

# Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

Ergänzung und Aktualisierung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Leichtwasserreaktoren – Vorhaben 3610R01370

Auftragnehmer:  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

B. Forell  
S. Einarsson

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMUB (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

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

**BfS-RESFOR-119/16**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2016120914218**

Salzgitter, Dezember 2016

Ergänzung und Aktualisierung  
von Zuverlässigkeits-  
kenngrößen für  
Brandschutzeinrichtungen in  
deutschen  
Leichtwasserreaktoren

Burkhard Forell  
Svante Einarsson

Mai 2014

Auftrags-Nr.: 857180

**Anmerkung:**

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des BMUB im Rahmen des Vorhabens 3610R01370 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

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

## Kurzfassung

Im Rahmen des BMUB-Vorhabens 3610R01370 "Ergänzung und Aktualisierung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Leichtwasserreaktoren" wurden anlagenspezifische und generische Ausfallraten für die technische Zuverlässigkeit von aktiven Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken ermittelt. Die Ergebnisse stellen dabei eine Ergänzung und Erweiterung der in früheren Vorhaben ermittelten Ausfallraten dar, sodass mittlerweile Ausfallraten für insgesamt sechs deutsche Referenzanlagen mit sieben Kraftwerksblöcken vorliegen.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Daten für folgende Brandschutzeinrichtungen ermittelt und statistisch ausgewertet:

- Brandmeldeanlagen, d. h. Brandmeldezentralen, Unterzentralen, Einschübe mit Brandmeldelinien, Brandmeldelinien und automatische Brandmelder sowie Handfeuermelder,
- ortsfeste Löschanlagen, Löschwasserversorgung, Hydranten und Schaumzuminischer,
- Brandschutztüren, Feststellanlagen für Brandschutztüren,
- Brandschutzklappen und Entrauchungsklappen in Lüftungskanälen sowie
- Rauch- und Wärmeabzugsgeräte.

Die betrachteten Brandschutzeinrichtungen werden zur Schaffung möglichst einheitlicher Grundgesamtheiten nach Ausführungen und Typen differenziert und, falls sinnvoll, die Komponentenfunktionen in Teilfunktionen, z. B. für die Ansteuerung einerseits und die Schließ-/Öffnungsfunktion andererseits, unterteilt. Dadurch können verschiedenartige, teilweise redundante Auslösungen in Fehlerbäumen berücksichtigt werden.

Die ermittelten Ausfälle basieren auf der Auswertung von wiederkehrenden Prüfungen (WKP) in den Referenzanlagen. Aus der so ermittelten Anzahl von Ausfällen und dem Betrachtungszeitraum aller Komponenten wird mittels des Ansatzes von Bayes eine mittlere Ausfallrate für die betrachteten (Teil-)Funktionen bestimmt. In einem zweistufigen statistischen Verfahren wird zusätzlich der Vertrauensbereich für die anlagenspezifischen Ausfallraten geschätzt. Generische Ausfallraten werden aus vergleichbaren

anlagenspezifischen Daten gebildet. Dabei wird mit Ausnahme von elektronischen Komponenten der Brandmeldeanlage zur Berücksichtigung anlagenspezifischer Unterschiede ein Superpopulationsansatz angewendet. Die Daten typengleicher elektronischer Komponenten der Brandmeldeanlage werden hingegen zusammengefasst.

Die so ermittelten anlagenspezifischen und generischen Ausfallraten werden mit ihren 5 %-, 50 %, 95 %- Fraktilwerten, dem Mittelwert  $\bar{x}$  und der Standardabweichung  $\sigma$  für jede Brandschutzeinrichtung bzw. Funktion oder Teilfunktion in Tabellen ausgewiesen.

Aus den ermittelten Ausfallraten können mit Hilfe der vorliegenden Prüfintervalle Ausfallhäufigkeiten bei Anforderung bestimmt werden. Die ermittelten Kenngrößen beziehen sich auf die technische Verfügbarkeit der betrachteten Funktionen oder Teilfunktionen, die im Einzelnen beschrieben werden. Bei der Verwendung der berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten sind systemspezifische Zusatzüberlegungen anzustellen. Diese resultieren z. B. daraus, dass die hergeleiteten Ausfallraten keine Auslegungsfehler abdecken und ausschließlich auf WKP-Befunden basieren. Zu den Anwendungsgrenzen der ermittelten Ausfallraten für die jeweils beschriebenen Systemfunktionen werden detaillierte Hinweise gegeben.

## **Abstract**

Within the BMUB project 3610R01370 "Extension and update of reliability data for fire protection equipment in German light water reactors" plant-specific as well as generic failure rates for the technical reliability of active fire protection features in German nuclear power plants have been calculated. Based on results of previous projects, in this project observation times of components were updated and extended and additional components and functions were assessed. Now, the data evaluated results from a total of six German reference plants with seven reactor units.

Within this project the following fire protection features were analyzed and statistically evaluated:

- fire alarm systems, i.e., fire alarm panels, sub-panels, drawers for fire detection lines, fire detection lines, automatic fire detectors and manual push buttons,
- fixed fire suppression systems, fire water supply, fire hydrants and foam induc-tors,
- fire doors, hold-open systems for fire doors,
- fire dampers and smoke extraction dampers in ventilation ducts and
- smoke and heat removal systems.

The fire protection systems and components analyzed are grouped by design and type in order to create as much as possible uniform populations. If meaningful for the analy-sis, the component functions have been sub-divided, e.g. the remote control function on the one hand and the opening/barrier function on the other hand. This allows vari-ous, partially redundant functions to be considered in fault trees.

The failures have been determined based on the evaluation of in-service inspection (ISI) results in the reference plants. From the number of failures and from the cumulat-ed observation period of all components, an average failure rate of the considered function or sub-function has been determined by means of the approach of Bayes. Ad-ditionally, the confidence interval for the plant-specific failure rates is estimated by a two-stage statistical method. Generic failure rates are generated for similar plant-specific components. For this purpose a superpopulation approach is applied to all components with the exception of electronic components of the fire detection system.

The superpopulation approach accounts for the differences of the components from different plants which increases the uncertainties of the estimated failure rates. For the electronic components of the fire detection system data of the same type of component is binned and failure rates are generated with the same approach as the plant specific data.

The distributions of the plant-specific and generic failure rates are reported in tables with their corresponding 5%-, 50%-, 95%- fractiles, the mean values and standard deviations for each fire protection feature, function or sub-function.

From the failure rates, failure probabilities can be derived with the ISI intervals. The reliability data represent the technical availability of the analyzed functions or sub-functions, which are described in detail. When using the calculated probabilities additional system-specific considerations need to be taken. This results for example from the fact that the derived failure rates do not cover design errors and are based solely on ISI findings. The limits of application of the evaluation method are discussed in detail for each system function.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen.....</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlegendes .....	5
2.2	Verwendete Begriffe .....	9
2.3	Vorüberlegungen zur Verwendung von Ausfallraten für Brandschutzeinrichtungen .....	10
2.4	Datenerfassung und statistische Auswertung .....	12
2.5	Prüfpraxis bei wiederkehrenden Prüfungen in den Referenzanlagen.....	16
2.6	Vorgehensweise und Bewertungsgrundlagen bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen .....	18
<b>3</b>	<b>Ermittlung anlagenspezifischer und generischer Kenngrößen für die technische Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzeinrichtungen ...</b>	<b>21</b>
3.1	Ermittlung der Zuverlässigkeit von Brandmeldeanlagen.....	22
3.1.1	Brandmeldezentralen (BMZ), Unterzentralen (BMUZ) und Einschübe mit Linien .....	24
3.1.2	Brandmeldelinien .....	31
3.1.3	Automatische Brandmelder.....	34
3.1.4	Handfeuermelder .....	44
3.1.5	Abschließende Betrachtung zu Komponenten der Brandmeldeanlagen...	46
3.2	Lüftungstechnische Einrichtungen .....	47
3.2.1	Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen.....	47
3.2.2	Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen .....	62
3.2.3	Entrauchungsanlagen der Maschinenhäuser (SWR) .....	65
3.2.4	Natürliche Rauchabzugsgeräte in Treppenhäusern und Fluren .....	67
3.3	Brandschutztüren mit und ohne Feststellanlagen.....	69
3.4	Feuerlöscheinrichtungen.....	77
3.4.1	Feuerlöschwasserpumpen.....	77
3.4.2	Hydranten einschließlich Schaumzumischer.....	81
3.4.3	Fernschaltventilstationen .....	86

3.4.4	Gaslöschanlagen .....	94
3.5	Passive Bauteile (Kabelabschottungen, Brandschutzkanäle und Verkleidungen) .....	97
<b>4</b>	<b>Hinweise zur Anwendung der ausgewiesenen Ausfallraten.....</b>	<b>99</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>103</b>
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>107</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Zusammenhang zwischen Ausfallrate $\lambda$ [1/h] und Betriebsdauer einer Komponente mit idealisiertem Intervall der konstanten Ausfallrate („Badewannenkurve“)	6
Abb. 2-2:	Geschätzte Verteilung von zwei Ausfallraten unter Annahme des Vorliegens einer Gamma-Verteilung im Vergleich zu einer mit dem GRS-Algorithmus verbreiterten Gamma-Verteilung	15
Abb. 2-3:	Durch Superpopulation geschätzte Verteilung als generisches Ergebnis von zwei anlagenspezifischen Ausfallraten	16
Abb. 3-1:	Beispielhafter Fehlerbaum für Funktionsausfälle der Brandmeldeanlage	23
Abb. 3-2:	Grafische Darstellung der Ausfallraten der Komponenten von Brandmeldeanlagen der II. (oben) und III. (unten) Generation	46
Abb. 3-3:	Fehlerbaum einer Brandschutzklappe	48
Abb. 3-4:	Grafische Darstellung der generischen bzw. für Variante 2 spezifischen Ausfallraten der verschiedenen Fernauslösungen	57
Abb. 3-5:	Generischer Fehlerbaum für den Ausfall von Brandschutztüren	70
Abb. 3-6:	Generische (Variante 1) bzw. anlagenspezifische Ausfallraten der fünf verschiedenen Ausführungen von Fernschaltventilen	94

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Erfasste Anlagen, Typen, Auswerteziträume und Dokumentationen der früheren Ergebnisse .....	2
Tabelle 3-1: Ergebnisse für Brandmeldehauptzentralen .....	27
Tabelle 3-2: Ergebnisse für Brandmeldeunterzentralen .....	28
Tabelle 3-3: Ergebnisse für Einschübe mit Brandmeldelinien .....	30
Tabelle 3-4: Ergebnisse für Brandmeldelinien.....	33
Tabelle 3-5: Ergebnisse für Ionisationsrauchmelder .....	38
Tabelle 3-6: Ergebnisse für Optische Rauchmelder .....	39
Tabelle 3-7: Ergebnisse für Wärmedifferentialmelder .....	40
Tabelle 3-8: Ergebnisse für infrarot Flammenmelder .....	40
Tabelle 3-9: Ergebnisse für Mehrkriterienmelder .....	41
Tabelle 3-10: Ergebnisse für Rauchansaugsysteme (RAS-Systeme) .....	43
Tabelle 3-11: Ergebnisse für Handfeuermelder (Druckknopfmelder).....	45
Tabelle 3-12: Ergebnisse für die Schließ- und Barrierefunktion der Brandschutzklappen (BSK) .....	53
Tabelle 3-13: Ergebnisse für die Fernauslösungsfunktion der Brandschutzklappen.....	58
Tabelle 3-14: Ergebnisse für die Schmelzlotauslösung der Bandschutzklappen.....	61
Tabelle 3-15: Ergebnisse für die Auslösung und Öffnungsfunktion von Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen .....	64
Tabelle 3-16: Ergebnisse für Entrauchungsanlagen der Maschinenhäuser (SWR).....	66
Tabelle 3-17: Ergebnisse für Rauchabzugsgeräte in Decken oder Wänden .....	68
Tabelle 3-18: Ergebnisse für die Teilfunktionen von Brandschutztüren der Referenzanlagen 4 und 6 .....	74

Tabelle 3-19: Ergebnisse für die Auslösung von Türfeststellanlagen .....	75
Tabelle 3-20: Ergebnisse für die Fernauslösefunktion der Feuerlöschpumpen .....	79
Tabelle 3-21: Ergebnisse für die Funktion der Feuerlöschpumpen (Totalausfall) .....	80
Tabelle 3-22: Ergebnisse für die Funktion von Außenhydranten .....	83
Tabelle 3-23: Ergebnisse für die Funktion von Wandhydranten .....	84
Tabelle 3-24: Ergebnisse für die Zumischerfunktion von Schaumhydranten .....	85
Tabelle 3-25: Ergebnisse für die Fernauslösung von Fernschaltventilstationen von Sprühwasserlöschanlagen der Ausführung 1 .....	90
Tabelle 3-26: Ergebnisse für die Fernauslösung von Fernschaltventilstationen von Sprühwasserlöschanlagen der Ausführungen 2 bis 5 .....	93
Tabelle 3-27: Ergebnisse für die Fernauslösung von Gas-Löschanlagen.....	96

## **1 Einleitung**

Neben seiner konventionellen Bedeutung für den Schutz des Betriebspersonals und von Sachwerten hat der Brandschutz in Kernkraftwerken eine erhebliche sicherheitstechnische Bedeutung. Diese besteht darin, dass bei der Ausbreitung eines Brandes größere Bereiche der Anlage redundanz- und systemübergreifend betroffen sein oder mehrfach vorhandene Barrieren zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe gleichzeitig beeinträchtigt werden können. Dadurch kann ggf. das in der Tiefe gestaffelte Sicherheitskonzept eines Kernkraftwerkes gefährdet sein.

Aufgrund der erheblichen sicherheitstechnischen Bedeutung des Brandschutzes sind bereits seit Beginn der achtziger Jahre die brandschutztechnischen Gegebenheiten anhand von Referenzkernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten untersucht und bewertet worden. Mit der Einführung der kerntechnischen Regel zum Brandschutz in Kernkraftwerken KTA 2101 /KTA 00/ wurden erstmals auch einheitliche Mindestprüfintervalle und -umfänge für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken festgeschrieben.

Da zunächst für die Bewertung der Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzeinrichtungen kernkraftwerksspezifische Daten für deutsche Anlagen nur in sehr begrenztem Umfang vorlagen, wurden von der GRS in verschiedenen BMU-Vorhaben entsprechende technische Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen ermittelt. Die so erhaltene Datenbasis stellt die Grundlage für Zuverlässigkeitskenngrößen des Fachbandes zu PSA-Daten /FAK 05a/ des PSA-Leitfadens dar und wird deutschlandweit im Rahmen der Erstellung von Brand-PSA verwendet.

Zielsetzung der im nachfolgenden Bericht dokumentierten, im Rahmen des BMU-Vorhabens 3610R01370 "Ergänzung und Aktualisierung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Leichtwasserreaktoren" durchgeführten Arbeiten war es demzufolge, die bestehende Datenbasis zu aktualisieren und an den Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Der Bericht befasst sich mit der Ermittlung von anlagenspezifischen und generischen Kenngrößen für die technische Zuverlässigkeit von aktiven Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken. Die Ergebnisse stellen dabei eine Ergänzung und Erweiterung der in früheren Vorha-

ben ermittelten Kenngrößen /ROE 97/, /ROE 01/ und /LIN 05/ dar, so dass mittlerweile Zuverlässigkeitskenngrößen für insgesamt sechs deutsche Referenzanlagen mit sieben Kraftwerksblöcken vorliegen. Mit dieser Ergänzung werden für alle betroffenen Anlagen, außer einer bereits stillgelegten Referenzanlage, Auswerteziträume bis mindestens Ende 2010 erfasst.

Wesentliche inhaltliche Erweiterungen betreffen vor allem eine genauere Beschreibung und Differenzierung der untersuchten Komponententypen zur Schaffung einheitlicherer Grundgesamtheiten und die Zerlegung von Komponentenfunktionen in Teilfunktionen, z. B. für die Ansteuerung und Schließ-/Öffnungsfunktion. Dadurch können verschiedenartige, teilweise redundante Auslösungen in Fehlerbäumen berücksichtigt werden. Eine Übersicht der in diesem Vorhaben ausgewerteten Anlagen, der zugehörigen Auswerteziträume und der Dokumentation der früheren Ergebnisse zeigt Tabelle 1-1. Da die Referenzanlage 2 sich mittlerweile in Stilllegung befindet, wurde die Datenerhebung nicht fortgeführt.

**Tabelle 1-1:** Erfasste Anlagen, Typen, Auswerteziträume und Dokumentationen der früheren Ergebnisse

Anlage	Bautyp	Zeitraum	Vorgängerzeitraum	Referenz
1	DWR, Konvoi	1998 - 2012 (15 a)	1994 - 1997 (4 a)	/ROE 01/
2	DWR, Baulinie 1	-	1993 - 1998 (6 a)	/ROE 01/
3	SWR, Baulinie 72	2000 - 2012 (13 a)	1988 - 1994 (7 a)	/ROE 97/
4	DWR, Vor-Konvoi	1995 - 2010 (16 a)	1988 - 1994 (7 a)	/ROE 97/
5	SWR, Baulinie 69	2002 - 2011 (10 a)	1993 - 2001 (9 a)	/LIN 05/
6	SWR, Baulinie 69	2001 - 2010 (10 a)	nicht erfasst	-

Nachfolgend werden die aktuell in den Referenzanlagen 1, 3, 4, 5 und 6 durchgeführten Datenermittlungen und -auswertungen im Detail dargestellt und für diese Anlagen ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen für dort betrachtete aktive Brandschutzeinrichtungen ausgewiesen. Darüber hinaus wurden diese Kenngrößen mit den früher ermit-

telten Werten verknüpft, um daraus aktualisierte anlagenspezifische und generische Zuverlässigkeitskenngrößen zu gewinnen. Die ermittelten Kenngrößen beziehen sich ausschließlich auf die technische Verfügbarkeit der betrachteten Einrichtungen. Bewertungen zu deren Wirksamkeit unter den anlagenspezifischen Bedingungen sind darin nicht enthalten. Diese erfolgen im Zusammenhang mit der Bewertung von Brandwirkungen bei den Ereignisablaufanalysen.

Zuverlässigkeitskenngrößen für aktive Brandschutzeinrichtungen werden neben weiteren Daten zur probabilistischen Bewertung der Brandsicherheit von Kernkraftwerken benötigt, wie sie beispielsweise im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung vorgesehen ist. Probleme ergaben sich bei den probabilistischen Analysen für deutsche Anlagen dadurch, dass kernkraftwerksspezifische Daten bisher nur in begrenztem Umfang vorlagen, vorhandene Daten aus ausländischen Anlagen nur bedingt übertragbar sind und die bis Mitte der 1990er Jahre verwendeten Daten aus dem konventionellen Industrie- und Wohnungsbau nur in sehr begrenztem Umfang und mit erheblichen Unsicherheiten auf die speziellen Gegebenheiten in Kernkraftwerken übertragbar sind. Die in dieser Studie fortgeführte Ermittlung dieser Zuverlässigkeitskenngrößen diente deshalb primär dem Ziel, die vorhandene Datenbasis weiter zu vervollständigen, zu aktualisieren und abzusichern. Die Verfügbarkeit gesicherter Zuverlässigkeitskenngrößen ist eine wesentliche Voraussetzung für belastbare probabilistische Sicherheitsanalysen.

Die Ermittlungen erfolgten anhand der Auswertung der Anlagendokumentation zu Ergebnissen aus wiederkehrenden Prüfungen (WKP) und - soweit zugänglich und auswertbar - auch aus der Betriebs- und Instandhaltungsdokumentation über mögliche Funktionsstörungen und –ausfälle während des Betriebs.

Die ausgewertete Dokumentation umfasste unter anderem:

- WKP-Dokumentation einschließlich Prüfanweisungen und Prüfprotokollen,
- Stör- und Mängelmeldungen (STM),
- Arbeitsaufträge,
- Wartungs- und Instandhaltungsdokumentation etc.

