldung</b>	
frühe Brandmeldung	
Personal	Meldung durch anwesende Personen direkt aus dem Brandbereich; Neben der Häufigkeit der Anwesenheit von Personen im Raum ist auch die Nichtverfügbarkeit von Meldeanlagen (Druckknopfmelder, Telefonanlagen u. a.) zu betrachten.
automatische Brandmelder	Nichtverfügbarkeit der im Raum vorhandenen automatischen Brandmelder
späte Brandmeldung	
Personal	Meldung durch anwesende Personen aus Nachbarbereichen oder Erkennung des Brandes durch indirekte Hinweise auf der Warte; Neben der Häufigkeit der Anwesenheit von Personen im Nachbarraum ist auch die Nichtverfügbarkeit von Meldeanlagen (Druckknopfmelder, Telefonanlagen etc.) zu betrachten.
automatische Brandmelder	Nichtverfügbarkeit der in den Nebenräumen vorhandenen automatischen Brandmelder
<b>Brandbekämpfung</b>	
Raumabschluss	Türen, Lüftung, Brandschutzklappen
Personal	Brandlöschung mittels tragbaren Feuerlöschgerät oder Löschanlage vor Ort
Feuerwehr	
Beschädigung der Einrichtungen durch Brandbekämpfung	
<b>Brandausbreitung</b>	
Barrieren	Feuerwiderstandsdauer
Raumabschluss	Türen, Lüftung, Brandschutzklappen

In Tab. A3-2 sind die interessierenden Endzustände im brandspezifischen Ereignisablauf aufgeführt.

**Tab. A3-2:** Endzustände im brandspezifischen Ereignisablauf

Endzustände	Bemerkungen
a	Schaden beschränkt sich auf den Entzündungsort im untersuchten Raum
b	Ausfall und Zerstörung aller Komponenten im untersuchten Raum
c	Ausfall und Zerstörung aller Komponenten im untersuchten Raum; Ausbreitung des Brandes, d.h. es wird zusätzlich vom Ausfall und der Zerstörung von Komponenten in den benachbarten Räumen ausgegangen.

Zur Bestimmung der Ausbreitungskennzahl ist es erforderlich, den detaillierten brandspezifischen Ereignisablauf (vgl. Tab. A3-1) so zu vereinfachen, dass

- eine standardisierte Auswertung möglich wird und
- möglichst viele der Raummerkmale (Informationssammlung in der Datenbank *RAUM*) automatisch berücksichtigt werden können.

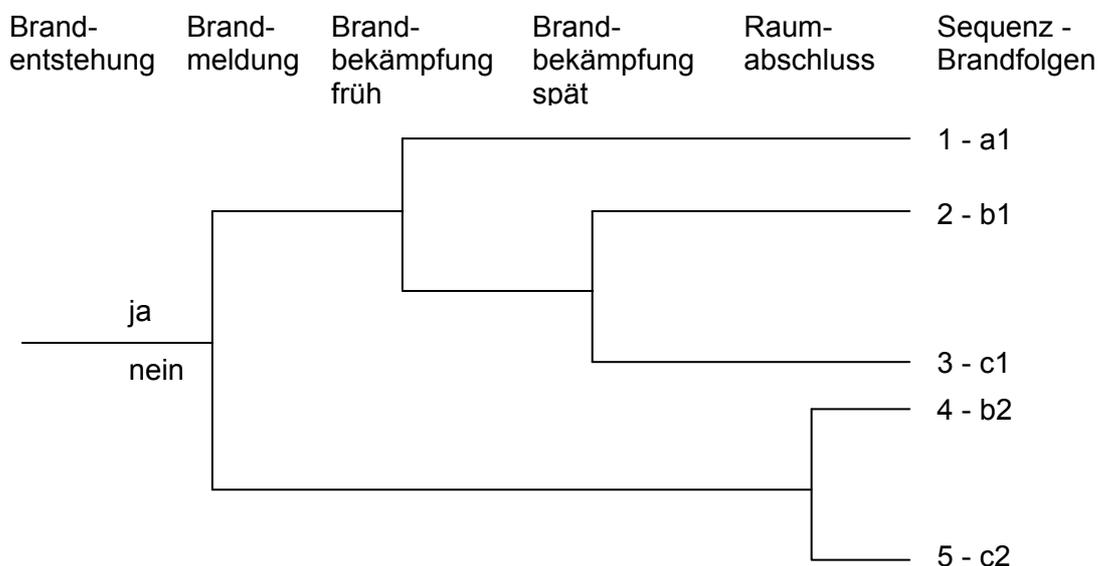
Der für den Auswahlprozess genutzte vereinfachte Ereignisbaum ist in Abb. A 3.1 angegeben.