Zusätzlich erfolgten Fachgespräche mit dem Kraftwerkspersonal, beauftragten Fremdfirmen und beteiligten Gutachtern, um eine möglichst realistische und konsistente Beurteilung von dokumentierten Mängeln vornehmen zu können.

Im Rahmen des Vorhabens 36010R01370 wurde die technische Zuverlässigkeit für folgende Brandschutzeinrichtungen ermittelt und statistisch ausgewertet:

- Brandmeldeanlagen einschließlich ihrer Peripherie, d. h. Brandmeldezentralen, Unterzentralen, Einschübe mit Brandmeldelinien, Brandmeldelinien und automatische Brandmelder sowie Handfeuermelder,
- ortsfeste Löschanlagen, Löschwasserversorgung, Hydranten und Schaumzumischer,
- Brandschutztüren, Feststellanlagen für Brandschutztüren,
- Brandschutzklappen und Entrauchungsklappen in Lüftungskanälen sowie
- Rauch- und Wärmeabzugsgeräte.

Für einige dieser Einrichtungen wurde die Funktion in Teilfunktionen unterteilt, um große und möglichst homogene Grundgesamtheiten bilden zu können. Die Funktion der Einrichtung lässt sich nun aus den Teilfunktionen mit einem Fehlerbaum modellieren.

Die so anlagenspezifisch für die Referenzanlagen ermittelten Verteilungen der Ausfallraten werden mit ihren Erwartungswerten, relevanten Fraktilwerten und Standardabweichungen tabellarisch ausgewiesen.

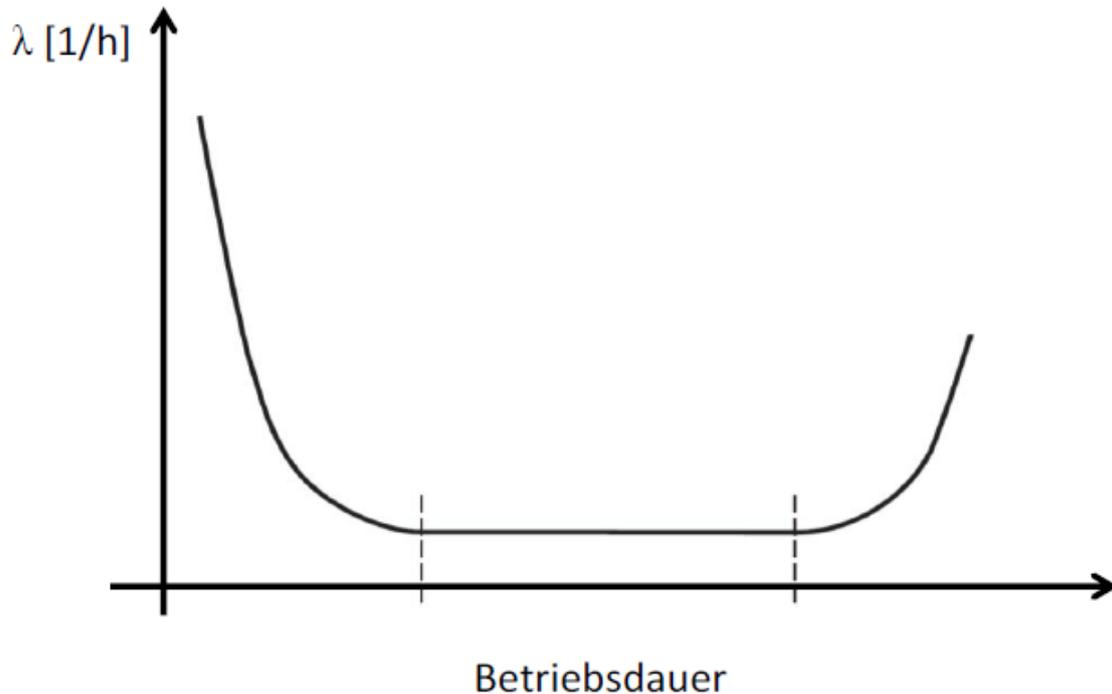
## **2 Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen**

### **2.1 Grundlegendes**

Bei probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) werden für quantitative Ereignis- und Fehlerbaumanalysen Daten benötigt. Dabei handelt es sich um sehr unterschiedliche Arten von Daten:

- Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse,
- Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten von Komponenten aufgrund unabhängiger Ausfälle,
- Nichtverfügbarkeiten von Systemen oder Teilsystemen infolge von Prüfung, Instandhaltung etc.,
- gegebenenfalls Reparaturdauer,
- zeitlicher Abstand und Abfolge der wiederkehrenden Prüfungen (WKP) bzw. zeitlicher Abstand betrieblicher Anforderungen,
- Ausfallwahrscheinlichkeiten von Komponenten aufgrund gemeinsam verursachter Ausfälle (GVA),
- Wahrscheinlichkeiten von Folgeausfällen sowie
- Ausfallwahrscheinlichkeiten für Personalhandlungen bzw. Wahrscheinlichkeiten für fehlerhafte Personalhandlungen.

Innerhalb dieses Vorhabens werden Ausfallraten von Brandschutzeinrichtungen bestimmt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Ausfallrate der betrachteten Brandschutzeinrichtungen über den jeweiligen Auswertzeitraum idealisiert zeitunabhängig ist. Dies bedeutet, dass für die Einrichtungen keine Frühausfälle und keine Alterserscheinungen angenommen werden, die zu einem Abfall bzw. einem Anstieg der Ausfallrate innerhalb des Betrachtungszeitraums führen würden (Abb. 2-1).



**Abb. 2-1:** Zusammenhang zwischen Ausfallrate  $\lambda [1/h]$  und Betriebsdauer einer Komponente mit idealisiertem Intervall der konstanten Ausfallrate („Bade-wannenkurve“)

Für realitätsnahe Bewertungen sind grundsätzlich soweit wie möglich anlagenspezifische Daten, d. h. Daten, die auf Basis der Betriebserfahrung der untersuchten Anlagen ermittelt wurden, zu verwenden. Liegt für einen Komponententyp eine ausreichende Anzahl anlagenspezifischer Beobachtungen vor, so kann eine anlagenspezifische Schätzung mit nicht-informativer a-priori Verteilung erfolgen. Dies erklärt sich wie folgt: Der Ansatz von Bayes (siehe auch /PES 95/) und die daraus abgeleitete Formel erfordern immer die Angabe einer Vorinformation. Sofern bei der Auswertung von rein anlagenspezifischer Betriebserfahrung keine Vorinformation vorliegt, wird die Vorinformation als eine nicht-informative a-priori Verteilung in die Berechnung eingebunden. Diese nicht-informative a-priori Verteilung kann unter Verwendung einer mathematischen Vorgehensweise aus der zugrunde liegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung (Likelihood-Funktion) hergeleitet werden /PES 95/.

Um Resultate mit einer hinreichenden Aussagesicherheit zu erhalten, ist eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen bzw. eine genügend lange Beobachtungszeit erforderlich. Für die statistische Auswertung der Betriebserfahrung sind kurze Beobachtungszeiten, eine geringe Anzahl an auszuwertenden Komponenten, damit verbunden

wenige Funktionsanforderungen und wenige beobachtete Ereignisse problematisch, da die Aussagekraft der Ergebnisse durch die mit dem geringen Datenmaterial verbundenen Schätzunsicherheiten (Streubreiten) gering ist. Bei Null-Fehler-Statistiken oder sehr wenigen Ausfällen können – sofern vorhanden - Informationen aus anderen Anlagen in die Berechnung eingebunden werden.

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

Bei der Ermittlung generischer Ausfallraten kommt zusätzlich zu der bei Schätzungen üblichen statistischen Unsicherheit als weitere Unsicherheit hinzu, dass Komponenten unter den Betriebs- und Umgebungsbedingungen verschiedener Anlagen betrachtet werden. Um diese zusätzlichen Unsicherheiten, die sich aus den Unterschieden zwischen den vergleichbaren Anlagen ergeben, berücksichtigen zu können, werden die Daten bzgl. der vergleichbaren Anlagen grundsätzlich nicht zusammengefasst („gepoolt“), da hierdurch statistisch eine Verringerung der Unsicherheiten auftritt. Damit würde eine Genauigkeit vorgetäuscht werden, die ohne genaue Analyse nicht gerechtfertigt ist. Eine Addition der Daten zu einem gemeinsamen Pool findet deshalb nur für die meisten Komponenten der Brandmeldeanlagen statt, da es sich hier um elektrische bzw. elektronische Komponenten aus Serienfertigung handelt, die teilweise spezifisch konfiguriert werden (siehe Abschnitt 3.1.3). In den anderen Fällen werden die Informationen aus vergleichbaren Anlagen als Vorinformationen mittels des sogenannten „Superpopulationsansatzes“ zusammengeführt.

Der „Superpopulationsansatz“ /PES 97/ beschreibt einen mathematischen Ansatz, der über ein zweistufiges Bayes'sches Verfahren anhand von Beobachtungen aus den zur spezifischen Anlage vergleichbaren Anlagen eine sogenannte unbedingte generische Verteilung erzeugt. Diese Verteilung beschreibt die Variabilität des beobachteten Parameters (z. B. Ausfallrate) über die Anlagenpopulation und wird als Ausdruck für den a-priori Kenntnisstand für die zu beurteilende spezifische Anlage verwendet. Diese

unbedingte generische Verteilung wird als a-priori Verteilung (Vorinformation) über das Bayes'sche Verfahren mit der anlagenspezifischen Beobachtung verbunden und man erhält eine a-posteriori Verteilung, die den aktuellen Kenntnisstand über die Ausfallrate der spezifischen Anlage beschreibt.

Werden Aussagen über die Ausfallrate einer Komponente der spezifischen Anlage benötigt und liegen keine Beobachtungen aus der spezifischen Anlage vor, so kann die unbedingte generische Verteilung, die aus den Daten vergleichbarer Anlagen ermittelt wurde, als Informationsquelle über den Kenntnisstand der anlagenspezifischen Ausfallrate verwendet werden. Falls die Ausfallraten der vergleichbaren Anlagen eine relativ hohe Variabilität aufweisen, drückt sich dieses insofern aus, dass die erhaltene unbedingte generische Verteilung relativ breit ist. Weisen umgekehrt die Ausfallraten der vergleichbaren Anlagen eine geringe Variabilität auf, so wird die unbedingte generische Verteilung relativ eng ausfallen, und zwar umso mehr, je mehr vergleichbare Anlagen in die Berechnung eingehen.

Der seitens der GRS verwendete Ansatz erlaubt auch die Ermittlung einer unbedingten generischen Verteilung anhand nur einer vergleichbaren Anlage. Weil nur eine Anlage in die Berechnung eingeht und die Unsicherheiten für die Verteilungsschätzung in diesem Fall sehr groß sind, ist eine unbedingte generische Verteilung zu erwarten, die entsprechend breit ausfällt. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass der GRS-Ansatz diesen Erwartungen entspricht /BEC 01/.

Für eine probabilistische Bewertung aktiver Brandschutzmaßnahmen werden grundsätzlich Nichtverfügbarkeiten der Einrichtungen pro Funktionsanforderung, d. h. im Brandfall, benötigt. Da in deutschen Kernkraftwerken praktisch keine Daten zu Nichtverfügbarkeiten von Brandschutzeinrichtungen aus Brandereignissen vorliegen, werden die benötigten Nichtverfügbarkeiten aus Ergebnissen von wiederkehrenden Prüfungen (WKP) an aktiven Brandschutzeinrichtungen abgeleitet. Dazu wurden in den betrachteten Referenzanlagen Ausfallraten der entsprechenden Brandschutzeinrichtungen sowie der zeitliche Abstand (Prüfintervall) von wiederkehrenden Prüfungen ermittelt. Von der in vorangegangenen Vorhaben ebenfalls explizit ermittelten Ausfallhäufigkeit pro Anforderung wurde in diesem Vorhaben abgesehen, da nach Auffassung der GRS und der internationalen Praxis /ATW 03/ /SCH 97/ entsprechend das Ausfallverhalten der Brandschutzkomponenten mit der Zeit korreliert und nicht mit der Anzahl an Anforderungen.

## **2.2            Verwendete Begriffe**

Die für die Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Einrichtungen benötigten Daten werden im Allgemeinen als Zuverlässigkeitskenngrößen bezeichnet. Bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen werden folgende Begriffe verwendet:

### **Anlagenbezogene Begriffe:**

Dabei handelt es sich generell um die Betrachtungseinheiten, wie Betriebsmittel, Komponente, Funktionseinheit, Teilsystem und System. Bei den aktiven Brandschutzeinrichtungen handelt es sich zumeist um Komponenten, wie Brandmelder oder Feuerlöschpumpen, oder aber um Teilsysteme (bzw. Funktionseinheiten) für eine bestimmte Brandschutzfunktion, wie beispielsweise die Ventilstationen von Sprühwasserlöschanlagen.

### **Ereignisbezogene Begriffe:**

Generell werden bei der Beurteilung von Ereignissen Begriffe wie Störung oder Befund, Mangel, Ausfall, Langzeitausfall, Ausfallart und -wirkung, Funktion, Instandhaltung, Betrieb, Bereitschaft (Stand-by) und Nichtverfügbarkeit verwendet.

### **Bezugszeiten und Anforderungen:**

Bei der Ermittlung von Ausfallraten können folgende Bezugszeiten zugrunde gelegt werden:

- Kalenderzeit,
- Komponentenbetriebszeit, während der eine Betrachtungseinheit in Betrieb ist,
- Bereitschaftszeit, während der eine Betrachtungseinheit betriebsbereit ist aber nicht betrieben wird,
- Anlagenbetriebszeit,
- Nichtverfügbarkeitszeit, d. h. Zeitspanne vom Eintritt eines Ausfalls etc. bis zur Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft (diese Zeit ist in der Regel nicht genau bekannt, sie muss deshalb auf Basis der Prüfindervalle und des Erkennungszeitpunktes des Ausfalls abgeschätzt werden),
- Reparaturzeit und
- Verfügbarkeitszeit, d. h. Summe aus Betriebs- und Bereitschaftszeit.

Folgende statistische Begriffe sind bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen von Bedeutung:

- Beobachtet man die Lebensdauer einer Reihe gleichartiger Komponenten oder wie im untersuchten Fall gleichartiger Brandschutzeinrichtungen, so gibt die **Ausfallrate  $\lambda(t)$**  die relative Zunahme des Bestandes an ausgefallenen Einrichtungen zum Zeitpunkt  $t$  an. Es wird angenommen und durch die Betriebserfahrung generell auch bestätigt, dass für Brandschutzeinrichtungen die Ausfallrate innerhalb des Betrachtungszeitraumes in großem Maße zeitunabhängig ist.
- Unter der **Nichtverfügbarkeit pro Anforderung  $p_f$**  (Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung) versteht man die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Anforderung der jeweiligen Brandschutzeinrichtung die beabsichtigte Brandschutzfunktion nicht erfüllt wird und somit ein Ausfall vorliegt. Die Einrichtung ist dann entweder schon vor dem Zeitpunkt der Anforderung defekt oder versagt im Moment der Anforderung. Die Nichtverfügbarkeit pro Anforderung errechnet sich entsprechend aus dem Verhältnis der Anzahl der stattgefundenen Ausfälle und der Anzahl der stattgefundenen Anforderungen. Wie nachstehend ausgeführt wird, wurde in diesem Projekt von der expliziten Ermittlung der Nichtverfügbarkeit pro Anforderung abgesehen.
- Die Nichtverfügbarkeit  $p_f(t)$  wird stattdessen aus der als konstant angenommenen Ausfallrate  $\lambda$  und dem Zeitraum nach der letzten Prüfung der Komponenten berechnet.

### 2.3 Vorüberlegungen zur Verwendung von Ausfallraten für Brandschutzeinrichtungen

Für alle Komponenten, die anforderungsunabhängigen Verschleißeffekten unterliegen, sollten prinzipiell Ausfallraten verwendet werden. Beispiele hierfür sind elektronische Bauteile oder Verschmutzungseffekte. Wenn die für das Versagen maßgeblichen Belastungen bzw. Abnutzungseffekte bei der Anforderung selbst auftreten, ist die Nichtverfügbarkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung zu verwenden. Beispiele hierfür sind Bremsbeläge oder Kontakte von Leistungsschaltern.

Folgende Überlegungen führten dazu, bei den nachfolgend untersuchten Brandschutzkomponenten die Ausfallraten auszuweisen:

– **Brandmeldetechnik**

Komponenten der Brandmeldetechnik (Brandmeldezentralen, Unterzentralen, Einschübe, Brandmeldelinien, automatische Brandmelder und Handfeuermelder, Türfeststellanlagen) sind elektronische bzw. elektrische Bauteile, die zudem in der Regel ständig in Betrieb sind. Ausfälle korrelieren mit der Betriebsdauer, bzw. bei Brandmeldern evtl. mit dem Verschmutzungsgrad, so dass die Modellierung über die Ausfallrate  $\lambda$  erfolgt.

– **Brandschutzklappen**

Ausfälle an Brandschutzklappen treten im Wesentlichen durch Verschmutzungen innerhalb der Lüftungskanäle oder durch die elektrische Fernauslösung auf und korrelieren mit der Betriebsdauer. Durch Betätigungen werden Verschmutzungen an den Brandschutzklappen gelöst. Somit führt die Anforderung nicht zu einem Verschleiß, sondern zu einem gegenläufigen Effekt. Die Modellierung sollte deshalb über die Ausfallrate  $\lambda$  erfolgen.

– **Wandhydranten, Überflurhydranten, Fernschaltventile**

Ausfälle an diesen Komponenten treten im Wesentlichen durch Verschmutzungs- oder Korrosionseffekte innerhalb der Wasserlöschleitungen auf und korrelieren mit der Betriebsdauer. Durch Betätigungen werden Verschmutzungen etc. wie bei den Brandschutzklappen gelöst. Die Modellierung sollte deshalb über die Ausfallrate  $\lambda$  erfolgen.

– **Schaumzumischer**

Für die neu in die Auswertung einbezogenen Schaumzumischer war die häufigste dokumentierte Ausfallart ein Verkleben im Bereich der Ventile. Hier liegt eine Zeitabhängigkeit nahe, zumal das Schaummittel altert. Die Modellierung sollte deshalb über die Ausfallrate  $\lambda$  erfolgen.

– **Feuerlöschpumpen**

Ausfälle an Feuerlöschpumpen treten im Wesentlichen durch Einschaltversagen oder Nichterreichung der Förderleistung auf. Da die Zeitdauer des Betriebs und der Ausfallzeitpunkt nicht dokumentiert sind, ist die Bestimmung einer Aus-

fallrate bezogen auf die Betriebszeit nicht möglich, sondern wird auf die Kalenderzeit bezogen. Ferner schalten insbesondere die Frischwasserwasserpumpen des Feuerlöschsystems automatisch zu, wenn daran angeschlossene betriebliche Verbraucher (Feuerlöschübungen, Reinigungsarbeiten außerhalb der Anlage, WKP etc.) Wasser benötigen. Die Anzahl der Zuschaltvorgänge ist nicht dokumentiert. Die Modellierung erfolgt deshalb über die Ausfallrate  $\lambda$ .

– **Brandschutztüren**

Die Ursachen für Ausfälle der Teilfunktionen von Brandschutztüren (Selbstschließen, Schließfolge, Barrierefunktion) sind durchaus verschleißbedingt wie das Verziehen von Türbändern oder Nachlassen von Türschließern. Die Modellierung über die Ausfallhäufigkeit pro Anforderung wäre deshalb sinnvoll. Allerdings wird die Anzahl der Begehungen (= Anforderungen) von Türen nicht dokumentiert, so dass nur die Kalenderzeit herangezogen werden kann. Deshalb ist nur eine Modellierung über die Ausfallrate  $\lambda$  möglich.

– **Rauchabzugsgeräte**

Ausfälle im Bereich der Rauchabzüge betreffen häufig die mechanischen Komponenten, bei denen Abnutzungseffekte zu erwarten sind. Allerdings werden die Geräte im Gegensatz zu Brandschutztüren vor allem innerhalb der WKP bewegt. Insofern rechtfertigt sich bei gleichbleibendem Prüfzyklus die Modellierung über die Ausfallrate  $\lambda$ .

## **2.4 Datenerfassung und statistische Auswertung**

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

Betrachtet werden für die Zuverlässigkeitsuntersuchungen von Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken alle dort installierten Brandschutzeinrichtungen mit aktiver Funktion. Diese werden international als "aktive Brandschutzmaßnahmen" /IAE 04/ bezeichnet, nach KTA 2101.1 /KTA 00/ fallen sie hingegen teilweise unter "anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen", teils aber auch unter "bautechnische Maß-

nahmen“, wie Brandschutztüren und -klappen, die aber aktive Funktionen, wie das Öffnen und Schließen, haben und deshalb für die Untersuchungen von Bedeutung sind. Als Datenbasis stehen dabei grundsätzlich die folgenden, in den Anlagendokumentationen enthaltenen Angaben zur Verfügung:

- Prüfanweisungen und Prüfprotokolle für wiederkehrende Prüfungen (WKP),
- Mängelberichte,
- Arbeits- bzw. Instandhaltungsaufträge sowie
- Reparaturberichte der Anlagen, sofern erforderlich.

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

Aus den so ermittelten Rohdaten wurden mit Hilfe eines für PSA-Zwecke entwickelten statistischen Auswerteprogrammes /PES 95/ Erwartungswerte und Verteilungen für die Ausfallraten unter Verwendung des Verfahrens von Bayes ermittelt. Der Erwartungswert  $E(\lambda)$  der Ausfallrate wird bei  $k$  Ausfällen innerhalb des Betrachtungszeitraumes  $T$  berechnet nach

$$E(\lambda) = \frac{k + 0,5}{T}.$$

Da statistische Schätzwerte von Zuverlässigkeitskenngrößen aufgrund verschiedener Faktoren, wie z. B. in der Praxis nur annähernd zutreffende Modellannahmen, beschränkter Beobachtungsumfang oder nicht völlig identische Randbedingungen für die zu betrachtenden gleichartigen Komponenten, mit Unsicherheiten behaftet sind, erhält man mit der Auswertung nach Bayes subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die einen Teil dieser Unsicherheiten quantifizieren.

Bei den vorangegangenen Datenauswertungen und den daraus resultierenden Veröffentlichungen (z. B. /FAK 05/) wurden die Unsicherheiten der Ausfallraten durch logarithmische Normalverteilungen berücksichtigt. Die Verteilungsfunktion wurde im Allgemeinen durch den Erwartungswert  $\mu$  und den Streufaktor  $K$  charakterisiert, welcher durch  $K = \lambda_{95} / \lambda_{50} = \lambda_{50} / \lambda_{05}$  bestimmt wird. Die Indizes wiesen dabei auf die entspre-

chenden charakteristischen Verteilungsfraktile, d. h. Vertrauensintervalle (5 %-Fraktile, 95 %-Fraktile und Median) hin.

Abweichend davon wird seitens der GRS mittlerweile ein Algorithmus /STI 08/, /PES 10/ zur Verbreiterung der Verteilungsfunktion angewandt, um zusätzliche epistemische Unsicherheiten zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist eine nicht-parametrische Verteilung mit den relevanten Fraktile, dem Mittelwert und der Standardabweichung. In diesem Bericht wird die Ausfallrate deshalb als 5 %-, 50 %- und 95 %-Fraktile, als Mittelwert sowie mit der zugehörigen Standardabweichung angegeben.

### **Anwendungsbeispiel**

Die Auswirkungen der Methoden der Verbreiterung für die anlagenspezifischen Ausfallraten und des Superpopulationsansatzes für die generischen Ausfallraten werden im Folgenden verdeutlicht. Als Beispiel dienen zwei Datensätze, die zum Ausfallverhalten der Schmelzlotauslösung von Brandschutzklappen der Variante 0 (d. h. Brandschutzklappe nur mit Schmelzlot ausgestattet, vgl. Abschnitt 3.2.1.3) vorliegen. Als Eingangsdaten liegen vor:

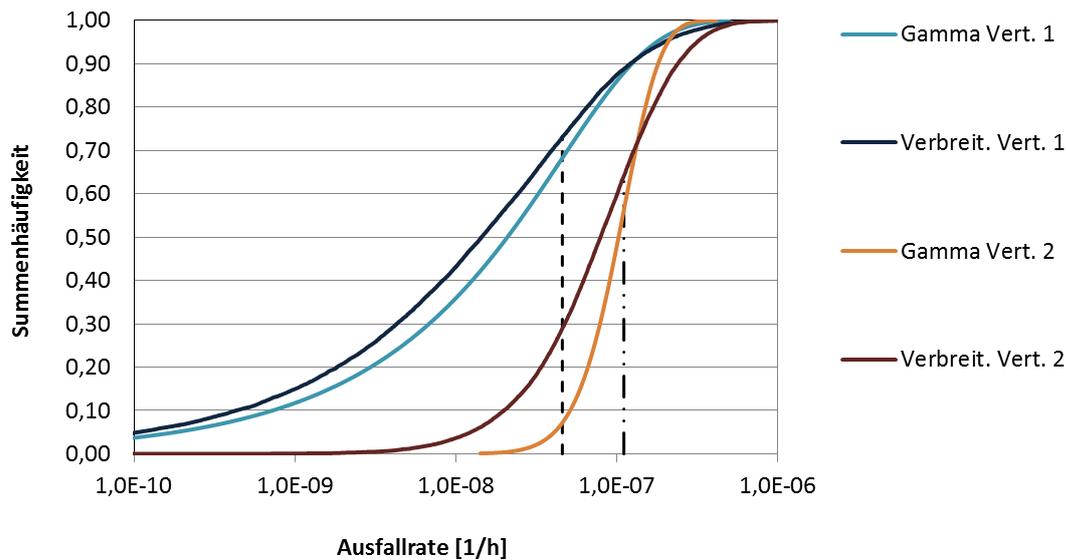
- Referenzanlage 1: 10.914.168 h Betriebsdauer, 0 Ausfälle
- Referenzanlage 5: 40.756.320 h Betriebsdauer, 4 Ausfälle

Die Mittelwerte der Ausfallraten unter Verwendung des Verfahrens von Bayes mit nicht-informativer a-priori Verteilung betragen

- Referenzanlage 1:  $\lambda_{1,\text{mittel}} = (0 + 0,5) / 10.914.168 \text{ h} = 4,58 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$  bzw.
- Referenzanlage 5:  $\lambda_{2,\text{mittel}} = (4 + 0,5) / 40.756.320 \text{ h} = 1,10 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$ .

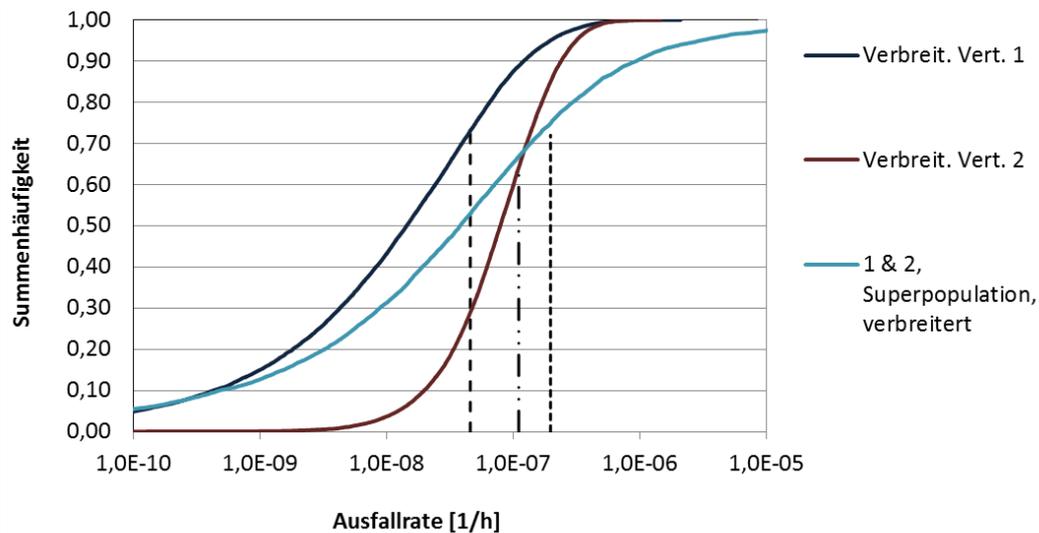
Die a-posteriori Verteilung des Verfahrens mit nicht-informativer a-priori Verteilung ist eine Gamma-Verteilung mit den beiden Parametern Anzahl der Ausfälle + 0,5 sowie der Betriebsdauer (vgl. Abb. 2-2). Die Kenntnisunsicherheit der tatsächlichen Ausfallraten wird in diesem Vorhaben über eine verbreiterte Verteilung ausgedrückt, die aus der jeweiligen Gamma-Verteilung mittels eines numerischen Verfahrens resultiert. Die Verbreiterung trägt zusätzlich existierenden Unsicherheitsquellen Rechnung, die nicht explizit im Schätzmodell berücksichtigt werden. In der Abb. 2-2 werden für beide Ausfallraten die Unsicherheiten mittels der Gamma-Verteilung und der verbreiterten Gamma-Verteilung ausgedrückt. Die Mittelwerte, jeweils aufgetragen im Diagramm als gestrich-

chelte Linie, ändern sich durch die Verbreiterung nicht (Änderungen im Nachkommastellenbereich können durch das numerische Verfahren auftreten). Mit der Verbreiterung wird das 5 % Fraktile der Ausfallrate gegenüber der Gamma-Verteilung deutlich verkleinert (im Beispiel bei Verteilung 1 um den Faktor 0,59, bei Verteilung 2 um den Faktor 0,30) und das 95 % Fraktile erhöht (im Beispiel bei Verteilung 1 um den Faktor 1,12, bei Verteilung 2 um den Faktor 1,51).



**Abb. 2-2:** Geschätzte Verteilung von zwei Ausfallraten unter Annahme des Vorliegens einer Gamma-Verteilung im Vergleich zu einer mit dem GRS-Algorithmus verbreiterten Gamma-Verteilung

Die Verteilung der generischen Ausfallrate, die aus beiden Datensätzen mittels Superpopulationsansatz ermittelt wird, weist gegenüber den beiden anlagenspezifischen Verteilungen größere Unsicherheiten auf, die sich durch die Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Anlagen ergeben (vgl. Abb. 2-3). Beim Superpopulationsverfahren erhöht sich ebenfalls die mittlere Ausfallrate der resultierenden Verteilung (rechte gestrichelte Linie).



**Abb. 2-3:** Durch Superpopulation geschätzte Verteilung als generisches Ergebnis von zwei anlagenspezifischen Ausfallraten

## 2.5 Prüfpraxis bei wiederkehrenden Prüfungen in den Referenzanlagen

Grundsätzlich werden Anforderungen zu Prüfintervallen und teilweise ebenfalls zum Prüfumfang in der KTA 2101.1 /KTA 00/ sowie komponentenbezogen in relevanten bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen oder Normen gestellt, so dass hier zwischen den Referenzanlagen einheitliche Anforderungen bestehen. Allerdings treten Unterschiede in den Prüfintervallen auf, da häufig die vorgenannten Anforderungen Mindestanforderungen darstellen und z. B. befundbedingt kürzere Intervalle eingeführt wurden. In Einzelfällen überschreiten die Intervalle von WKP auch die allgemeinen Regelwerksanforderungen.

Bzgl. der Beteiligung von Sachverständigen an den WKP bestehen ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Referenzanlagen. Grundsätzlich variiert die Teilnahme zwischen

- der 100 %-Teilnahme,
- der Teilnahme nur bei jeder zweiten oder n-ten Prüfung,
- der stichprobenartigen Teilnahme und
- nur der Einsichtnahme in die Prüfprotokolle.

Die Prüforganisation ist ebenfalls unterschiedlich geregelt. Dies betrifft beispielsweise die Zuordnung der Komponenten zu verschiedenen Fachabteilungen oder zur Abteilung Werkfeuerwehr, die Aufteilung des Komponentenumfangs redundanzbezogen oder nach Revisionsabhängigkeit, sowie die Aufteilung der Prüfumfänge auf verschiedene Teil-Prüfungen.

Soweit hierdurch ein Einfluss auf die Zuverlässigkeitskenngrößen festgestellt werden konnte, wird darauf bei der Bewertung der Zuverlässigkeitsdaten für die verschiedenen Komponenten eingegangen.

Es hat sich gezeigt, dass der Dokumentationsumfang von relevanten Befunden im Rahmen von WKP nicht für alle Komponentenarten gleich ist, wobei die Quantität und Qualität tendenziell für neuere Jahrgänge zugenommen hat. Während der Ausfall z. B. einer Löschwasserpumpe oder das Nichtöffnen eines Fernschaltventils relativ eindeutig in den Prüfprotokollen und Prüfnachweisen von WKP dokumentiert ist, werden Befunde an Brandschutztüren häufig nur summarisch in Form einer Aussage wie „*Mängel an Türen wurden im Laufe der WKP beseitigt*“ dokumentiert. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der Erstellung von Prüfprotokollen und -nachweisen die spätere statistische Auswertung ja nicht im Vordergrund steht.

Seit einiger Zeit sind die Betreiber dazu übergegangen, die WKP-Befunde mittels anderer Systeme, wie den Stör- und Mängelmeldungen (STM), weiterverfolgen. Hierbei treten ebenfalls Unterschiede in Abhängigkeit der Bedeutung der betroffenen Brandschutzkomponenten und der Schwere der Befunde auf. So wurden einige Befunde, die sich im Laufe der WKP beheben ließen, nicht weiter als STM dokumentiert und verfolgt.

Es liegen ebenfalls Anzeichen dafür vor, dass der Dokumentationsumfang insbesondere von leichten Mängeln bei Prüfungen mit Gutachterbeteiligung höher ist als bei Prüfungen ohne Gutachterbeteiligung. Wie ausführlich und in welcher Form die aus den Prüfungen resultierenden Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen dokumentiert werden, hängt oftmals auch davon ab, ob und inwieweit externes Fachpersonal mit den Maßnahmen beauftragt wird und inwiefern ein detaillierter Arbeitsauftrag dazu erforderlich ist.

## **2.6 Vorgehensweise und Bewertungsgrundlagen bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen**

Als Bewertungsgrundlage für die vorliegende Untersuchung wurden

- Betreiberunterlagen zu WKP und deren Ergebnissen,
- Stör- und Mängelmeldungen (STM) des betreiberinternen Störungsmeldesystems,
- weitere Mängelberichte und Instandhaltungsaufträge (I-Aufträge),
- Reparaturberichte sowie
- Systembeschreibungen, Systemschaltpläne und Brandschutzpläne der betrachteten Referenzanlagen

ausgewertet.

Dabei erfolgte die Erfassung der Rohdaten im Rahmen von mehreren Anlagenbesuchen in den Referenzanlagen und anschließenden Diskussionen mit den Systemzuständigen bzw. den für den Brandschutz sowie für probabilistische Analysen zuständigen Fachpersonal.

Die brandschutztechnische Bewertung und Interpretation der erfassten Befunde wurde von der GRS in Konsistenz zu den Vorgängervorhaben ingenieurmäßig vorgenommen. Die detaillierten technischen Kriterien für die Bewertung der Befunde als "Ausfall" oder nur "Mangel" ohne Relevanz werden in den nachfolgenden Kapiteln im Einzelnen beschrieben.

Die Ermittlung der Ausfälle erfolgt grundsätzlich auf Grund der Auswertung von Befunden aus WKP bzw. der aus den WKP resultierenden Stör- und Mängelmeldungen (STM). Dadurch werden Ausfälle, die zwischen zwei WKP erkannt und behoben werden, nicht mit erfasst. Der hierdurch entstehende systematische Fehler ist von den unterschiedlichen Komponenten abhängig:

Bei Komponenten, die nur im Rahmen der WKP ausgelöst werden, sonst passiv und nicht selbstmeldend sind, ist die Erfassung der WKP vollständig abdeckend. Beispiele hierfür sind Brandschutzklappen, Rauchabzugsgeräte und Fernschaltventile von Löschanlagen, im hohen Maße Tür-Feststellanlagen. Für diese Art von Komponenten tritt aus der WKP-bezogenen Auswertung kein systematischer Fehler auf.

Bei Komponenten, die für einen gewissen Teil ihrer Ausfallmöglichkeiten selbstüberwachend und selbstmeldend sind, kann davon ausgegangen werden, dass ein selbstmeldender Ausfall innerhalb einer relativ kurzen Ausfalldauer wieder behoben wird und somit nicht durch eine WKP erfasst wird. Allerdings ist bei selbstmeldenden Ausfällen die Ausfalldauer sehr kurz im Vergleich zur Zeitspanne zwischen zwei WKP. Die Einschränkung der Zeitverfügbarkeit ist deshalb jeweils sehr gering. Beispiele hierfür sind die selbstmeldenden Ausfälle an Brandmeldeanlagen einschließlich deren Peripherie, wie der Brandmelder. Diese werden auf Grund der Wartungsverträge der Betreiber sowie der Ersatzteilbevorratung vor Ort im Allgemeinen sehr kurzfristig behoben, was sich auch anhand der GRS vorliegenden Vorkommismeldungen im Bereich der Brandmeldeanlagen bestätigen lässt. Für diese Art von Komponenten tritt aus der WKP-bezogenen Auswertung nur ein geringer systematischer Fehler auf.

Ein relativ großer Fehler bei der Auswertung kann potentiell bei solchen Komponenten auftreten, die regelmäßig zwischen zwei WKP angefordert werden. Dies betrifft die Feuerlöschpumpen und Brandschutztüren. Feuerlöschpumpen werden durch andere Verbraucher im Feuerlöschsystem oder bei der Durchführung von Übungen der Feuerwehr zugeschaltet, wodurch Ausfälle zwischen zwei WKP auftreten und erkannt werden können. Die Systemzuständigen der Referenzanlagen wurden zu derartigen Ereignissen immer befragt. Da die Anzahl der Feuerlöschpumpen gering ist und ein Ausfall selten auftritt, wird davon ausgegangen, dass die Systemzuständigen hierzu eine zutreffende Aussage abgeben konnten. Bei einer Vielzahl von Brandschutztüren kommt es vor, dass Türen zwischen zwei WKP z. B. ihre Selbstschließfunktion verlieren und dieser Ausfall durch Kraftwerkspersonal während des Betriebs erkannt und behoben wird, ohne dass eine Dokumentation darüber geführt wird. Insofern ist das Ergebnis insbesondere für Brandschutztüren aus der WKP-bezogenen Auswertung mit einem nicht quantifizierbaren systematischen Fehler behaftet (siehe auch Abschnitt 3.3).

Der Abgleich mit den aufgetretenen meldepflichtigen Ereignissen an den hier betrachteten Brandschutzeinrichtungen bestätigt, dass Ausfälle in der großen Mehrzahl innerhalb von WKP bemerkt werden bzw. selbstmeldende Ausfälle nach relativ kurzer Zeit repariert werden und während der Ausfalldauer Ersatzmaßnahmen ergriffen werden.



### **3 Ermittlung anlagenspezifischer und generischer Kenngrößen für die technische Zuverlässigkeit aktiver Brandschutzeinrichtungen**

Innerhalb dieses Vorhabens wurden für die Referenzanlagen Ausfallraten für die technische Zuverlässigkeit von

- Brandmeldeanlagen einschließlich ihrer Peripherie, d. h. Brandmeldezentralen, Unterzentralen, Einschübe mit Brandmeldelinien, Brandmeldelinien und automatische Brandmelder sowie Handfeuermelder (Abschnitt 3.1),
- Brandschutzklappen sowie Entrauchungsklappen in Lüftungskanälen,
- Rauch- und Wärmeabzugsgeräten,
- Brandschutztüren sowie Feststellanlagen für Brandschutztüren,
- ortsfesten Löschanlagen,
- Feuerlöschwasserpumpen und
- Hydranten (Überflurhydranten, Wandhydranten und Schaumzumischer)

ermittelt.