Es wird darauf hingewiesen, dass es bei der Bestimmung einer Ausbreitungskennzahl im Rahmen des Auswahlverfahrens (Screening) nicht um die Ableitung einer korrekten probabilistischen Kenngröße geht. Es kommt lediglich darauf an, die eventuellen Folgen eines Brandes in einem gegebenen Raum mit denen eines anderen Raumes zu vergleichen. Die nachfolgend berechneten Ausbreitungskennzahlen sind also nur zum Vergleich der Räume geeignet. Als Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei einem Brand in einem Raum ein bestimmter Endzustand erreicht wird, sind sie nicht zu verwenden. Die Ermittlung derartiger Wahrscheinlichkeiten ist in einem Auswahlverfahren nicht zu leisten, hierfür erfolgen in der PSA vertiefte Analysen mit Unsicherheitsbewertung.

Im vereinfachten Ereignisbaum wird vereinfacht angenommen:

- Wenn keine Brandmeldung erfolgt, werden in Abhängigkeit vom Lüftungsabschluss nur noch die Endzustände b oder c (siehe Tab. A3-2) erreicht.

- Die Möglichkeit der Selbstlöschung wurde schon durch das Ausschlusskriterium "Brandlast < 90 MJ/m<sup>2</sup>" /FAK 97/ implizit berücksichtigt. Es wird weiterhin angenommen, dass ein erfolgreicher Raum- und Lüftungsabschluss die Brandausbreitung verhindert.
- Erfolgt eine rechtzeitige Brandmeldung, wird angenommen, dass keine Maßnahmen erfolgen oder möglich sind, um den Brand lüftungstechnisch einzuschränken (dies betrifft die Sequenzen 2 und 3 im vereinfachten Ereignisablauf, Abb. A3-1).
- Erfolgt eine frühe Brandbekämpfung, so bleiben die Brandauswirkungen auf den Entstehungsort beschränkt.
- Bei einer erfolgreichen späten Brandbekämpfung wird trotzdem angenommen, dass alle Komponenten im Raum durch die Verzögerung bei der Löschung des Brandes ausgefallen sind.
- Bei einfachen Türen als Verbindung zwischen den Räumen wird grundsätzlich die Möglichkeit des Offenstehens in Betracht gezogen. Als einfache Türen werden Verbindungen zwischen den Räumen bezeichnet, die nicht als Brandschutztüren entsprechend DIN 4102 klassifiziert sind.



**Abb. A3-1:** Brandspezifischer Ereignisablauf für den Auswahlprozess

Zur Berechnung des brandspezifischen Ereignisablaufs ist für jeden Raum eine Anzahl von Informationen erforderlich (siehe Abb. A3-2).