Für die Ergebnisdarstellung werden die Komponenten bzgl. ihrer Ausführungsart kategorisiert und die Ergebnisse für die einzelnen Referenzanlagen dargestellt, die über Komponenten der jeweiligen Ausführungsart verfügen.

In der tabellarischen Ergebnisdarstellung wird in der Spalte „Anlage“ die Referenzanlage und bei generische Zahlen alle betreffenden Anlagen genannt. In der Spalte „Ausführung“ wird die betreffende Einrichtung bzw. Teilfunktion genannt. Zur Identifikation gehört auch die Generation, Ausführung, Variante und der Typ der Komponenten. In der Spalte „Anzahl Komponenten“ ist die gerundete, mittlere Anzahl der ausgewerteten Komponenten (Grundgesamtheit) angegeben. Die Komponentenzahl kann über den Auswertzeitraum variieren. Die Spalte „Zeitraum“ gibt den Auswertzeitraum in ganzen Jahren an. Die „Dauer“ in Stunden ist der verwendete Betrachtungszeitraum über alle betrachteten Komponenten. Die Anzahl der „Ausfälle“ ist in der nächsten Spalte genannt. Als Berechnungsergebnis wird die Ausfallrate als statistische Schätzung mit ihren 5 %-, 50 %- und 95 %-Fraktile, dem Mittelwert und der Standardabweichung

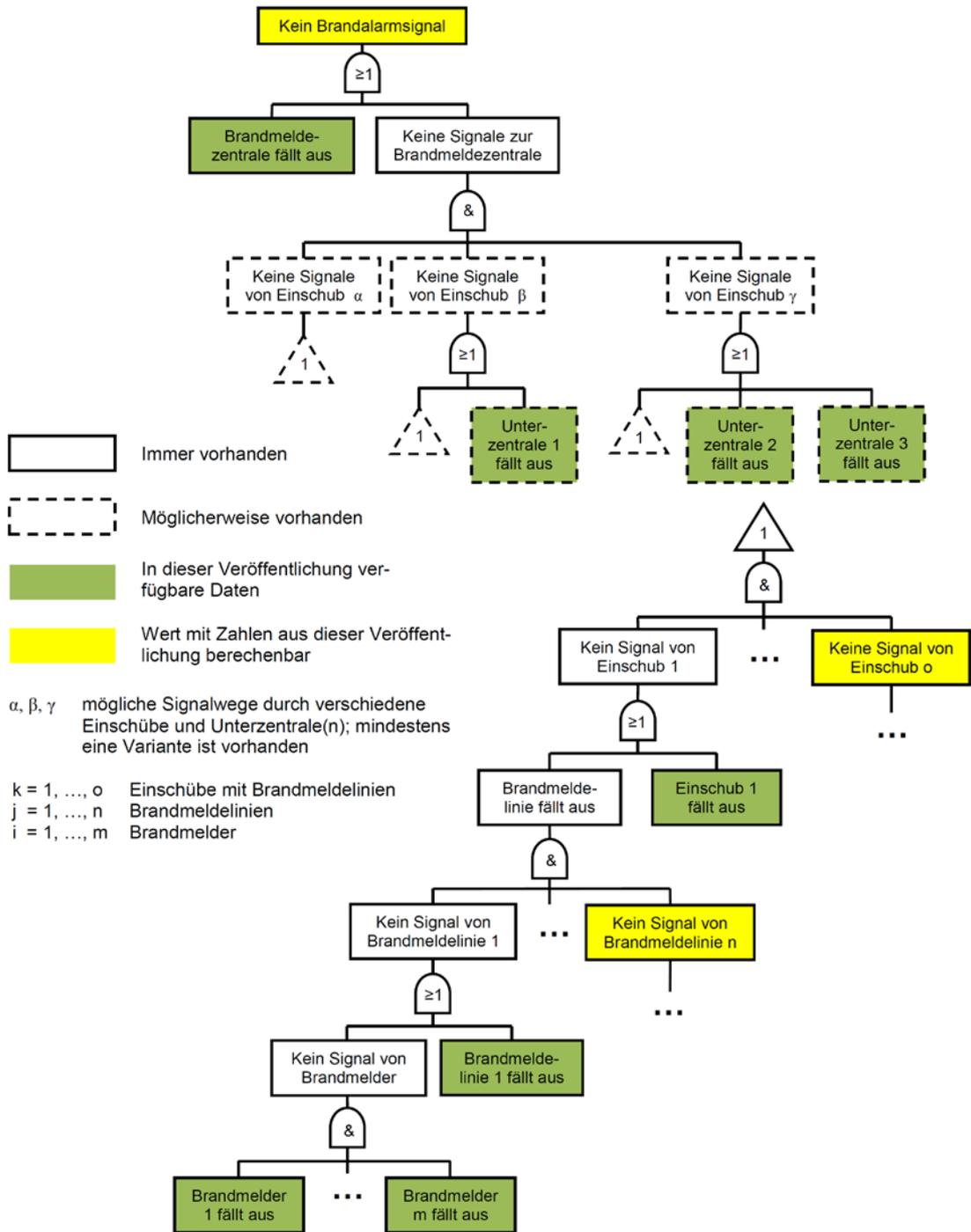
angegeben. Falls bei generischen Zahlen gepoolt wird (unter Verwendung des GRS-eigenen Modells AURA 1 /PES 10/), werden die Betrachtungszeiträume und Ausfälle aller einbezogenen Datensätze addiert und in der Tabelle dargestellt. Beim Superpopulationsansatz (unter Verwendung des GRS-eigenen Modells AURA 2 /PES 97/) werden nur die Ergebnisse dargestellt.

### **3.1 Ermittlung der Zuverlässigkeit von Brandmeldeanlagen**

Die in den Vorgängervorhaben teilweise eingeführte Unterteilung des Systems in Teilkomponenten und dazugehörigen Teilfunktionen wurde in diesem Vorhaben konsequent fortgesetzt. Die Unterteilung einer Brandmeldeanlage erfolgt in

- Brandmeldehauptzentralen (BMZ),
- Brandmeldeunterzentralen (teilweise als Kerne bezeichnet) (BMUZ),
- Einschübe mit Brandmeldelinien,
- Brandmeldelinien (Stiche bzw. Loops) sowie
- Brandmelder (automatische Brandmelder bzw. Handfeuermelder).

Je nach Aufbau der Brandmeldeanlagen sind nicht alle der genannten Komponenten an einer Auslösung beteiligt. So kann es sein, dass ein Signal direkt zu einer Hauptzentrale geführt wird, ohne über eine Unterzentrale zu gehen. Am Beispiel des Aufbaus der Brandmeldeanlage (BMA) der Referenzanlage 4 wurde der in Abb. 3-1 dargestellte Fehlerbaum erstellt. Dieser Fehlerbaum hat auch weitgehend generischen Charakter. Die BMA besteht aus einer Brandmeldezentrale (BMZ) und mehreren Brandmeldeunterzentralen (BMUZ). Einschübe mit Brandmeldelinien befinden sich entweder direkt in der BMZ (Fall  $\alpha$  in Abb. 3-1) oder verlaufen über eine bis zwei BMUZ (Fälle  $\beta$  und  $\gamma$  in Abb. 3-1). An die Linien oder Loops sind automatisch auslösende Brandmelder oder Handfeuermelder angeschlossen (Abb. 3-1). Für die grün hinterlegten Komponenten wurden technische Zuverlässigkeitskenngrößen bestimmt. Die gestrichelt gezeichneten Komponenten sind dadurch begründet, dass je nach betrachtetem Brandraum einige Komponenten in unterschiedlicher Zahl vorhanden sind und sich dadurch unterschiedliche Redundanzgrade ergeben. Mit den nachfolgend beschriebenen Daten ist es möglich, für jede auftretende technische Konstellation im Raum der Brandentstehung die technische Verfügbarkeit der Brandmeldeanlage zu bestimmen.



**Abb. 3-1:** Beispielhafter Fehlerbaum für Funktionsausfälle der Brandmeldeanlage

### 3.1.1 Brandmeldezentralen (BMZ), Unterzentralen (BMUZ) und Einschübe mit Linien

Brandmeldezentralen befinden sich in der Regel im Bereich der Kraftwerkswarte und im Bereich der Notstandswarte. Der Unterschied zwischen Brandmeldezentralen und Unterzentralen („Kernen“) besteht darin, dass Unterzentralen nur über eingeschränkte Anzeige- und Bedienfelder verfügen. Neuere Brandmeldezentralen sowie Unterzentralen sind im hohen Maße selbstüberwachend und redundant aufgebaut, so dass nur sehr selten ausfallrelevante Befunde auftreten können.

Von besonderer Bedeutung im Zusammenhang mit der deutschen Betriebserfahrung hat sich die Stromversorgung der Brandmeldeanlagen erwiesen /GRS 03/. Die Zentren und Unterzentralen verfügen über eine gesicherte Stromversorgung sowie zugleich über eine eigene Batterieversorgung. Der Ausfall der Stromversorgung wird innerhalb der WKP simuliert, um die Batterieversorgung zu überprüfen. Innerhalb dieses Prüfschritts sind verschiedentlich Befunde aufgetreten, die auf einen Ausfall der Batterieversorgung bei Anforderung schließen lassen, z. B.

- *Austausch der defekten Notstrombatterie 12 V 65 Ah in der Brandmeldezentrale,*
- *Umschaltung auf Batteriebetrieb nicht erfolgt oder*
- *bei Prüfpunkt "Berechnung der Überbrückungszeit bei Netzausfall" wurde festgestellt, dass die Batteriekapazität von 65 Ah für die Überbrückungszeit von 40 h nicht mehr ausreicht.*

Da das Wirksamwerden dieser Ausfallart zunächst nur im Notstromfall auftreten kann und die Notstromdiesel die Stromversorgung nach kurzer Zeit wieder herstellen, wurden Befunde bei der simulierten Umschaltung auf Batteriebetrieb in Übereinstimmung mit den Vorgängervorhaben nicht ausgewertet. Allerdings zeigt ein meldepflichtiges Ereignis an einer BMA /GRS 03/, bei dem ein nicht erkannter Ausfall des Netzteils der BMZ nach Entleerung der Notstrombatterien zum Ausfall von Teilen der Brandmeldeüberwachung führte, dass diese Befunde im Kombination mit dem Faktor Mensch zu einer deutlichen Einschränkung der Verfügbarkeit der Brandmeldeüberwachung führen können.

Innerhalb der Betrachtungszeiträume der Vorgängervorhaben sowie dieses Vorhabens hat es eine Fortentwicklung und einen Austausch der Brandmeldezentralen und Unter-

zentralen gegeben. Um dieser Entwicklung innerhalb der Auswertung Rechnung zu tragen, wurden die betroffenen Brandmeldezentralen in verschiedene Generationen eingeteilt:

- Die erste Generation von Brandmeldezentralen und Unterzentralen verfügte über Analogtechnik. In den Referenzanlagen werden Brandmeldezentralen und Unterzentralen der ersten Generation heute nicht mehr verwendet.
- Die zweite Generation von Brandmeldezentralen und Unterzentralen verfügt über die damals neu eingeführte Digitaltechnik.
- Die dritte Generation von Brandmeldezentralen und Unterzentralen wurde ab Mitte der 1990er Jahre eingesetzt und verfügt über leistungsfähigere Rechner.
- Die vierte Generation von Brandmeldezentralen ist auf dem Markt verfügbar, wurde aber im Betrachtungszeitraum noch nicht in den Referenzanlagen eingesetzt; sondern es wurden nur Brandmelder der vierten Generation eingesetzt.

Innerhalb der gesamten, in den Vorgängervorhaben sowie in diesem Vorhaben betrachteten Betriebserfahrung sind auf Grund von WKP keine Befunde an Zentralen und Unterzentralen aufgetreten, die zu einem Ausfall geführt hätten. Ein wesentlicher Grund für diese Null-Fehler-Statistik ist die Selbstüberwachung der Brandmeldezentralen. Einige Befunde wurden als Mangel eingestuft. Beispielhaft sind einige Mängel aufgeführt:

- *Mangel der automatischen Umschaltung von einer Zentrale auf eine redundante Zentrale bei Simulation des Ausfalls einer Zentrale,*
- *Mängel an Türkontakten etc.,*
- *2 Alarmsirenen defekt: Rohrkanal XXX und Kabelkeller YYY,*
- *2 akustische Alarmgeber defekt bzw. zu leise,*
- *Signalhupen defekt, Blitzlampe im Rohrkanal defekt,*
- *BMZ: Gesamtspannung außerhalb der Toleranz, Prüfschritt 22: Abweichung der Sollspannung um + 0,2 V (Sollspannung max. 27,1 V, Istspannung 27,3 V),*
- *BMZ: Anzeigedisplay defekt,*
- *Monitor der Brandmeldeanlage ausgefallen, wurde im Rahmen WKP ausgetauscht.*

Auf Grund der Selbstüberwachung der Brandmeldetechnik wurde stichprobenartig auch Einsicht in die sogenannten Stör- und Mängelmeldungen (STM) der Referenzan-

lagen Einsicht genommen, die nicht auf Grund von WKP aufgelaufen sind. Selbstmeldende Ausfälle lauten z. B.:

- *Störung XX-Zentrale, Loop-Karte ausgefallen,*
- *Kern YY ausgetauscht,*
- *Brandmeldeanlage geht alle 10 sec. in Störung,*
- *defekte Brandmeldeanlage (Systemstörung),*
- *Brandmeldeanlage gestört,*
- *Ausfall Datenübertragung Kern XX - Meldetableau steht zur Verfügung - kein Einfluss auf Betriebsmittel,*
- *BMA-Bedienung über Touchscreen nicht möglich.*

Die Befunde zeigen auf, dass die Brandmeldeüberwachung teilweise eingeschränkt war. Da die Betreiber im Falle des Ausfalls der Brandmeldeüberwachung nach Betriebshandbuch Ersatzmaßnahmen vorgesehen haben und der Ausfall bis zur Reparatur im Allgemeinen nur relativ kurzzeitig ist, kann dieser Einfluss der selbstmeldenden Ausfälle auf die Zuverlässigkeit hier nicht bewertet werden.

In der Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 sind die Ergebnisse für Brandmeldehauptzentralen und –unterzentralen der zweiten und dritten Generation angegeben. Beide Tabellen weisen für die in WKP beobachteten Ausfälle eine Null-Fehler-Statistik auf. Hinsichtlich der Zentralen und Unterzentralen der zweiten Generation ist der Typ A eine frühe Version des Typs B, so dass hier von großen Gemeinsamkeiten ausgegangen wird. Für die generischen Daten wurden der Typ A und B deshalb zusammen gezogen. Es ergeben sich mittlere Ausfallraten von  $\lambda = 4,77 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  für die Brandmeldehauptzentralen und  $\lambda = 1,20 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  für die Brandmeldeunterzentralen. Zwischen den Typen A und B der Anlagen der dritten Generation bestehen ebenfalls Gemeinsamkeiten, während der Typ C von einem anderen Hersteller stammt. Für die zusammengefassten Typen A und B ergeben sich mittlere Ausfallraten von  $\lambda = 1,43 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$  für die Brandmeldehauptzentralen und  $\lambda = 4,06 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  für die Brandmeldeunterzentralen.

Das dokumentierte Prüfindintervall bezieht sich auf die WKP der Zentralen. Tatsächlich werden wesentliche Funktionen der Zentralen mit jeder Brandmelderprüfung mitgetestet. Insofern ist es in Abhängigkeit der anlagenspezifischen Prüforganisation gerechtfertigt, ein kürzeres Intervall zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung einzusetzen (vgl. Kapitel 4).

**Tabelle 3-1:** Ergebnisse für Brandmeldehauptzentralen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	BMZ (G. II, Typ A)	5	1994-1997	1a	175.320	0	6,59 E-09	8,98 E-07	1,22 E-05	2,86 E-06	5,47 E-06
1	BMZ (G. II, Typ A)	4	1998-2005	3m	262.848	0	4,39 E-09	5,99 E-07	8,15 E-06	1,91 E-06	3,65 E-06
1*	BMZ (G. II, Typ A)	4	1994-2005	3m/1a	438.157	0	2,64 E-09	3,59 E-07	4,89 E-06	1,14 E-06	2,19 E-06
4	BMZ (G. II, Typ B)	1	1999-2010	3m	103.032	0	1,12 E-08	1,53 E-06	2,08 E-05	4,86 E-06	9,32 E-06
5	BMZ (G. II, Typ B)	2	1993-2001	3m	157.776	0	7,32 E-09	9,97 E-07	1,36 E-05	3,17 E-06	6,08 E-06
5	BMZ (G. II, Typ B)	2	2002-2011	3m	175.296	0	6,59 E-09	8,98 E-07	1,22 E-05	2,86 E-06	5,48 E-06
5*	BMZ (G. II, Typ B)	2	1993-2011	3m	333.072	0	3,47 E-09	4,72 E-07	6,44 E-06	1,50 E-06	2,88 E-06
6	BMZ (G. II, Typ B)	2	2001-2010	6m	175.320	0	6,59 E-09	8,98 E-07	1,22 E-05	2,86 E-06	5,47 E-06
1,4,5,6	BMZ (G. II)	generisch mittels AURA 1			1.049.581	0	1,10 E-09	1,50 E-07	2,04 E-06	4,77 E-07	9,14 E-07
1	BMZ (G. III, Typ B)	4	2005-2012	1a	263.136	0	4,39 E-09	5,98 E-07	8,15 E-06	1,90 E-06	3,65 E-06
3	BMZ (G. III, Typ C)	2	2005-2012	3m	154.752	0	7,46 E-09	1,02 E-06	1,39 E-05	3,24 E-06	6,20 E-06
6	BMZ (G. III, Typ A)	1	2002-2011	3m	87.648	0	1,32 E-08	1,80 E-06	2,45 E-05	5,71 E-06	1,10 E-05
1,6	BMZ (G. III, A & B)	generisch mittels AURA 1			350.784	0	3,29 E-09	4,49 E-07	6,11 E-06	1,43 E-06	2,74 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

**Tabelle 3-2:** Ergebnisse für Brandmeldeunterzentralen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	BMUZ (G. II, Typ A)	12	1994-1997	1a	420.768	0	2,75 E-09	3,74 E-07	5,09 E-06	1,19 E-06	2,28 E-06
1	BMUZ (G. II, Typ A)	13	1998-2005	3m	854.256	0	1,35 E-09	1,84 E-07	2,51 E-06	5,86 E-07	1,23 E-07
1*	BMUZ (G. II, Typ A)	13	1994-2005	3m/1a	1.275.024	0	9,06 E-10	1,23 E-07	1,68 E-06	3,93 E-07	7,53 E-07
4	BMUZ (G. II, Typ B)	6	1999-2010	3m	618.192	0	1,87 E-09	2,55 E-07	3,47 E-06	8,10 E-07	1,55 E-06
4	BMUZ (G. II, Typ B)	4	2000-2010	3m	385.728	0	2,99 E-09	4,08 E-07	5,56 E-06	1,30 E-06	2,49 E-06
4*	BMUZ (G. II, Typ B)	10	1999-2010	3m	1.003.920	0	1,15 E-09	1,57 E-07	2,14 E-06	4,99 E-07	9,56 E-07
5	BMUZ (G. II, Typ B)	6	1993-2001	3m/1a	473.328	0	2,44 E-09	3,32 E-07	4,53 E-06	1,06 E-06	2,03 E-06
5	BMUZ (G. II, Typ B)	5	2002-2011	3m	438.240	0	2,64 E-09	3,59 E-07	4,89 E-06	1,14 E-06	2,19 E-06
5*	BMUZ (G. II, Typ B)	5	1993-2011	3m/1a	911.568	0	1,27 E-09	1,73 E-07	2,35 E-06	5,49 E-07	1,05 E-06
6	BMUZ (G. II, Typ B)	11	2001-2010	6m	999.324	0	1,16 E-09	1,58 E-07	2,15 E-06	5,01 E-07	9,60 E-07
1,4,5,6	BMUZ (G. II)	generisch mittels AURA 1			4.189.836	0	2,76 E-10	3,76 E-08	5,12 E-07	1,20 E-07	2,29 E-07
1	BMUZ (G. III, Typ B)	17	2005-2012	3m	1.118.328	0	1,03 E-09	1,41 E-07	1,92 E-06	4,48 E-07	8,58 E-07
3	BMUZ (G. III, Typ C)	24	2005-2012	1a	1.454.400	0	7,94 E-10	1,08 E-07	1,47 E-06	3,44 E-07	6,60 E-07
6	BMUZ (G. III, Typ A)	3	2005-2010	6m	116.150	0	9,94 E-09	1,36 E-06	1,85 E-05	4,31 E-06	8,26 E-06
1,6	BMUZ (G. III, A & B)	generisch mittels AURA 1			1.234.478	0	9,36 E-10	1,28 E-07	1,74 E-06	4,06 E-07	7,77 E-07

\* Die Werte stellen die Summe aus den Ergebnissen der Vorgängervorhaben und dieses Vorhabens dar

Die Prüfung der Einschübe der Zentralen ist Teil der WKP der Zentralen bzw. Unterzentralen. Deshalb werden die Einschübe mit Brandmeldelinien der gleichen Generation wie die der Zentralen zugeordnet. Die gesonderte Betrachtung der Einschübe mit Brandmeldelinien als eine eigene Komponente bzw. Teilfunktion erfolgte, da der Ausfall eines Einschubs nicht notwendiger Weise zum Ausfall der Brandmeldung führt (vgl. auch Abb. 3-1). Während bei einer BMA der ersten Generation noch einige Ausfälle von Einschüben mit Linien beobachtet wurden, wurden innerhalb dieses Vorhabens keine in WKP festgestellten Ausfälle beobachtet. Der Grund dafür ist zum einen in der hohen Zuverlässigkeit der elektronischen Komponenten zu suchen. Zweitens sind möglicherweise erfolgte Ausfälle an Einschüben in hohem Maße selbstmeldend, so dass die etwaigen Ausfallzeiten nur sehr kurz sind und kein Befund innerhalb der WKP auftrat. Für Einschübe der zweiten und dritten Generation liegt somit eine Null-Fehler-Statistik vor. Es sind ebenfalls keine Mängel an Einschüben aus WKP dokumentiert. In Tabelle 3-3 sind die Ergebnisse der Ausfallraten für Einschübe mit Brandmeldelinien für Anlagen der zweiten und dritten Generation zusammengestellt. Es ergeben sich mittlere Ausfallraten von  $\lambda = 1,52 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$  für die Einschübe der zweiten Generation und  $\lambda = 1,03 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  für die Einschübe der dritten Generation.