Parameter

The image shows a software interface for configuring fire event parameters. The interface is divided into several sections with various input fields and radio buttons. To the right of the interface, eight labels (E1 through E8) are connected to specific parts of the form by arrows, indicating which parameters they represent:

- E1:** points to the 'persons in the room' dropdown menu.
- E2:** points to the 'fire detection and alarm' section.
- E3:** points to the radio button options 'nearby' and 'far' under 'fire detection and alarm'.
- E4:** points to the 'fire fighting' section.
- E5:** points to the radio button options 'portable fire extinguisher' and 'extinguishing system' under 'fire fighting'.
- E6:** points to the 'fire spreading' section.
- E7:** points to the radio button options 'room open', 'fire door', and 'fire damper' under 'fire spreading'.
- E8:** points to the 'amount of mechanical equipment' dropdown menu.

Other visible parameters in the form include:

- 'during walk-down' dropdown
- 'ignition temp. of the material' dropdown (set to 'FP > 250 degrees (Celsius)')
- 'distrib. of combust. material' dropdown (set to 'in a big part of the room')
- 'amount of electrical equipment' dropdown (set to 'medium')
- 'room is important' radio button (checked)
- Buttons: 'room features + calc', 'building features', and 'choose another building'

**Abb. A3-2:** Benötigte Daten zur Bestimmung einer Ausbreitungskennzahl

In Tab. A3-3 sind die Parameter E1 bis E8 beschrieben. Die Eingabe kann über das Formular (Abb. A3-2) per Hand erfolgen. Eine automatische Belegung der Parameter E2 bis E8 ist bei vollständiger Eingabe der Primärdaten möglich (vgl. Anhang 2).

**Tab. A3-3:** Angaben zur Berechnung des brandspezifischen Ereignisablaufs

Parameter (siehe Abb. A3.2)	Erläuterungen
E1	Für die Belegung von E1 (Anwesenheit von Personen im Raum) gibt es 5 Möglichkeiten (siehe Tab. A3-4). E1 wird sowohl zur Berechnung der Eintrittshäufigkeiten (dazu siehe Abb. 3-2) als auch zur Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Brandes und der Nichtverfügbarkeit der Brandbekämpfung herangezogen.
E2	E2 ist zu setzen, wenn ein automatischer Brandmelder im Raum vorhanden ist.
E3	E3 ist zu setzen, wenn in einem offenen direkt angrenzenden Nebenraum ein automatischer Brandmelder vorhanden ist. Ein Raum gilt als offen, wenn er offen zum Nachbarraum ist oder nur durch eine einfache Tür (keine Brandschutztür) oder Drahtgittertür abgetrennt ist.
E4	E4 ist zu setzen, wenn manuelle Löscheinrichtungen im Raum oder im Nachbarraum vorhanden sind. Bei der Berechnung der Nichtverfügbarkeit der frühen Brandbekämpfung wird zusätzlich der Parameter E1 herangezogen.
E5	E5 ist zu setzen, wenn eine stationäre Löschanlage im Raum vorhanden ist. Hier wird vorausgesetzt, dass die Löschanlage tatsächlich nur für den speziellen Raum vorgesehen ist, d.h. von Löschanlagen in offenen Nachbarräumen wird kein Kredit genommen. Bei der Berechnung der Nichtverfügbarkeit der frühen Brandbekämpfung wird zusätzlich der Parameter E1 herangezogen.
E6 bis E8	Möglichkeiten der Brandausbreitung werden pauschal durch die Angaben E6 bis E8 beschrieben.
E6	E6 ist zu setzen, wenn der Raum offen (offen, einfache Tür, d.h. keine Brandschutztür, Drahtgittertür) zu einem Nachbarraum ist. Für den Auswahlprozess ist E6 die dominante Angabe bei der Beurteilung der Möglichkeiten zur weiteren Brandausbreitung. Nur wenn der Raum geschlossen ist, werden die Angaben E7 und E8 bei der Berechnung der Nichtverfügbarkeit des Raumabschlusses relevant.
E7	E7 ist zu setzen, wenn der Raum zu einem beliebigen Nachbarraum mit einer Brandschutztür ausgestattet ist.
E8	E8 ist zu setzen, wenn im Raum Brandschutzklappen vorhanden sind.