**Tabelle 3-3:** Ergebnisse für Einschübe mit Brandmeldelinien

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Einschübe (G. II, Typ A)	49	1994-1997	3m	1.718.136	0	6,72 E-10	9,16 E-08	1,25 E-06	2,92 E-07	5,59 E-07
1	Einschübe (G. II, Typ A)	49	1998-2005	3m	3.219.888	0	3,59 E-10	4,89 E-08	6,66 E-07	1,56 E-07	2,98 E-07
1*	Einschübe (G. II, Typ A)	49	1994-2005	3m	4.938.024	0	2,34 E-10	3,19 E-08	4,34 E-07	1,01 E-07	1,94 E-07
3	Einschübe (G. II, Typ B)	36	2000-2012	1a	3.838.752	0	3,01 E-10	4,10 E-08	5,58 E-07	1,30 E-07	2,50 E-07
4	Einschübe (G. II, Typ B)	142	1999-2010	3m	14.260.944	0	8,10 E-11	1,10 E-08	1,50 E-07	3,51 E-08	6,73 E-08
5	Einschübe (G. II, Typ B)	35	1993-2001	3m/1a	2.761.080	0	4,18 E-10	5,70 E-08	7,76 E-07	1,81 E-07	3,48 E-07
5	Einschübe (G. II, Typ B)	38	2002-2011	3m	3.330.624	0	3,47 E-10	4,72 E-08	6,44 E-07	1,50 E-07	2,88 E-07
5*	Einschübe (G. II, Typ B)	37	1993-2011	3m/1a	6.091.704	0	1,90 E-10	2,58 E-08	3,52 E-07	8,22 E-08	1,58 E-07
6	Einschübe (G. II, Typ B)	43	2001-2010	6m	3.769.380	0	3,06 E-10	4,17 E-08	5,69 E-07	1,33 E-07	2,55 E-07
1,3,4,5,6	Einschübe (G. II)	generisch mittels AURA 1			32.898.804	0	3,51 E-11	4,78 E-09	6,52 E-08	1,52 E-08	2,92 E-08
1	Einschübe (G. III, Typ B)	69	2005-2012	3m	4.539.096	0	2,55 E-10	3,47 E-08	4,72 E-07	1,10 E-07	2,11 E-07
3	Einschübe (G. III, Typ C)	163	2006-2012	1a	9.877.800	0	1,17 E-10	1,59 E-08	2,17 E-07	5,07 E-08	9,72 E-08
6	Einschübe (G. III, Typ A)	8	2005-2010	6m	322.151	0	3,59 E-09	4,88 E-07	6,65 E-06	1,55 E-06	2,98 E-06
1,6	Einschübe (G. III, A & B)	generisch mittels AURA 1			4.861.247	0	2,38 E-10	3,24 E-08	4,41 E-07	1,03 E-07	1,97 E-07

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.1.2 Brandmeldelinien

Brandmeldelinien sind entweder als Stichleitungen oder wie seit längerer Zeit möglich als Schleifen („Loop“) ausgeführt. Ein Loop ist bezüglich Drahtbruchs ausfallsicherer, da jeder Melder von zwei Seiten versorgt werden kann. Da Linien bzgl. Drahtbruch, Kurzschluss und Erdschluss permanent überwacht werden, sind solche Ausfallarten während einer WKP nicht zu erwarten. Stattdessen geht der Ausfalltyp „*Ausfall der Brandmeldelinie*“ auf ältere Brandmelder nach dem sogenannten Stromverstärkungsprinzip zurück, bei denen ein Ausfall eines Brandmelders zum Ausfall der Meldung aller auf einer Linie befindlichen Melder führen konnte. Im Fehlerbaum (Abb. 3-1) muss diese Ausfallart als Ausfall der Brandmeldelinie erfasst werden, weil mögliche Redundanzen bei mehreren Brandmeldern im Raum verloren gehen. Für Brandmeldeanlagen ab der zweiten Generation wurde diese Ausfallart bei den Referenzanlagen nicht mehr festgestellt.

Befunde wie lose bzw. unvollständige Befestigungen von Meldelinien wurden als Mangel eingestuft, da sie nicht zum Ausfall führten und im Falle eines Ausfalls als selbstmeldend eingestuft werden.

Die Prüfung der Brandmeldelinien erfolgt alle drei Monate. Längere Prüfintervalle ergeben sich bei Revisionsabhängigkeiten z. B. für Linien in Sperrbereichen. Die Prüfung einer Brandmeldelinie erfolgt dadurch, dass ein auf die betreffende Linie geschalteter Brandmelder sowie die Selbstmeldung von Drahtbruch, Kurzschluss und Erdschluss geprüft wird. Für sämtliche Meldelinien ab der zweiten Generation wurden wie beschrieben Null-Fehler-Statistiken beobachtet.

Folgender Befund an einer Brandmeldelinie wurde beispielhaft als Mangel bewertet:

- *Bei der Schleifenprüfung kam nach Entnahme der Rauchmelder Linie X Melder Y und Linie X2 Melder Y2 im Schaltanlagegebäude, sowie ... keine Störungsmeldung. Die Sockel der Melder wurden daraufhin im Verlauf der Prüfung ausgetaucht.*

Die zusätzliche Auswertung von Stör- und Mängelmeldungen zeigt, dass selbstmeldende Störungen bzw. Ausfälle an Brandmeldelinien aufgetreten sind. Diese wurden z. B. wie folgt dokumentiert:

- *Störung Brandmeldelinie 12345,*
- *Sporadischer Ausfall der Meldelinie ABC12/34,*
- *Automatische Meldelinie 1234 (Gebäude X) ist gestört,*
- *Brandmeldelinien Gebäude Y gestört (17 Melder).*

Es wird davon ausgegangen, dass die selbstmeldenden Ausfälle innerhalb kurzer Zeit behoben werden und innerhalb der Ausfalldauer Ersatzmaßnahmen ergriffen werden.

Die Ergebnisse für Brandmeldelinien der 2. und 3. Generation sind in Tabelle 3-4 dargestellt. Für Linien der 2. Generation beträgt die mittlere Ausfallrate  $\lambda = 2,11 \text{ E-}09 \text{ h}^{-1}$ . Für Linien der 3. Generation beträgt die mittlere Ausfallrate  $\lambda = 2,79 \text{ E-}09 \text{ h}^{-1}$ . Die im Vergleich zur 2. Generation schlechtere Zuverlässigkeit ist durch den geringeren Beobachtungszeitraum bedingt.

**Tabelle 3-4:** Ergebnisse für Brandmeldelinien

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Linien (G. II, Typ A)	921	1994-1997	3m	32.293.944	0	3,58 E-11	4,87 E-09	6,64 E-08	1,55 E-08	2,97 E-08
1	Linien (G. II, Typ A)	827	1998-2005	3m	54.343.824	0	2,13 E-11	2,90 E-09	3,94 E-08	9,22 E-09	1,77 E-08
1*	Linien (G. II, Typ A)	860	1994-2005	3m	86.636.689	0	1,33 E-11	1,82 E-09	2,47 E-08	5,78 E-09	1,11 E-08
3	Linien (G. II, Typ B)	90	2000-2012	3m	9.596.880	0	1,20 E-10	1,64 E-08	2,23 E-07	5,22 E-08	1,00 E-07
4	Linien (G. II, Typ B)	554	1988-1994	3m	33.997.872	0	3,40 E-11	4,63 E-09	6,30 E-08	1,47 E-08	2,82 E-08
4	Linien (G. II, Typ B)	554	1995-1999	3m	20.622.096	0	5,60 E-11	7,63 E-09	1,04 E-07	2,43 E-08	4,65 E-08
4*	Linien (G. II, Typ B)	554	1988-1999	3m	54.619.968	0	2,12 E-11	2,88 E-09	3,92 E-08	9,17 E-09	1,76 E-08
5	Linien (G. II, Typ B)	551	1993-2001	3m	43.467.288	0	2,66 E-11	3,62 E-09	4,93 E-08	1,15 E-08	2,21 E-08
5	Linien (G. II, Typ B)	490	2002-2011	3m	42.947.520	0	2,69 E-11	3,66 E-09	4,99 E-08	1,17 E-08	2,24 E-08
5*	Linien (G. II, Typ B)	518	1993-2011	3m	86.414.808	0	1,34 E-11	1,82 E-09	2,48 E-08	5,80 E-09	1,11 E-08
6	Linien (G. II, Typ B)	479	2001-2010	3m	41.989.140	0	2,75 E-11	3,75 E-09	5,10 E-08	1,19 E-08	2,29 E-08
1,3,4,5,6	Linien (G. II)		AURA 1	3m	237.268.345	0	4,87 E-12	6,63 E-10	9,03 E-09	2,11 E-09	4,05 E-09
1	Linien (Gen. III, Typ B)	1046	2005-2012	3m	68.810.064	0	1,68 E-11	2,29 E-09	3,12 E-08	7,28 E-09	1,40 E-08
3	Linien (Gen. III, Typ C)	1860	2006-2012	3m	110.086.560	0	1,05 E-11	1,43 E-09	1,95 E-08	4,55 E-09	8,72 E-09
6	Linien (Gen. III, Typ A)	204	2005-2010	3m	891.941	0	1,30 E-09	1,76 E-07	2,40 E-06	5,61 E-07	1,08 E-06
1,3,6	Linien (G. III)		AURA 1	3m	179.788.565	0	6,42 E-12	8,75 E-10	1,19 E-08	2,79 E-09	5,34 E-09

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.1.3 Automatische Brandmelder

Ähnlich wie bei den Brandmeldezentralen und Unterzentralen hat es auch für automatische Brandmelder eine Weiterentwicklung gegeben. Dabei lassen sich zunächst einfache Grenzwertmelder und „intelligente“ Melder mit komplexeren Auswertelgorithmen unterscheiden. Grenzwertmelder sind zudem nicht adressierbar, wurden aber häufig mit adressierbaren Meldebausteinen am Sockel aufgerüstet, um eine Adressierung und bessere Lokalisierung eines Brands zu ermöglichen. Die „intelligenten“ Melder sind immer adressierbar. Heutige Weiterentwicklungen im Bereich „intelligenter“ Melder betreffen Mehrkriterienmelder, die als Einzelmelder bereits verschiedene Sensorköpfe für unterschiedliche Brandkenngrößen verfügen und auswerten.

Entsprechend lassen sich für die Auswertung verschiedener Meldergenerationen folgende Typen festlegen:

- Generation I: nicht adressierbare Grenzwertmelder (GW-Melder),
- Generation II: „intelligente“, adressierbare Melder (sog. Pulsmelder),
- Generation III: „intelligente“ adressierbare Melder, auch Mehrkriterienmelder,
- Generation IV: „intelligente“ adressierbare Melder, auch Mehrkriterienmelder.

Neben der Meldergeneration unterscheiden sich die Melder durch die betreffende Brandkenngröße nach

- Ionisationsrauchmelder,
- optische Rauchmelder,
- Wärmedifferentialmelder,
- Infrarot Flammenmelder,
- Mehrkriterienmelder sowie
- Rauchansaugsysteme (RAS-Systeme) (s. unten).

Die in der Auswertung verwendete Bezeichnung für einen Brandmelder setzt sich entsprechend aus der vorgenannten Art des Melders, der Meldergeneration und den Typen zusammen, wobei hier an Stelle der Herstellerbezeichnungen „Typ A“ und „Typ B“ verwendet wird.

Da sowohl im Hinblick auf eine vorstehende Umrüstung einer Brandmeldezentrale bereits Melder einer neueren Generation verwendet werden können als auch Brandmeldezentralen grundsätzlich auch Schnittstellen für ältere Meldergenerationen besitzen, ist die Umrüstung von Brandmeldern in den Referenzanlagen ein längerer Prozess, der gebäudeweise abläuft und bei dem einzelne Komponenten verschiedener Generationen parallel betrieben werden. Insofern kann teilweise kein genaues Inbetriebnahmedatum für einen neuen Meldertyp angegeben werden, sondern die betriebenen Stückzahlen wurden anhand der genannten Umrüstzeiträume mit den Systemzuständigen der Referenzanlagen abgeschätzt.

Folgende Befunde traten beispielhaft an Brandmeldern auf, die als Mängel eingestuft wurden:

- *Sockel angebrochen und ausgetauscht, Melder funktionsfähig,*
- *Relaissockel gebrochen, Melder funktionsfähig,*
- *Parallelanzeige von O-Melder defekt,*
- *Leuchtdiode an Melder defekt,*
- *2 externe Melderanzeigen (Parallelanzeigen) ohne Funktion, Fehler später nicht reproduzierbar,*
- *Melder X/01 Haltearm an der Wand lose,*
- *Melder Y/01 AKZ zum Melder fehlt,*
- *Melder Z der Linie ABC1 war während des Betriebes in Störung gegangen und war am Kern überbrückt worden. Melder ausgetauscht. (im Sperrbereich normale Vorgehensweise),*
- *Melder XX 109 nicht ordnungsgemäß befestigt (mit Kabelbindern unter Kabelpritsche), aber funktionsbereit,*
- *die Parametrierung der Melder 01 bis 04 ist vertauscht. Die korrekte Parametrierung ist einzupflegen (Melder hat den Brandort nicht genau angezeigt),*
- *Raumnummern an den Zentralen XXX u. YYY weichen teilweise von den Angaben in der Prüfanweisung ab. Die Angaben sind auf Richtigkeit zu überprüfen und in die Zentralen bzw. Prüfprotokoll zu übernehmen (Melder hat den Brandort nicht genau angezeigt).*

Insbesondere Befunde, die die Lokalisierung der Brandmelder betreffen, treten nach Umrüstung von Brandmeldeanlagen immer wieder auf. Diese wurden als Mängel eingestuft, da sie im Auslösefall nur zu einer Verzögerung der Brandbekämpfung führen

und da der Befund auf Fehler in der Inbetriebsetzung zurückzuführen ist, also nicht über eine idealisiert zeitunabhängige Ausfallrate modellierbar ist.

Ergebnisse der Auswertungen für verschiedene Typen von automatischen Brandmeldern sind in der Tabelle 3-5 bis Tabelle 3-10 dargestellt. Auf Grund der Umrüstungszeiten für die verschiedenen Meldergenerationen wurden in den Tabellen keine Auswertejahrgänge, sondern nur die Generationen angegeben. Wie bei den vorgenannten Komponenten der Brandmeldeanlagen wurden für die generischen Ausfallraten von Brandmeldern die anlagenspezifischen Daten zusammengefasst, so dass im Vergleich zum Superpopulationsansatz kleinere Unsicherheiten und bessere mittlere Ausfallraten in den Tabellen ausgewiesen werden (vgl. auch Abschnitte 2.1 und 2.4). Die Ausnahmen innerhalb der Komponenten der Brandmeldeanlagen bilden die Rauchansaugsysteme und Handfeuermelder (s. u.). da diese Systeme weniger einheitlich aufgebaut sind und aufgetretene ausfallrelevante Befunde nicht die Elektronik, sondern die Mechanik und Ansaugung betreffen.

Ionisationsrauchmelder (Tabelle 3-5) wurden in den Referenzanlagen nur bis zur zweiten Brandmeldeanlagen generation vorgefunden. Da die gleichen Meldertypen in verschiedenen Referenzanlagen betrieben wurden, wurden für die generischen Zuverlässigkeitskennzahlen die Einzelbestände des Meldertyps A bzw. B der 2. Generation der Referenzanlagen 1, 3, 5 und 6 bzw. 1, 5 und 6 gepoolt.

Optische Rauchmelder (Tabelle 3-6) werden in den Referenzanlagen in großen Stückzahlen verwendet, wobei durch die Generation II bis IV für alle Typen von optischen Rauchmeldern eines Herstellers keine nicht selbstmeldenden Ausfälle bekannt wurden. Hierdurch berechnet sich eine mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 1,05 \text{ E-}09 \text{ h}^{-1}$ . Die Referenzanlage 3 verfügt über eine BMA der III. Generation eines anderen Herstellers. Für diesen in sehr großer Stückzahl eingesetzten optischen Rauchmelder des Typs B traten 11 Ausfälle auf. Allerdings waren 5 Ausfälle davon auf erhöhte Strahlung in Sperrbereichen zurückzuführen, so dass die mittlere Ausfallrate ebenfalls anhand der 6 verbliebenen Ausfälle berechnet wurde und  $\lambda = 1,42 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$  beträgt. Mittlerweile wird in Bereichen mit hoher Dosisleistung ein in der Speicherelektronik reduzierter, ansonsten baugleicher Meldertyp eingesetzt. Die optischen Rauchmelder der IV. Generation sind vom gleichen Hersteller, allerdings unterschiedlichen Typs.

Wärmedifferentialmelder (Tabelle 3-7) wurden nur in geringen Stückzahlen in der Gerätegeneration II und IV vorgefunden und weisen bzgl. in WKP beobachteten Ausfällen eine Null-Fehler-Statistik auf.

Infrarot Flammenmelder (Tabelle 3-8) wurden nur von einer Referenzanlage in nennenswerten Stückzahlen eingesetzt, wobei ein Ausfall beobachtet wurde, was zu einer mittleren Ausfallrate von  $\lambda = 6,19 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$  führt.

Mehrere Referenzanlagen setzten Mehrkriterienmelder (Tabelle 3-9) der IV. Generation ein, wobei diese zusammen mit Brandmeldezentralen der III. Generation betrieben werden. Zu diesen Meldern liegt zu in WKP beobachteten Ausfällen eine Null-Fehler-Statistik vor, was zu mittleren generischen Ausfallraten von  $\lambda = 5,24 \text{ E-}09 \text{ h}^{-1}$  (Typ A) bzw. wegen der geringeren Betrachtungsdauer von  $\lambda = 1,83 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$  (Typ B) führt.

**Tabelle 3-5:** Ergebnisse für Ionisationsrauchmelder

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponen- ten	Prüf- intervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h]				
						(Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
6	Ion. Rauchmelder (G. I, Typ A)	26	1a	2.279.160	1	3,35 E-08	3,81 E-07	2,22 E-06	6,58 E-07	8,31 E-07
1	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ A)	2112	1a	277.693.253	0	4,16 E-12	5,67 E-10	7,72 E-09	1,80 E-09	3,46 E-09
3	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ A)	300	1a	31.989.600	0	2,43 E-09	1,94 E-08	9,13 E-08	2,96 E-08	3,21 E-08
5	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ A)	963	1a	84.410.410	2	3,61 E-11	4,92 E-09	6,70 E-08	1,57 E-08	3,00 E-08
6	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ A)	966	1a	84.644.496	0	1,37 E-11	1,86 E-09	2,53 E-08	5,92 E-09	1,13 E-08
1,3,5,6	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ A)	AURA 1		478.737.759	2	4,28 E-10	3,42 E-09	1,61 E-08	5,22 E-09	5,66 E-09
1	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ B)	16	1a	2.127.605	0	5,43 E-10	7,40 E-08	1,01 E-06	2,35 E-07	4,51 E-07
5	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ B)	459	1a	40.258.342	1	3,21 E-09	3,66 E-08	2,13 E-07	6,32 E-08	7,97 E-08
6	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ B)	235	1a	23.755.860	1	1,89 E-09	2,16 E-08	1,26 E-07	3,73 E-08	4,70 E-08
1,5,6	Ion. Rauchmelder (G. II, Typ B)	AURA 1		66.141.808	2	3,10 E-09	2,47 E-08	1,17 E-07	3,78 E-08	4,10 E-08

**Tabelle 3-6:** Ergebnisse für Optische Rauchmelder

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	1118	1a	147.021.733	0	7,86 E-12	1,07 E-09	1,46 E-08	3,41 E-09	6,53 E-09
3	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	300	1a	31.989.600	0	3,61 E-11	4,92 E-09	6,70 E-08	1,57 E-08	3,00 E-08
4	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	2444	1a	214.270.368	0	5,39 E-12	7,34 E-10	1,00 E-08	2,34 E-09	4,48 E-09
5	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	406	1a	35.585.088	0	3,25 E-11	4,42 E-09	6,02 E-08	1,41 E-08	2,70 E-08
6	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	571	1a	50.053.860	0	2,31 E-11	3,14 E-09	4,28 E-08	1,00 E-08	1,92 E-08
1,3,4,5,6	Opt. Rauchmelder (G. II, Typ A)	AURA 1		478.920.649	0	2,41 E-12	3,29 E-10	4,48 E-09	1,05 E-09	2,00 E-09
1	Opt. Rauchmelder (G. III, Typ A)	9	1a	1.183.464	0	9,76 E-10	1,33 E-07	1,81 E-06	4,23 E-07	8,11 E-07
5	Opt. Rauchmelder (G. III, Typ A)	88	1a	7.713.024	0	1,50 E-10	2,04 E-08	2,78 E-07	6,49 E-08	1,24 E-07
1,5	Opt. Rauchmelder (G. III, Typ A)	AURA 1		8.896.488	0	1,30 E-10	1,77 E-08	2,41 E-07	5,63 E-08	1,08 E-07
3	Opt. Rauchmelder (G. III, Typ B)	7600	1a	459.532.800	11	3,41 E-09	1,94 E-08	6,56 E-08	2,50 E-08	2,07 E-08
3*	Opt. Rauchmelder (G. III, Typ B)	7595	1a	459.230.476	6	1,75 E-09	1,05 E-08	3,87 E-08	1,42 E-08	1,26 E-08
1	Opt. Rauchmelder (G. IV, Typ A)	160	1a	21.003.856	0	5,50 E-11	7,49 E-09	1,02 E-07	2,38 E-08	4,57 E-08
6	Opt. Rauchmelder (G. IV, Typ B)	349	1a	27.481.410	0	4,20 E-11	5,73 E-09	7,80 E-08	1,82 E-08	3,49 E-08
* Nur die optischen Rauchmelder der 3. Generation, Typ B, die nicht durch ionisierende Strahlung ausgefallen sind										

**Tabelle 3-7:** Ergebnisse für Wärmedifferentialmelder

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Wärmediff.-melder (G. II, Typ A)	95	1a	12.430.317	0	9,29 E-11	1,27 E-08	1,72 E-07	4,03 E-08	7,72 E-08
5	Wärmediff.-melder (G. II, Typ A)	42	1a	3.681.216	0	3,14 E-10	4,27 E-08	5,82 E-07	1,36 E-07	2,61 E-07
1,5	Wärmediff.-melder (G. II, Typ A)	AURA 1		16.111.533	0	7,17 E-11	9,77 E-09	1,33 E-07	3,11 E-08	5,96 E-08
1	Wärmediff.-melder (G. IV, Typ A)	7	1a	877.078	0	1,32 E-09	1,79 E-07	2,44 E-06	5,71 E-07	1,09 E-06

**Tabelle 3-8:** Ergebnisse für infrarot Flammenmelder

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
3	IR Flammenmelder (G. III, Typ A)	400	1a	24.240.000	1	3,15 E-09	3,58 E-08	2,09 E-07	6,19 E-08	7,81 E-08

**Tabelle 3-9:** Ergebnisse für Mehrkriterienmelder

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ A)	29	1a	3.787.085	0	3,05 E-10	4,16 E-08	5,66 E-07	1,32 E-07	2,53 E-07
4	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ A)	2424	1a	42.468.480	0	2,72 E-11	3,71 E-09	5,05 E-08	1,18 E-08	2,26 E-08
5	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ A)	335	1a	29.362.080	0	3,93 E-11	5,36 E-09	7,30 E-08	1,71 E-08	3,27 E-08
6	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ A)	229	1a	20.039.076	0	5,76 E-11	7,85 E-09	1,07 E-07	2,50 E-08	4,79 E-08
1,4,5,6	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ A)	AURA 1		95.656.721	0	1,21 E-11	1,65 E-09	2,24 E-08	5,24 E-09	1,00 E-08
1	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ B)	121	1a	15.954.410	0	7,24 E-11	9,86 E-09	1,34 E-07	3,14 E-08	6,02 E-08
5	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ B)	130	1a	11.394.240	0	1,01 E-10	1,38 E-08	1,88 E-07	4,40 E-08	8,42 E-08
1,5	Mehrkriterienmelder (G. IV, Typ B)	AURA 1		27.348.650	0	4,22 E-11	5,75 E-09	7,84 E-08	1,83 E-08	3,51 E-08

Im Gegensatz zu den übrigen Teilen der Brandmeldeanlage einschließlich Peripherie werden Rauchansaugsysteme (RAS) von verschiedenen Herstellern eingesetzt. Sie kommunizieren über eine Schnittstelle mit der jeweiligen Zentrale. Unterschiede in der Fortentwicklung von RAS-Systemen betreffen die Selbstüberwachung bzw. Verstopfung und Leckage des angeschlossenen Ansaugleitungssystems. Hier wird deshalb zwischen der alten Spezifikation gemäß Richtlinie der europäischen Versicherer CEA 4022 (Generation I) /CEA 99/ und der neuen gemäß DIN EN 54, Teil 20 /DIN 06/ (Generation II) unterschieden, die im Jahre 2007 verbindlich wurde. Gemäß alter Spezifikation musste eine Änderung des Ansaugvolumenstroms von 50 % selbstständig erkannt werden. Deshalb sind Verstopfungen einzelner Ansauglöcher erst durch die WKP festgestellt worden. Mit der DIN EN 54 Teil 20 muss bei einer Änderung von 20 % des Volumenstroms eine Störung angezeigt werden, so dass die Selbstüberwachung verbessert wurde. Ausfälle betreffen typischer Weise zugesetzte Ansauglöcher oder ein Einsaugen von Fremdluft und wurden konservativ als vollständiger Systemausfall gewertet. Durch die verbesserte Selbstüberwachung ging die Anzahl der in WKP beobachteten Ausfälle auf Null zurück (Tabelle 3-10). Da allerdings die generischen Zahlen mittels Superpopulationsansatz erstellt wurden und für RAS der 2. Generation nur ca. 1/3 der Beobachtungsdauer zur Verfügung steht, ist die - Zurzeit ausweisbare - mittlere generische Ausfallrate der 1. Gerätegeneration mit  $\lambda = 1,01 \text{ E-6 h}^{-1}$  besser als die Rate der 2. Generation mit  $\lambda = 9,02 \text{ E-6 h}^{-1}$ .

**Tabelle 3-10:** Ergebnisse für Rauchansaugsysteme (RAS-Systeme)

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
3	RAS (G. I, Typ A)	60	1a	3.636.000	1	2,10 E-08	2,39 E-07	1,39 E-06	4,13 E-07	5,21 E-07
6	RAS (G. I, Typ B)	91	1a	5.583.942	4	9,00 E-08	5,77 E-07	2,29 E-06	8,06 E-07	7,64 E-07
3,6	RAS (G. I)	generisch mittels AURA 2			2	7,33 E-08	6,93 E-07	2,63 E-06	1,01 E-06	1,62 E-06
5	RAS (G. II, Typ A)	6	1a	525.888	0	2,20 E-09	2,99 E-07	4,08 E-06	9,52 E-07	1,83 E-06
6	RAS (G. II, Typ B)	93	1a	2.445.714	0	4,72 E-10	6,43 E-08	8,76 E-07	2,05 E-07	3,92 E-07
5,6	RAS (G. II)	generisch mittels AURA 2			2	8,66 E-09	5,65 E-07	1,41 E-05	9,02 E-06	6,12 E-05

### 3.1.4 Handfeuermelder

Handfeuermelder (früher auch als Druckknopfmelder bezeichnet) sind nicht in allen Referenzanlagen großflächig installiert, da stattdessen auf die konkrete Alarmierung über Telefon gesetzt wird. Handfeuermelder wurden früher auf eigene Meldelinien aufgeschaltet. Heute ist eine Kombination mit automatischen Brandmeldern möglich. Innerhalb aller Vorgängervorhaben wurden nur zwei Ausfälle an Handfeuermeldern dokumentiert, die nicht mehr konkret zuzuordnen sind. Da es sich dabei offensichtlich um Melder der nicht mehr in Betrieb befindlichen Generation I handelte, werden diese Ausfälle für heutige Generationen nicht mehr gewertet. Innerhalb dieses Vorhabens wurden keine Befunde an Handfeuermeldern beobachtet, die auf einen während einer WKP festgestellten Ausfall schließen lassen. Da Handfeuermelder im Vergleich zu automatischen Meldern relativ einfach ausgeführt sind und für die Verfügbarkeit einer Meldung der Faktor Mensch eine deutlich größere Rolle spielt als die technische Verfügbarkeit, wird auf die Spezifizierung verschiedener Meldetypen verzichtet, sondern es werden alle Handfeuermelder ab der Generation II zusammen betrachtet. Deshalb wurden die generischen Daten per Superpopulationsansatz ermittelt. Für die technische Zuverlässigkeit von Handfeuermeldern liegt bezüglich der beobachteten Ausfälle aus WKP eine Null-Fehler-Statistik vor. Folgende beispielhafte Befunde an Handfeuermeldern wurden als Mängel eingestuft:

- *LED blinkt dauernd, neue Platine i. O.,*
- *defektes Gehäuse,*
- *Scheibe beschädigt.*

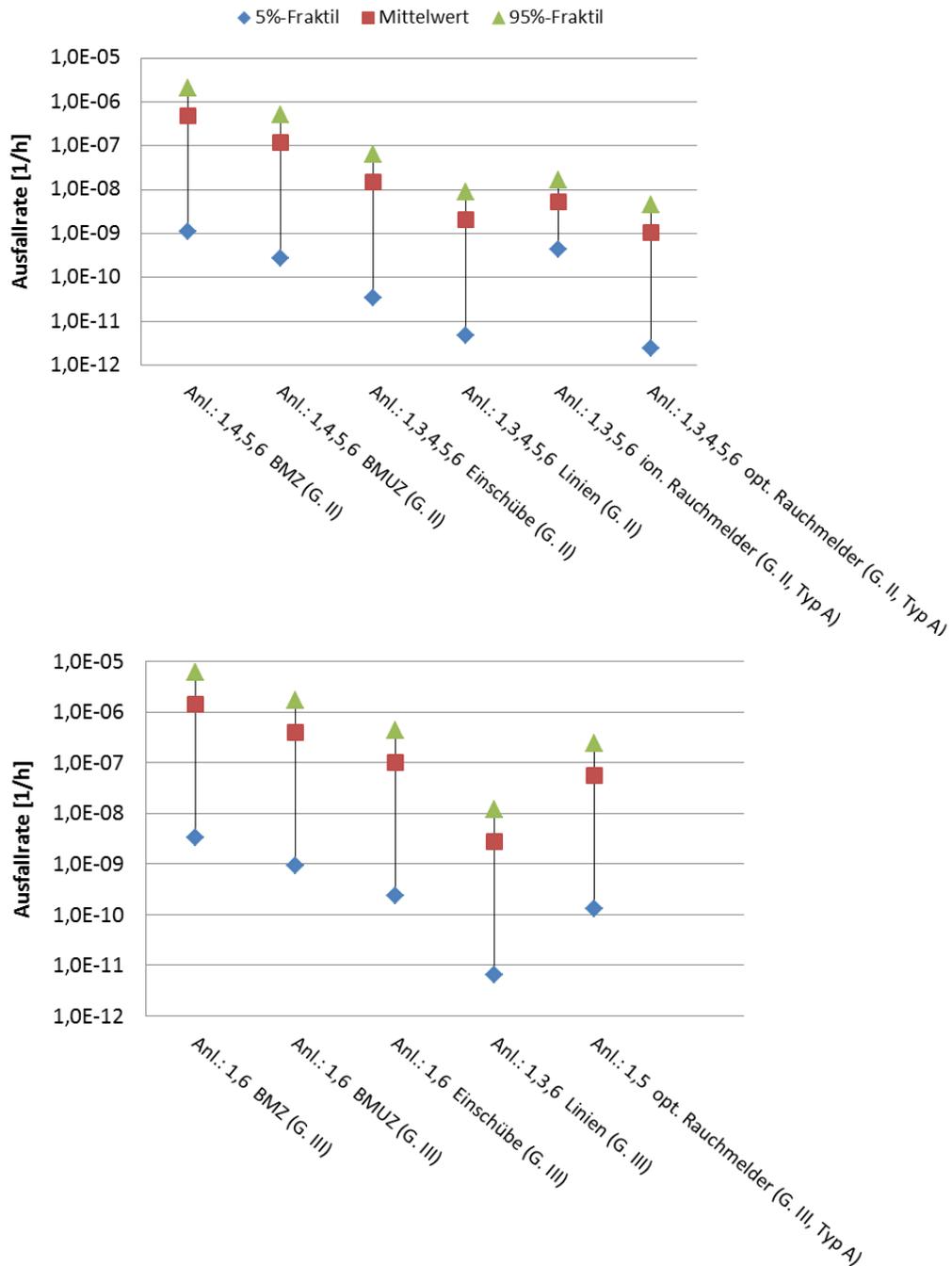
Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-11 dargestellt. Der Mittelwert der generischen Ausfallrate für Handfeuermelder beträgt  $\lambda = 7,04 \text{ E-7 h}^{-1}$ .

**Tabelle 3-11:** Ergebnisse für Handfeuermelder (Druckknopfmelder)

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
						5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Handfeuermelder	34	1a	4.506.368	0	2,56 E-10	3,49 E-08	4,76 E-07	1,11 E-07	2,13 E-07
1	Handfeuermelder	296	1a	49.362.686	0	2,34 E-11	3,19 E-09	4,34 E-08	1,01 E-08	1,94 E-08
1	Handfeuermelder	82	1a	10.808.971	0	1,07 E-10	1,46 E-08	1,98 E-07	4,63 E-08	8,88 E-08
3	Handfeuermelder	14	1a	1.492.848	0	7,74 E-10	1,05 E-07	1,44 E-06	3,35 E-07	6,43 E-07
3	Handfeuermelder	430	1a	26.111.064	0	4,42 E-11	6,03 E-09	8,21 E-08	1,92 E-08	3,68 E-08
4	Handfeuermelder	228	1a	37.189.608	0	3,11 E-11	4,23 E-09	5,76 E-08	1,35 E-08	2,58 E-08
5	Handfeuermelder	2	1a	333.072	0	3,47 E-09	4,72 E-07	6,44 E-06	1,50 E-06	2,88 E-06
6	Handfeuermelder	149	1a	12.579.210	0	9,18 E-11	1,25 E-08	1,70 E-07	3,98 E-08	7,63 E-08
1,3,4,5,6	Handfeuermelder	generisch mittels AURA 2				2,39 E-10	1,40 E-07	3,53 E-06	7,04 E-07	1,25 E-06

### 3.1.5 Abschließende Betrachtung zu Komponenten der Brandmeldeanlagen

In der Abb. 3-2 sind die generischen Ausfallraten der Komponenten von Brandmeldeanlagen der II. (oben) und III. (unten) Generation dargestellt.



**Abb. 3-2:** Grafische Darstellung der Ausfallraten der Komponenten von Brandmeldeanlagen der II. (oben) und III. (unten) Generation

Die oben im System stehenden Komponenten wie die Hauptmeldezentralen, die Unterzentralen oder die Einschübe sind nur in relativ geringen Stückzahlen vorhanden, so dass trotz vorliegender Null-Fehler-Statistiken hier die relativ höheren Ausfallraten im Vergleich zu Linien und Brandmeldern vorliegen. Die rechnerische Zuverlässigkeit des Gesamtsystems (vgl. Abb. 3-1) wird entsprechend von den Komponenten mit geringer Stückzahl besonders beeinflusst. Aus dem gleichen Grund sind für Zentralen, Unterzentralen und Einschübe der III. Generation die Ausfallraten schlechter als für die korrespondierenden Komponenten der II. Generation. Bei beiden Phänomenen handelt es sich um methodische Einflüsse.

### **3.2 Lüftungstechnische Einrichtungen**

Zu den betrachteten Lüftungstechnischen Einrichtungen zählen

- Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen (Schließfunktion im Brandfall),
- Rauch- und Wärmeabzugsklappen („Entqualmungsklappen“) sowie Bypassklappen in Kanälen (Öffnungsfunktion im Brandfall),
- Entrauchungsanlagen für Maschinenhäuser (bei SWR) (Öffnungsfunktion im Brandfall),
- natürliche Rauchabzugsgeräte aus Treppenhäusern und Fluren (Öffnungsfunktion im Brandfall).