Zur Berechnung des vereinfachten Ereignisablaufs (vgl. Abb. A3-1) werden ausschließlich generische Daten verwendet. Wie weiter unten erläutert, sind die Daten dem PSA-Leitfaden /FAK 97/ entnommen und modifiziert worden. Die Anlagenspezifik wird an dieser Stelle der Analyse allein durch die Berücksichtigung qualitativer Informationen (vgl. Angaben E1 bis E8 in Tab. A3-3) realisiert.

In den Verzweigungspunkten des vereinfachten brandspezifischen Ereignisablaufs werden die nachfolgenden Annahmen und Daten verwendet.

- Verzweigung Brandmeldung

Folgende Daten werden benötigt:

- Anwesenheit von Personen im Raum und in den Nachbarräumen (vgl. Angabe E1 in Abbildung A3.2),
- Vorhandensein von automatischen Brandmeldern im Raum (vgl. Angabe E2 in Abb. A3-2),
- Vorhandensein von automatischen Brandmeldern in unmittelbar anschließenden Nachbarräumen (vgl. Angabe E3 in Abb. A3-2).

Die Erkennung der Möglichkeit einer indirekten Branderkennung wird nur in Ausnahmefällen schon im Auswahlprozess möglich sein, deshalb ist diese Einflussgröße erst in den detaillierten brandspezifischen Ereignisablauf einzubeziehen.

Bei der Anwesenheit von Personen im Raum werden folgende Fälle unterschieden (die Wahrscheinlichkeiten P1 und P2 wurden /FAK 97, Tabelle 7.4/ entnommen):

**Tab. A3-4:** Entdeckungswahrscheinlichkeiten für einen Brand

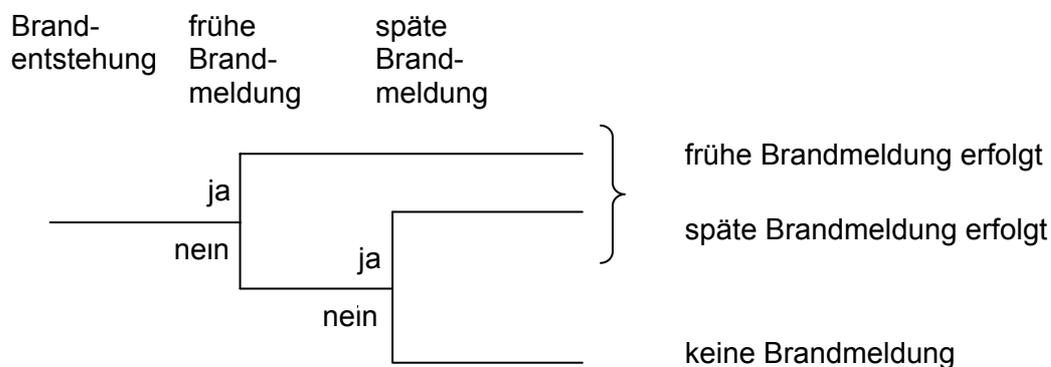
Anwesenheit von Personen	Wahrscheinlichkeit P1, dass ein Entstehungsbrand durch die Personen im Raum nicht entdeckt wird	Wahrscheinlichkeit P2, dass Personen im Nachbarbereich auch in der Vollbrandphase den Brand nicht entdecken
ständig	0.1	0.001
meistens	0.8	0.02
ein Drittel der Zeit	0.99	0.2
während der Rundgänge	1	0.5
selten	1	0.5

Bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit wird bei der Anwesenheit zwischen "während der Rundgänge" und "selten" unterschieden. Beiden Möglichkeiten wird der gleiche Wahrscheinlichkeitswert zugewiesen.