#### **3.2.1 Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen**

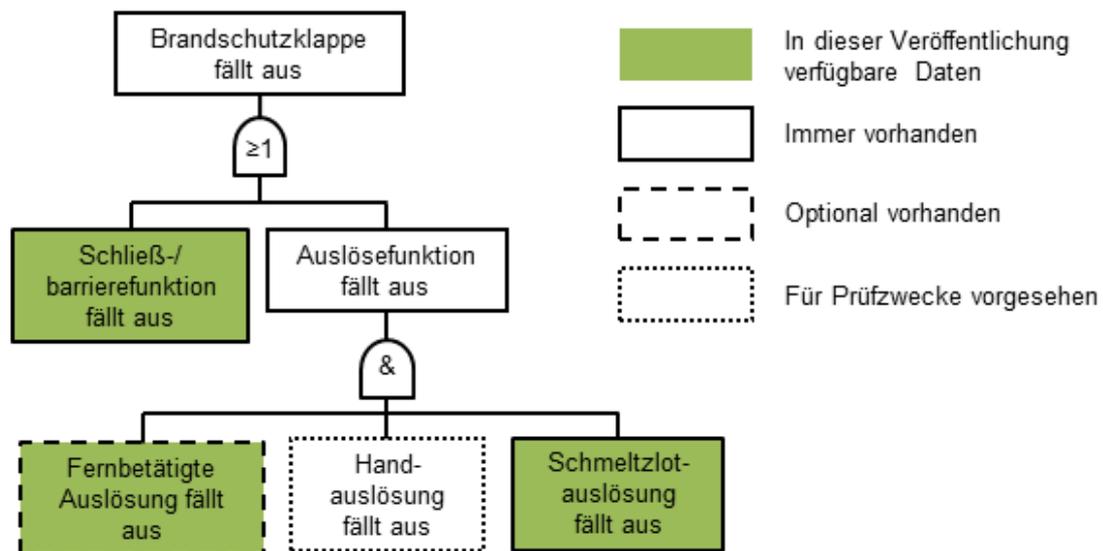
Die Brandschutzklappen (BSK) in den Referenzanlagen stammen von namhaften Herstellern. Sie verfügen über eine Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (ABZ) gemäß DIN 4102, Teil 6 /DIN 77a/ bzw. Zustimmung im Einzelfall (Z. i. E.). Vor Einführung der Zulassungspflicht wurden Brandschutzklappen mit Prüfzeichen einer amtlich zugelassenen Materialprüfanstalt eingesetzt. Mit der Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes dürfen Brandschutzklappen auch gemäß europäischen Anforderungen geprüft und zugelassen werden.

Um die verschiedenen Varianten von Brandschutzklappen angemessen modellieren zu können, wird die Gesamtfunktion einer Brandschutzklappe in eine teilweise redundante Auslösefunktion und eine Schließ-/Barrierefunktion der Klappe unterteilt und in dem Fehlerbaum der Abb. 3-3 dargestellt.

Die Auslösung einer Brandschutzklappe kann entweder durch

- die thermische Auslösung (Schmelzlotauslösung),
- die Fernauslösung (z. B. von einer Steuerstelle, der Warte oder automatisch über die Brandmeldeanlage) oder
- die Handauslösung direkt an der Brandschutzklappe (Prüffunktion)

erfolgen.



**Abb. 3-3:** Fehlerbaum einer Brandschutzklappe

Die **thermische** Auslösung wird in fast allen Fällen durch ein Schmelzlot realisiert, welches in den mit heißen Rauchgasen durchströmten Kanal hineinsteht und standardmäßig bei 72 °C schmilzt. Auf Grund der Weiterleitungsnachricht WL 1994/01 /GRS 94/ werden in den Referenzanlagen auch wiederkehrend Prüfungen der Schmelzlotauslösung durchgeführt, die in diesem Vorhaben erstmals getrennt ausgewertet wurden. Die Prüfung wird insbesondere in sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden durchgeführt. Bauaufsichtliche Zulassungen von Brandschutzklappen stellen zwar Anforderungen an die Prüfung, die eingehende Prüfung der Schmelzlotauslösung ist davon aber nicht betroffen. In sehr seltenen Fällen besaßen Brandschutzklappen in den Referenzanlagen eine thermische Auslösung mittels ESTI®-Patrone oder andere Varianten der Temperaturmessung. Diese Ausführungen wurden nicht ausgewertet, da es sich um Sonderkonstruktionen mit sehr kleinen Stückzahlen handelt.

Eine **Fernauslösung** ist bei der überwiegenden Anzahl der Brandschutzklappen vorhanden, wobei es Unterschiede in der technischen Ausführung an den Klappen gibt, für die separate Ausfallraten bestimmt wurden (Abschnitt 3.2.1.2). Die Fernauslösung erfolgt typischer Weise über die Warte und über sogenannte Ortssteuerstellen (OSS). Sie erfolgt teilweise gruppenweise z. B. für alle Brandschutzklappen eines Brandbekämpfungsabschnitts (BBA). Klappen, die zwei Brandbekämpfungsabschnitte trennen, werden durch zwei Gruppenauslösungen angesteuert. Durch die Zugehörigkeit zu zwei Gruppen und durch die Fernauslösung über Ortssteuerstelle bzw. Warte sind bei der Fernauslösung teilweise Redundanzen vorhanden. Diese Redundanzen werden bei der Bestimmung der Ausfallraten nicht berücksichtigt, d. h. die gewonnenen Ergebnisse sind diesbezüglich konservativ. Die betrachteten Ausfälle bei Fernauslösungen von Brandschutzklappen wurden, wie in den Vorgängervorhaben, immer auf die Anzahl der Klappen bezogen. Wenn nach Auslösung von einer Ortssteuerstelle (OSS)  $n$  Klappen nicht schließen, führt das zu  $n$  Ausfällen (Einzelfehlern) von Brandschutzklappen, da der eigentliche Ausfall der Ortssteuerstelle nicht modelliert wird. Bezogen auf die Brandschutzklappen lässt sich dieses Ereignis als ein gemeinsam verursachter Ausfall betrachten. Vertiefte Auswertungen konnten hierzu nicht vorgenommen werden.

Die **Handauslösung** jeder Brandschutzklappe ist über den Prüfauslöseknopf möglich, setzt aber die Zugänglichkeit einer Brandschutzklappe im Ereignisfall (richtige Wand-/Deckenseite, Einbauhöhe, Sichttrübung durch Brandrauch etc.) voraus. Verfügbarkeiten müssen einzelfallbezogen abgeschätzt werden. Ein Ausfall nur der Handauslösung bei einer Prüfung, nicht aber der Fernauslösung ist nicht dokumentiert. Deshalb wurden keine technischen Verfügbarkeiten der Handauslösung bestimmt. Es wird aber empfohlen, von der Handauslösung nur in besonderen Fällen Kredit zu nehmen. Die Handauslösung ist deshalb im Fehlerbaum (Abb. 3-3) gestrichelt gezeichnet.

In seltenen Fällen konnten Befunde bei Brandschutzklappen-Prüfungen nicht eindeutig zur Auslösefunktionen oder zur Schließ-/Barrierefunktion zugeordnet werden. Dann erfolgte konservativ eine Zuordnung zur Schließ-/Barrierefunktion, weil dort im Gegensatz zu den verschiedenen Auslösefunktionen keine Redundanz vorhanden ist.

Als Mängel ohne weitere Relevanz einer bewerteten Funktion wurden z. B. gewertet:

- Mängel bei der Kennzeichnung (Anlagenkennzeichen oder Verwendbarkeitsnachweis),

- Fehlende Rückmeldungen (Endschalter nicht erreicht, Endschalter verstellt/verbogen, Kontrolllampe defekt),
- Verschmutzung der Klappen, ohne dass ein Funktionsausfall auftrat,
- Klappe öffnet nicht,
- Brandschutzklappe lässt sich nicht mehr spannen,
- Rissbildung im Klappenblatt (Promat),
- Geräuschbildung durch die Luftströmung,
- Brandschutzklappen fallen sporadisch zu (ohne vorherige Auslösung).

Auf Grund der verschiedenen Hersteller, Ausführungsvarianten für Auslösung und Rückholung, Herstellungsgenerationen (u. a. Asbestthematik, Verwendbarkeitsnachweise), Einbauvarianten (Wand/Decke, Massiv-/Leichtbau, Vorbauklappen), Lüftungskanalquerschnitte etc. wurden eine Reihe von Konstruktionen und Ausführungen von Brandschutzklappen ausgewertet. Dabei kann es vorkommen, dass z. B. die Konstruktion der Schmelzlotauslösung mit der Fernauslösung interagiert (vgl. auch /GRS 94/). Es war im Rahmen der Auswertung nicht möglich und steht der statistischen Auswertung entgegen, die verschiedenen Konstruktionen und Ausführungen im Detail zu berücksichtigen. In der Regel sind die Ausführungen von Brandschutzklappen aber *innerhalb einer WKP* (z. B. Kontrollbereich, Nichtkontrollbereich, nachträglich errichtete Gebäude) relativ einheitlich, während *zwischen verschiedenen WKP* einer Anlage teilweise deutliche Unterschiede auftreten. Um den Aussagewert der ermittelten Daten zu verbessern, werden die Ergebnisse dann zwischen verschiedenen WKP Umfängen unterschieden.

### **3.2.1.1 Schließ-/Barrierefunktion von Brandschutzklappen**

Ausfälle der Schließ-/Barrierefunktion betreffen in den meisten Fällen die Schließfunktion, bei der das Klappenblatt nicht bzw. nicht ausreichend in den geschlossenen Zustand fährt. Eine typische Befundbezeichnung hierfür ist „*schließt nicht*“ oder „*schließt nicht vollständig*“. Falls der Befund dagegen „*verriegelt nicht*“ oder „*arretiert nicht*“ lautet, wurde dieses, ebenso wie in den Vorgängervorhaben, nur als Mangel gewertet. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch Feder- oder Gewichtskraft die Klappenblätter in ausreichend geschlossener Position gehalten werden, um einen Durchgang von heißem Rauch oder Flammen im ausreichenden Maße zu verhindern. Eine weitgehende Rauchdichtigkeit der Brandschutzklappe ist damit nicht mehr gegeben, muss

aber nach den Prüfkriterien der DIN 4102, Teil 6 /DIN 77a/ auch nicht erreicht werden. Als Gründe für das nicht oder nicht ausreichende Schließen werden vor allem

- *Verschmutzung,*
- *Korrosion,*
- *verharztes Öl,*
- *nicht ausreichende Federkraft,*
- *fehlende Schließgewichte,*
- *verbogen,*
- *blockiert,*
- *Teleflexbedienung stand nicht in Endstellung,*
- *Schwenkhebel an BSK ist ausgeklinkt und*
- *„Die BSK UVXXXXXX war trotz Verriegelung nicht weit genug geschlossen. Sie musste neu eingestellt werden“ (Sonderbewertung, da eigentlich verriegelt)*

angegeben.

Ausfälle der Barrierefunktion betreffen defekte Klappenblätter, die zwar in den geschlossenen Zustand gefahren sind, aber dennoch die Lüftungsleitung nicht ausreichend verschließen. Risse, Ausbrüche oder Brüche im Klappenblatt (typischerweise aus Kalziumsilikat, bis 1984 auch asbesthaltig) werden häufiger dokumentiert. Die Befunde sind aber häufig nicht mit brandschutztechnischen Sanierungsempfehlungen verbunden, da die Klappenblätter mehrschichtig aufgebaut sind und die Fehlstellen in den Klappenblättern nur klein sind und nicht durchgehen. Die Dokumentation solcher Befunde kann aber aus Gründen der Asbestbewertung oder zur Beobachtung des Risswachstums relevant sein. Die Autoren schließen sich dieser Auffassung an und werten derartige Befunde in der Regel als Mangel. Wenn die Befunde quantifiziert werden und auf einen signifikanten Umfang der Klappenblattbeschädigung hinweisen, werden sie als Ausfall eingestuft. Beispiele für Ausfälle sind Formulierungen wie

- *„Blatt stark beschädigt (10 x 25 cm<sup>2</sup> sowie Querrisse in den Verbundplatten - Funktionsbereitschaft nicht mehr gewährleistet)“,*
- *„Ausbruch aus einer Klappenblattecke, ca. 10 x 25 cm<sup>2</sup>“,*
- *„Quer über Klappenblatt gerissen“ und*
- *„Klappenblatt gebrochen“.*

Dokumentierte Befunde an den Dichtungen der Klappenblätter wurden als Mangel eingestuft. Sanierungsbedarf an den Dichtungen kann für ältere Klappentypen ebenfalls aus der Asbestproblematik resultieren. Befunde an der Einmörtelung der Klappe in das Umfassungsbauteil wurden ebenfalls nur als Mangel eingestuft. Fehlende elastische Anschlüsse zwischen Lüftungskanälen und Brandschutzklappe, die in Leichtbauwände eingebaut sind, traten nicht auf.

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Referenzanlagen für Schließ- und Barrierefunktion der Brandschutzklappen dargestellt. Die Ergebnisse sind nach Varianten gegliedert. Die Varianten resultieren aus der unterschiedlichen Fernauslösung von Brandschutzklappen (siehe Abschnitt 3.2.1.2). Variante „0“ bedeutet nur Schmelzlotauslösung ohne fernbetätigte Auslösung. Für die Referenzanlage 4 werden in der Tabelle 3-12 ebenfalls Daten für Teilmengen angegeben. Dabei wurden in einer Teilmenge nur Brandschutzklappen der nuklearen Lüftung (nur TL) bzw. nur Brandschutzklappen der konventionellen Lüftung bei Prüfungen mit regelmäßiger Gutachterbeteiligung (nur UV mit SV) betrachtet, damit nur wenige verschiedene Ausführungsvarianten zusammengezogen werden. Bei den Brandschutzklappen der Varianten 0, 1 und 3 verschlechtert sich das Ergebnis geringfügig, wenn zu den Gebäuden mit WKP mit regelmäßiger Gutachterbeteiligung (mit SV) zusätzlich das Maschinenhaus und die Kabelkanäle mitbetrachtet werden (PSA-Gebäude). Für nicht sicherheitstechnisch wichtige Gebäude (ohne SV) wurde eine höhere Ausfallrate beobachtet, als für die sicherheitstechnisch wichtigen Gebäude. Diese Aussagen beruhen allerdings auf einer kleinen Stichprobe. Für die Brandschutzklappen nur mit Schmelzlotauslösung (Variante 0) wurden grundsätzlich die geringsten Ausfallraten beobachtet. Dieses Ergebnis ist nachvollziehbar, da bei Klappen mit redundanter Auslösung die Auslösungen teilweise interagieren müssen. Über alle betrachteten Brandschutzklappen wurde eine generische, mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 2,51 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  bestimmt.

**Tabelle 3-12:** Ergebnisse für die Schließ- und Barrierefunktion der Brandschutzklappen (BSK)

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Var. 0 + 3	1059	1994-1997	1a	37.132.776	0	3,11 E-11	4,24 E-09	5,77 E-08	1,35 E-08	2,59 E-08
1	Var. 0	83	1998-2012	1a	10.914.168	0	1,06 E-10	1,44 E-08	1,96 E-07	4,59 E-08	8,79 E-08
1	Var. 3	641	1998-2012	1a	84.288.936	16	2,77 E-08	1,54 E-07	5,06 E-07	1,96 E-07	1,57 E-07
1	Var. 0 + 3	724	1998-2012	1a	95.203.104	16	2,45 E-08	1,37 E-07	4,48 E-07	1,73 E-07	1,39 E-07
1*	Var. 0 + 3	795	1994-2012	1a	132.336.303	16	1,76 E-08	9,83 E-08	3,22 E-07	1,25 E-07	1,00 E-07
3	Var. 2	539	2000-2012	1a	61.423.362	36	8,84 E-08	4,78 E-07	1,49 E-06	5,94 E-07	4,58 E-07
3	Var. 0 + 3	923	2000-2012	1a	105.183.234	20	2,81 E-08	1,55 E-07	5,00 E-07	1,95 E-07	1,54 E-07
3	Var. 0 + 2 + 3	1462	2000-2012	1a	166.606.596	56	5,10 E-08	2,75 E-07	8,44 E-07	3,39 E-07	2,58 E-07
4	Var. 0 + 1 (nur TL)	89	1995-2010	1a	10.923.504	1	6,98 E-09	7,95 E-08	4,64 E-07	1,37 E-07	1,73 E-07
4	Var. 3 (nur UV mit SV)	309	1995-2010	1a	43.339.104	14	4,66 E-08	2,62 E-07	8,70 E-07	3,34 E-07	2,72 E-07
4	Var. 0 + 1 + 3 (mit SV)	398	1995-2010	1a	54.262.608	15	4,01 E-08	2,24 E-07	7,40 E-07	2,86 E-07	2,31 E-07
4	Var. 0 + 1 + 3 (PSA-Gebäude)	430	1995-2010	1a	56.743.386	20	5,20 E-08	2,87 E-07	9,27 E-07	3,61 E-07	2,86 E-07
4	Var. 0 (ohne SV)	155	1995-2010	1a	12.666.870	13	1,48 E-07	8,32 E-07	2,78 E-06	1,07 E-06	8,70 E-07
4	Var. 0 + 1 + 3	553	1995-2010	1a	66.929.478	28	6,28 E-08	3,41 E-07	1,08 E-06	4,26 E-07	3,32 E-07
5	Var. 0	401	1993-2001	1a	31.634.088	0	3,65 E-11	4,97 E-09	6,78 E-08	1,58 E-08	3,03 E-08
5	Var. 0	193	2002-2011	3m/1a	16.916.064	3	2,08 E-08	1,44 E-07	6,09 E-07	2,07 E-07	2,07 E-07
5*	Var. 0	292	1993-2011	1a	48.550.152	3	7,26 E-09	5,01 E-08	2,12 E-07	7,21 E-08	7,20 E-08
5	Var. 1	330	1993-2001	1a	26.033.040	10	5,42 E-08	3,11 E-07	1,06 E-06	4,03 E-07	3,37 E-07

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
5	Var. 1	314	2002-2011	3m/1a	27.521.472	1	2,77 E-09	3,16 E-08	1,84 E-07	5,45 E-08	6,88 E-08
5*	Var. 1	310	1993-2011	1a	53.554.512	11	2,93 E-08	1,66 E-07	5,63 E-07	2,15 E-07	1,78 E-07
5	Var. 0 + 1	731	1993-2001	1a	57.667.128	10	2,45 E-08	1,40 E-07	4,80 E-07	1,82 E-07	1,52 E-07
5	Var. 0 + 1	507	2002-2011	3m/1a	44.437.536	4	1,13 E-08	7,25 E-08	2,88 E-07	1,01 E-07	9,60 E-08
5*	Var. 0 + 1	613	1993-2011	3m/1a	102.104.098	14	1,98 E-08	1,11 E-07	3,69 E-07	1,42 E-07	1,15 E-07
5	Var. 4	44	2002-2011	3m/1a	3.856.512	5	1,69 E-07	1,04 E-06	3,96 E-06	1,43 E-06	1,30 E-06
6	Var. 0 + 1 + 3	346	2001-2010	6m	30.106.827	3	1,17 E-08	8,07 E-08	3,42 E-07	1,16 E-07	1,16 E-07
6	Var. 4	30	2001-2010	6m	2.498.310	0	4,62 E-10	6,30 E-08	8,58 E-07	2,00 E-07	3,84 E-07
6	Var. 0 + 1 + 3 + 4	376	2001-2010	6m	32.605.137	3	1,08 E-08	7,45 E-08	3,16 E-07	1,07 E-07	1,07 E-07
1,4,5	Var. 0				generisch mittels AURA 2	2	7,40 E-10	2,73 E-07	5,30 E-06	1,67 E-06	7,13 E-06
4,5	Var. 1				generisch mittels AURA 2	2	2,54 E-08	1,94 E-07	5,90 E-07	2,50 E-07	2,75 E-07
1,4	Var. 3				generisch mittels AURA 2	2	9,08 E-08	2,61 E-07	6,65 E-07	3,03 E-07	1,58 E-07
5,6	Var. 4				generisch mittels AURA 2	2	1,44 E-08	8,69 E-07	8,48 E-06	4,34 E-06	2,38 E-05
1,3,4,5,6	Alle BSK				generisch mittels AURA 2	2	3,91 E-08	2,10 E-07	6,07 E-07	2,51 E-07	8,88 E-08

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.2.1.2 Fernauslösefunktion

Die Prüfung der Fernauslösefunktion betrifft den vollständigen Signalweg von der auslösenden Stelle (z. B. Warte, Ortssteuerstelle oder direkt einem automatischen Brandmelder) bis hin zur Ansteuerung des Klappenblatts. Wie bereits oben geschildert, werden die Ausfälle auf die Anzahl der Brandschutzklappen bezogen, obwohl der Fehler sich auch an der auslösenden Stelle ereignen kann. Die Aussagekraft der Unterlagen aus WKP lässt in den meisten Fällen aber keine genaue Lokalisierung eines Befunds zu.