Die Interpretation des Parameters *Anwesenheit* (siehe Tab A3-4) ist anlagenspezifisch durchzuführen. So ist es sicherlich nicht angemessen, dem Parameter *Anwesenheit* den Wert "während der Rundgänge" zuzuordnen, wenn Brandläufer etwa alle drei Stunden auf Rundgänge gehen, um die Brandgefahr durch frühzeitige Entdeckung zu minimieren. Mit den vorgegebenen Möglichkeiten für den Parameter *Anwesenheit* (Tab. A 3-4) gelingt es nicht, zwischen Rundgängen alle drei Stunden, jeden Tag oder jede Woche zu unterscheiden. Auch solche spezifischen Unterscheidungen, ob eine Person allein oder ob gleichzeitig zwei Rundgänger unterwegs sind, können - obwohl durchaus relevant - nicht einbezogen werden. Insgesamt ist hier die Methode von Berry /BER 79/ aktuell anzupassen, um dann die speziellen Zustände im untersuchten Kernkraftwerken besser widerspiegeln zu können.

Die Ermittlung der Ausbreitungskennzahl erfolgt unter folgenden weiteren vereinfachenden Annahmen:

- die Häufigkeit der Anwesenheit von Personen im unmittelbar anschließenden Nachbarraum ist gleich der Anwesenheit von Personen im betrachteten Raum,
- die Brandmeldung erfolgt immer spät (siehe Abb. A3-3 ).



**Abb. A3-3:** Verzweigung Brandmeldung

Weitere Daten (alle generisch aus /FAK 97/):

- P1, P2
- Die Entdeckung und Meldung eines Brandes durch Personen wird durch die Wahrscheinlichkeiten P1 und P2 beschrieben. Die Möglichkeit des Versagens von Druckknopfmeldern und anderen durch den Menschen zu bedienenden Meldevorrichtungen (z. B. Telefonanlagen) wird beim Auswahlprozess nicht betrachtet.

- P3  
mittlere Nichtverfügbarkeit für die automatische Brandmeldung im Raum (frühe Brandmeldung): 0.02
- P4  
mittlere Nichtverfügbarkeit für die automatische Brandmeldung in benachbarten Räumen: 0.2

Die Wahrscheinlichkeit, dass keine Brandmeldung erfolgt, berechnet sich bei den oben getroffenen Annahmen aus dem Produkt  $P1 * P2 * P3 * P4$ . Dabei werden die  $P_i$ ,  $i = 3,4$ , gleich 1 gesetzt, wenn keine automatische Meldeanlage vorhanden ist.

- Verzweigung Brandbekämpfung (früh)

Die frühe Brandbekämpfung ist abhängig von der Anwesenheitsdauer von Personal im Raum (bzw. in direkt angrenzenden Nachbarräumen) und dem Vorhandensein von Handfeuerlöschgeräten bzw. stationären Löschanlagen. Es sind Festlegungen für folgende Wahrscheinlichkeiten zur Brandbekämpfung zu treffen:

- P6: Nichtverfügbarkeit einer frühen Brandbekämpfung durch Personen,
- P7: Nichtverfügbarkeit einer frühen automatischen Brandbekämpfung.

Für den Auswahlprozess wird festgelegt, dass eine frühe Brandlöschung per Hand nicht möglich ist ( $P6 = 1$ ), wenn kein Handfeuerlöschgerät im Raum bzw. im Nebenraum vorhanden ist. Ist ein Handfeuerlöschgerät vorhanden, wird in den Fällen, dass ständig oder meistens Personen im Raum oder Nebenraum sind,  $P6 = 0.05$  gesetzt (vgl. /FAK 97, Tabelle 7.6/). In den anderen Fällen gilt  $P6 = 1$ .

Wenn zusätzlich eine stationäre Löschanlage vorhanden sein sollte, wird  $P7 = 0.1$  (ungünstigster Wert aus /HOF 94, S. 47/, Wert b für stationäre  $CO_2$ -Löschanlagen) gesetzt. Dies aber nur in den Fällen, dass ständig oder meistens Personen im Raum oder Nebenraum anwesend sind. Die Möglichkeit, dass nach erfolgreicher Meldung eine manuelle Auslösung der Löschanlage von der Warte stattfinden könnte, wird beim Auswahlprozess konservativ nicht berücksichtigt.

Zusammengefasst:

$$P6 = \begin{cases} 1 & \text{wenn kein Handfeuerlöscher vorhanden oder Personen nur selten} \\ & \text{im Raumbereich sind} \\ 0.05 & \text{wenn Personen meistens oder ständig im Raumbereich sind und} \\ & \text{ein Handfeuerlöscher vorhanden ist.} \end{cases}$$

$$P7 = \begin{cases} 1 & \text{wenn keine stationäre Löschanlage vorhanden oder Personen nur} \\ & \text{selten im Raumbereich sind} \\ 0.1 & \text{wenn Personen meistens oder ständig im Raumbereich sind und} \\ & \text{eine stationäre Löschanlage vorhanden ist.} \end{cases}$$

Für die Versagenswahrscheinlichkeit einer frühen Brandlöschung gilt  $P6 * P7$ .

- Verzweigung Brandbekämpfung (spät)

Bei der manuellen Brandbekämpfung durch die Werksfeuerwehr wird von einer Versagenswahrscheinlichkeit von  $P8 = 0.5$  ausgegangen /HOF 94, S. 48/. Von einem eventuellen Vorhandensein einer stationären Löschanlage wird zu diesem Zeitpunkt bei dieser Verzweigung kein Kredit mehr genommen, da vom Ausfall dieser Anlage bei der frühen Bekämpfung ausgegangen wird. Bei einer detaillierten Betrachtung des brand-spezifischen Ereignisbaumes ist hier zu differenzieren.

- Verzweigung Raumabschluss

Erfolgt keine Brandmeldung, kann nur durch passiv wirkende Einrichtungen des Raumabschlusses (Brandschutztüren, Brandschutzklappen) eine Ausbreitung des Brandes verhindert werden.

#### *Brandschutztüren:*

Wurde bei der Informationssammlung zwischen den verschiedenen Arten von Brandschutztüren unterschieden, kann hier mit detaillierten Datenangaben gerechnet werden.

Vorerst wird dabei angenommen, dass alle Brandschutztüren ohne Feststellvorrichtung ausgestattet sind. In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Begehung der Räume liegt die Nichtverfügbarkeit  $P9$  für die Funktion "Brandschutztür geschlossen" zwischen 0.05 und 0.1. Dieser Wert stellt eine Einschätzung für regelwidriges Festklemmen der Tür durch Betriebspersonal dar /HOF 94/.

$$P9 = \begin{cases} 0.05 & \text{Personen sind nicht "meistens" oder "ständig" oder "ein Drittel der Zeit" im Raum} \\ 0.1 & \text{Sonst} \end{cases}$$

Anmerkung:

$P9 = 0$ , wenn keine Brandschutztür vorhanden ist. Die Nichtverfügbarkeit  $P12$  des Raumabschlusses wird 1 gesetzt, wenn der Raum offen ist bzw. nur eine einfache Tür den Raum abschließt.

*Brandschutzklappen:*

Brandschutzklappen im Abluftkanal (/FAK 97, Tabelle 7.5/):

Mittlere Nichtverfügbarkeit  $P10$

$P10 = 0.1$  bei Versagen der thermischen Auslösung über Schmelzlot,  $P10 = 0$ , wenn keine Brandschutzklappe im Abluftkanal vorhanden ist.

Brandschutzklappen im Zuluftkanal (/FAK 97, Tabelle 7.5/):

Mittlere Nichtverfügbarkeit  $P11$

$$P11 = \begin{cases} 0.6 & \text{Brandschutztüren geschlossen (P9 = 0)} \\ 0.9 & \text{Brandschutztüren offen (P9 = 1)} \end{cases}$$

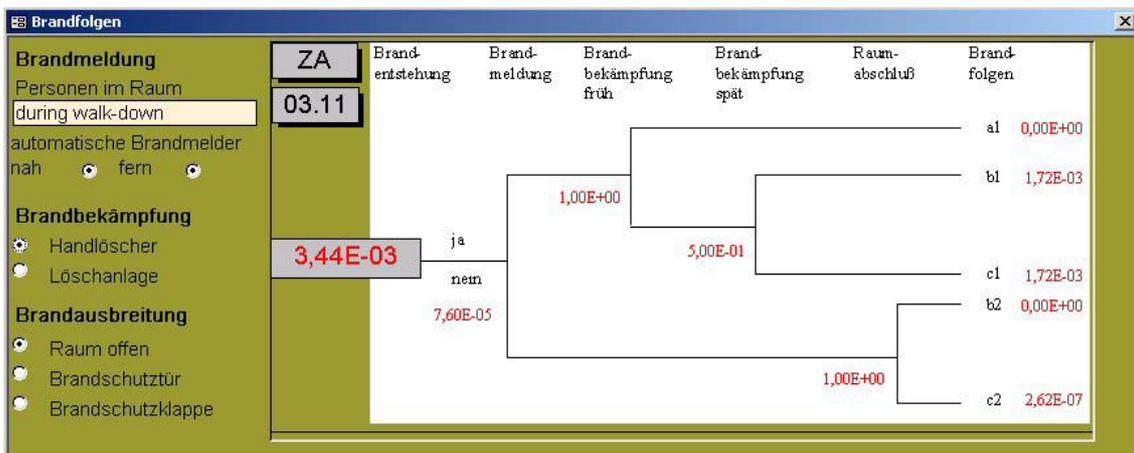
Abhängig von der Wahrscheinlichkeit  $P9$  ergibt sich  $P11 = P9 * 0.9 + (1 - P9) * 0.6$ .

$P11 = 0.1$  bei Versagen der thermischen Auslösung über Schmelzlot,  $P11 = 0$ , wenn keine Brandschutzklappe im Zuluftkanal vorhanden ist.

Hier wird nicht zwischen Brandschutzklappen im Zu- und Abluftkanal unterschieden. Weiterhin wird die Anzahl der vorhandenen Brandschutzklappen nicht in die Berechnung einbezogen. Die Nichtverfügbarkeit einer Brandschutzklappe wird konservativ mit  $P11 = 0.63$  festgelegt (ungünstigster Wert für eine Brandschutzklappe im Zuluftkanal).

Für den Auswahlprozess ergibt sich damit die Nichtverfügbarkeit des Raumabschlusses  $P12$  durch folgende einfache und konservative Abschätzung:

$$P12 = \begin{cases} 1 & \text{Raum ist offen (bzw. nur durch eine normale Tür (keine klassifizierte Brandschutztür) bzw. eine Drahtgittertür geschlossen)} \\ P9 + P11 - P9 * P11 & \text{sonst} \end{cases}$$



**Abb. A3-4:** Anzeige Berechnung Brandauswirkungsdiagramm eines Raumes

Sind die benötigten Informationen gegeben, kann mit den zuvor festgelegten Daten der raum- und brandspezifische Ereignisablauf in der Datenbank *RAUM* berechnet und angezeigt werden (Abb. A3-4).

## **VERTEILER**

### **Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Referat AG RS I 3, Frau Dr. Wassilew-Reul 2x

### **Bundesamt für Strahlenschutz**

Abt. SK, Prof. Dr. Berg 5x

### **GRS**

Geschäftsführer	(hah, ldr)	je	1x
Bereichsleiter	(brw, erl, erv, lim, prg, tes)	je	1x
Projektcontroller	(hab)		1x
Abteilung 5040	(reh)		1x
Abteilung 6020	(rop)		1x
Abteilung 8040	(hog)		1x
Autoren	(tue, liv, row)	je	3x

**Gesamtauflage:**

**28 Exemplare**