Die Fernauslösung wird an den Brandschutzklappen mit unterschiedlichen technischen Ausführungen umgesetzt. Dabei existieren in einer Anlage häufig verschiedene Ausführungen innerhalb und außerhalb des Kontrollbereichs. In nicht sicherheitstechnisch wichtigen Bereichen oder Gebäuden werden häufiger auch Klappen ohne Fernauslösung eingesetzt. Folgende Ausführungen wurden in den Referenzanlagen in größeren Stückzahlen vorgefunden (sortiert nach Kontroll-/Nichtkontrollbereich und nach Häufigkeit):

#### Ausführungen innerhalb des Kontrollbereichs

- Variante 1:  
BSK mit elektro-pneumatischer Auslösung (Auslösung durch Druckabfall im Pneumatikzylinder nach Schließen eines 3/2-Wege-Magnetventils im Ruhestromprinzip) (Referenzanlagen 4, 5, 6)
- Variante 2:  
Brandschutzklappen mit elektromagnetischer Fernauslösung über Hubmagnet (Arbeitsstromprinzip) und pneumatischer Öffnungshilfe (Referenzanlage 3)
- Variante 3:  
Brandschutzklappen mit elektromagnetischer Fernauslösung über Hubmagnet (Arbeitsstromprinzip) (Referenzanlage 1))

#### Ausführungen außerhalb des Kontrollbereichs

- Variante 3:  
Brandschutzklappen mit elektromagnetischer Fernauslösung über Hubmagnet

(Arbeitsstromprinzip) (Referenzanlagen 1, 3, 4 bis auf Notstandssystem, 6)), teilweise mit Rückholung über Teleflexhebel

– Variante 1:

BSK mit elektro-pneumatischer Auslösung (Auslösung durch Druckabfall im Pneumatikzylinder nach Schließen eines 3/2-Wege-Magnetventils im Ruhestromprinzip) (Referenzanlage 4 (Notstandssystem), 5 (bis auf Notstandssystem))

– Variante 4:

Auslösung über Haftmagnet (Ruhestromprinzip) (Referenzanlage 5 geringe Anzahl (Notstandssystem), 6 geringe Anzahl (Notstandssystem))

Die Ausführung der Auslösung mittels Arbeitsstromprinzip wurde gewählt, damit nicht im kurzzeitigen Spannungsausfall alle Brandschutzklappen zufallen und dadurch wärmetechnische Probleme in den Anlagenräumen auftreten können. In heutiger Zeit werden Hubmagnete für ausgetauschte bzw. zusätzliche Klappen nicht mehr verwendet, sondern es werden Haftmagnete (Variante 4) oder in geringen Stückzahlen Federrückstellmotoren (Ruhestromprinzip) eingesetzt. Die Zahl der eingebauten BSK mit Federrückstellmotor ist gering und die genauen Daten der Inbetriebsetzung sind schwer recherchierbar, so dass für diese Ausführungen keine Ausfallraten bestimmt werden konnten.

Folgende Befunde wurden beispielhaft als Ausfall der Fernauslösung gewertet:

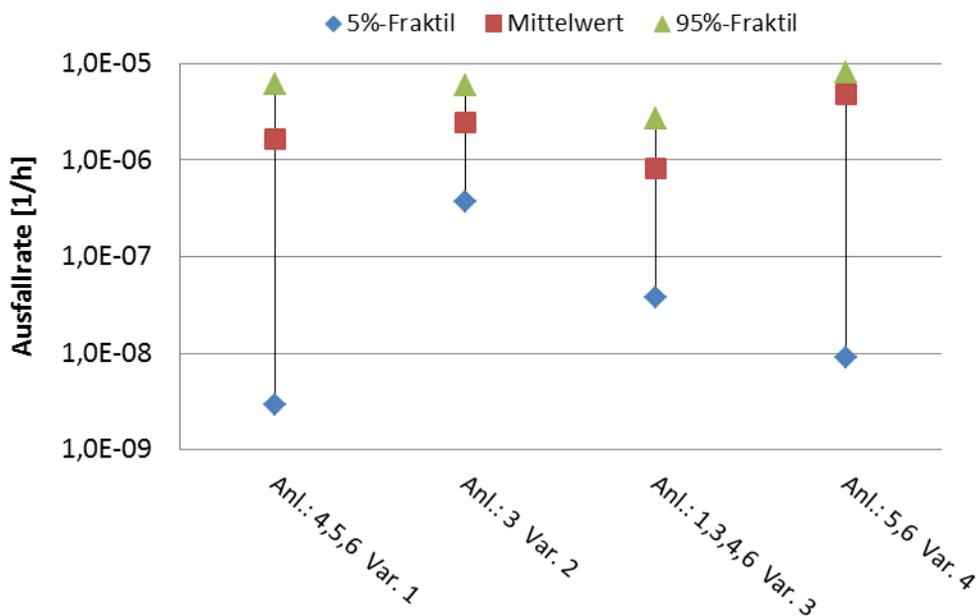
- *„BSK schließt nicht über Fernauslösung“*,
- *„Elektrische Auslösung nicht funktionsfähig“*,
- *„Defekte Baugruppe am Leitstand führt zur Nichtauslösung UVXXX, YYY, ZZZ“*,
- *„UVXXX, YYY, ZZZ Klappen bei Wartenprüfung nicht gefallen“*,
- *„Bei der BSK UVXXXX war der Hubmagnet defekt und wurde ausgetauscht“*,
- *„BSK bleibt nach Auslösung des Brandabschnittes XXXXX in "OFFEN"-Stellung stehen.“*

Mängel im Bereich der Fernauslösung betrafen die fehlende Rückmeldung, z. B. aufgrund:

- verbogener oder fehlender Endschalter,
- defekter Kontrolllampen an Ortssteuerstellen etc.

Die Ergebnisse der Ausfallraten der verschiedenen Fernauslösungen sind in Tabelle 3-13 dargestellt. Für die Referenzanlage 4 sind wieder Daten für Teilmengen angegeben. Bei der Variante 1, alle Brandschutzklappen kam es zu 27 Ausfällen. Dabei sind 16 Ausfälle enthalten, die durch einen gleichzeitigen Ausfall der Auslösung von einem Leitstand auftraten, so dass sich die Ausfallrate signifikant erhöht hat. Die übrigen betrachteten Teilmengen führen zu keinen relevanten Unterschieden.

Über alle betrachteten Brandschutzklappen wurden generische, mittlere Ausfallraten von  $\lambda = 1,66 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$  für die BSK mit elektro-pneumatischer Auslösung (Variante 1),  $\lambda = 8,22 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  für die BSK mit elektromagnetischer Fernauslösung über Hubmagnet (Variante 3) und  $\lambda = 4,82 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$  für die Brandschutzklappen mit Haftmagnet (Ruhestromprinzip) (Variante 4) bestimmt. Für die Variante 2 liegen nur Daten der Referenzanlage 3 vor. Die grafische Darstellung der Ausfallraten (Abb. 3-4) zeigt, dass die mittleren Ausfallraten der verschiedenen Ausführungsvarianten innerhalb einer Größenordnung liegen, sich aber wegen der verschiedenen Beobachtungszeiträume unterschiedliche Unsicherheiten ergeben. Die kernkraftwerkspezifischen Varianten 2 und 3, die auf dem veralteten Arbeitsstromprinzip basieren, führen im Vergleich zu den Varianten nach dem Stand der Technik nicht zu höheren Ausfallraten. Ein Grund dafür ist, dass die Ausfälle nicht nur am Schaltelement an einer Brandschutzklappe, sondern am gesamten Signalweg auftreten.



**Abb. 3-4:** Grafische Darstellung der generischen bzw. für Variante 2 spezifischen Ausfallraten der verschiedenen Fernauslösungen

**Tabelle 3-13:** Ergebnisse für die Fernauslösfunktion der Brandschutzklappen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Var. 3	641	1994-1997	1a	22.476.024	1	3,39 E-09	3,87 E-08	2,25 E-07	6,67 E-08	8,42 E-08
1	Var. 3	641	1998-2012	1a	84.288.936	8	1,32 E-08	7,64 E-08	2,70 E-07	1,01 E-07	8,64 E-08
1*	Var. 3	641	1994-2012	1a	106.764.960	9	1,18 E-08	6,81 E-08	2,36 E-07	8,89 E-08	7,53 E-08
3	Var. 2	539	2000-2012	1a	61.423.362	148	3,69 E-07	1,98 E-06	5,96 E-06	2,42 E-06	1,81 E-06
3	Var. 3	345	2000-2012	1a	39.315.510	30	1,15 E-07	6,23 E-07	1,96 E-06	7,75 E-07	6,02 E-07
3	Var. 2 + 3	884	2000-2012	1a	100.738.872	178	2,71 E-07	1,45 E-06	4,37 E-06	1,77 E-06	1,33 E-06
4	Var. 1 (nur nuklear)	76	1995-2010	6m	9.327.936	4	5,39 E-08	3,46 E-07	1,37 E-06	4,82 E-07	4,57 E-07
4	Var. 1 (alle)	152	1995-2010	6m	19.987.392	27	2,03 E-07	1,10 E-06	3,49 E-06	1,38 E-06	1,07 E-06
4	Var. 3 (mit SV)	221	1995-2010	1a	30.996.576	28	1,36 E-07	7,36 E-07	2,33 E-06	9,19 E-07	7,16 E-07
4	Var. 1 + Var. 3	373	1995-2010	6m/1a	50.983.968	55	1,64 E-07	8,83 E-07	2,71 E-06	1,09 E-06	8,29 E-07
4	Var. 1+3(PSA Geb.)	404	1995-2010	6m/1a	53.394.618	56	1,59 E-07	8,58 E-07	2,63 E-06	1,06 E-06	8,05 E-07
5	Var. 1	330	1993-2001	1a	26.033.040	2	7,88 E-09	6,29 E-08	2,96 E-07	9,60 E-08	1,04 E-07
5	Var. 1	314	2002-2011	3m/1a	27.521.472	0	4,20 E-11	5,72 E-09	7,79 E-08	1,82 E-08	3,49 E-08
5*	Var. 1	322	1993-2011	3m/1a	53.554.472	2	3,83 E-09	3,06 E-08	1,44 E-07	4,67 E-08	5,06 E-08
5	Var. 4	44	2002-2011	3m/1a	3.856.512	4	1,30 E-07	8,36 E-07	3,32 E-06	1,17 E-06	1,11 E-06
6	Var. 1	107	2001-2010	6m	9.379.620	4	5,36 E-08	3,44 E-07	1,37 E-06	4,80 E-07	4,55 E-07
6	Var. 3	101	2001-2010	6m	8.853.660	7	1,08 E-07	6,35 E-07	2,29 E-06	8,47 E-07	7,38 E-07
6	Var. 4	30	2001-2010	6m	2.498.310	0	4,62 E-10	6,30 E-08	8,58 E-07	2,00 E-07	3,84 E-07
4,5,6	Var. 1				generisch mittels AURA 2		2,93 E-09	4,75 E-07	6,12 E-06	1,66 E-06	4,75 E-06
1,3,4,6	Var. 3				generisch mittels AURA 2		3,75 E-08	5,55 E-07	2,66 E-06	8,22 E-07	5,79 E-07
5,6	Var. 4				generisch mittels AURA 2		9,09 E-09	7,52 E-07	7,99 E-06	4,82 E-06	2,99 E-05

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.2.1.3 Thermische Auslösung (Schmelzlotauslösung)

Auf Grund der Weiterleitungsnachricht /GRS 94/ werden in den Referenzanlagen auch wiederkehrend Prüfungen der Schmelzlotauslösung durchgeführt, die in diesem Vorhaben erstmals getrennt ausgewertet wurden. Ausfälle der Schmelzlotauslösung beziehen sich nicht auf das Schmelzen des Lotes, sondern auf die dadurch ausgelöste Mechanik. Das Schmelzen des Lotes wird deshalb durch Aushängen simuliert oder es wird mit einem Heißluftfön tatsächlich zum Schmelzen gebracht. Dabei wird laut Gutachteraussagen die Prüfung mit Heißluftfön als realistischer betrachtet, da beim Aushängen des Schmelzlotes bereits eine Bewegung an der Auslösemechanik stattfindet, durch die mögliche Blockierungen gelöst werden können.

Die Prüfung der Schmelzlotauslösung durch Aushängen wird in den Referenzanlagen 1, 3 und 5 innerhalb der herkömmlichen Handauslösung vorgenommen. In den Anlagen 4 und 6 existiert eine eigene WKP, wobei jährlich 10 % der Brandschutzklappen mittels Heißluftfön geprüft werden.

Die Befundbeschreibungen zu den Prüfungen der Schmelzlotauslösung sind relativ eindeutig wie

- *„keine Schmelzlotauslösung“*,
- *„keine Schmelzlotauslösung wegen Verschmutzung“*,
- *„keine Schmelzlotauslösung wegen blockierter beweglicher Haltescheibe“*,
- *„keine Schmelzlotauslösung wegen Korrosion der Druckfeder“*,
- *„Schmelzlot-Prüfung wegen schwergängigem Auslösebolzen ohne Funktion. Auslösebolzen wurde gereinigt, und geschmiert - die anschließende Nachprüfung war i.O.“*
- *„keine Lotauslösung, da Auslösung verkalkt durch oberhalb der Klappe installierten Luftbefeuchter“*
- *„Schmelzlotauslösung nicht möglich; elektrische Auslösung i. O.“*
- *„Keine Schmelzlotauslösung auf Grund von gelockertem Absperrklappenhalter und keine Klappenblattverriegelung; beide Abweichungen wurden im Zuge der WKP beseitigt.“*

- „BSK XXX löste bei der Schmelzlotprüfung nicht aus. BSK-Auslösebolzen wurde mehrmals betätigt und geschmiert die anschließende Schmelzlotprüfung funktionierte ohne Mängel.“,
- „BSK XXX - Keine Schmelzlotauslösung; Auslösebolzen und Haltescheibe poliert; Pneumatikzylinder - Luftdrossel nachgestellt -> i.O.“,
- „BSK XXX - Keine Schmelzlotauslösung; Absperrklappenhalter nachjustiert -> i.O.“,
- „BSK XXX - Klappe löste bei Schmelzlotauslösung nicht aus. Absperrklappenhalter war verbogen und wurde ausgerichtet und eingestellt“ und
- „Auslöseeinrichtung gereinigt und Druckfeder getauscht“ (Befund führte zur Rückfrage; Ausfall wurde durch Betreiber bestätigt).

Sollten sich Ausfälle nicht eindeutig der Schmelzlotauslösung zuordnen lassen, wurden diese im Zweifelsfall konservativ der nicht-redundanten Schließfunktion zugeordnet.

In der Tabelle 3-14 werden die Ergebnisse der Referenzanlagen für Schmelzlotauslösung dargestellt. Die Ergebnisse sind teilweise nach Untergruppen für verschiedene Kombinationen von Auslösevarianten gegliedert. Aus der Weiterleitungsnachricht /GRS 94/ und den anlagenbezogenen Rückflüssen ist bekannt, dass Ausfälle der Schmelzlotauslösung in Verbindung mit der jeweiligen Fernauslösung stehen können, da die Auslösemechanismen an einer Brandschutzklappe teilweise nicht vollständig entkoppelt sind. Dieser Effekt wird bei den Referenzanlagen 4 und 5 deutlich, bei denen im Zusammenhang mit der Auslösungsvariante 1 eine sehr geringe Ausfallrate beobachtet wurde.

Unterschiede in der Prüfdurchführung mit Heißluftfön (10 jähriger Rhythmus) bzw. durch Aushängen (1 jähriger Rhythmus) führen zu keinen signifikant veränderten Ausfallraten. Bei der Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (vgl. Kap. 4) ist allerdings das längere Prüfintervall zu berücksichtigen.

Der Vergleich der generischen Ausfallraten zeigt für Brandschutzklappen der Variante 0 eine mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 1,97 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  und für alle Brandschutzklappen den Wert von  $\lambda = 4,83 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$ . Die geringere Ausfallrate der Variante 0 ist nachvollziehbar, da Ausfälle der Schmelzlotauslösung auch durch die unvollständige mechanische Entkopplung der Schmelzlotauslösung von der Fernauslösung entstehen können /GRS 94/.

**Tabelle 3-14:** Ergebnisse für die Schmelzlotauslösung der Bandschutzklappen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Var. 0	83	1998-2012	1a	10.914.168	0	1,06 E-10	1,44 E-08	1,96 E-07	4,59 E-08	8,79 E-08
1	Var. 3	641	1998-2012	1a	84.288.936	0	1,37 E-11	1,87 E-09	2,54 E-08	5,94 E-09	1,14 E-08
1	Var. 0 + 3	724	1998-2012	1a	95.203.104	0	1,21 E-11	1,65 E-09	2,25 E-08	5,26 E-09	1,01 E-08
3	Var. 2	539	2000-2012	1a	61.423.362	89	2,20 E-07	1,19 E-06	3,61 E-06	1,46 E-06	1,10 E-06
3	Var. 0 + 3	923	2000-2012	1a	39.315.510	9	3,21 E-08	1,85 E-07	6,41 E-07	2,42 E-07	2,04 E-07
3	Var. 0 + 2 + 3	1462	2000-2012	1a	100.738.872	98	1,47 E-07	7,91 E-07	2,40 E-06	9,68 E-07	7,29 E-07
4	Var. 1	81	1995-2010	10a	12.447.720	0	9,28 E-11	1,26 E-08	1,72 E-07	4,02 E-08	7,71 E-08
4	Var. 0 + 3	362	1995-2010	10a	48.300.660	16	4,83 E-08	2,69 E-07	8,82 E-07	3,41 E-07	2,75 E-07
4	Var. 0 + 1 + 3	443	1995-2010	10a	60.748.380	16	3,84 E-08	2,14 E-07	7,01 E-07	2,72 E-07	2,18 E-07
5	Var. 0	465	2002-2011	1a	40.756.320	4	1,23 E-08	7,91 E-08	3,14 E-07	1,10 E-07	1,05 E-07
5	Var. 1	314	2002-2011	1a	27.521.472	1	2,77 E-09	3,16 E-08	1,84 E-07	5,45 E-08	6,88 E-08
5	Var. 4	44	2002-2011	1a	3.856.512	2	5,32 E-08	4,24 E-07	2,00 E-06	6,48 E-07	7,03 E-07
5	Var. 0 + 1 + 4	465	2002-2011	1a	40.756.320	7	2,35 E-08	1,38 E-07	4,96 E-07	1,84 E-07	1,60 E-07
6	Var. 0 + 1 + 3 + 4	276	2001-2010	10a	24.194.160	4	2,08 E-08	1,33 E-07	5,29 E-07	1,86 E-07	1,76 E-07
1, 5	Var. 0					generisch mittels AURA 2	4,43 E-09	9,72 E-08	4,85 E-07	1,97 E-07	5,59 E-07
1,3,4,5,6	Alle BSK					generisch mittels AURA 2	1,54 E-09	2,07 E-07	2,00 E-06	4,83 E-07	5,85 E-07

### 3.2.2 Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen

Räume insbesondere der Schaltanlagegebäude werden im Brandfall über Rauch- und Wärmeabzugsklappen (sogenannte „Entqualmungsklappen“) in Betonkanälen entraucht und die Zuluftzufuhr über sogenannte Bypassklappen erhöht. Bei den Rauch- und Wärmeabzugsklappen handelt es sich um modifizierte Brandschutzklappen mit Öffnungsfunktion per Fernsteuerung. Die wesentliche Modifizierung besteht darin, dass die Brandschutzklappen im Normalfall verschlossen sind und im Anforderungsfall öffnen, um den heißen Brandrauch abzuführen. Die Bypassklappen (häufig Jalousieklappen) werden ebenfalls fernausgelöst.

In einigen Referenzanlagen (4, 6) erfolgt das Öffnen der Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen manuell über Teleflexhebel. In der Referenzanlage 3 erfolgt das Öffnen fernausgelöst über einen Hubmagneten.

In Referenzanlage 5 erfolgt die Öffnung der Entqualmungsklappen pneumatisch nach Schaltung eines Magnetventils im Arbeitsstromprinzip. Bei hohen Temperaturen, Druckabfall durch Schlauchleckagen oder Versagen der Magnetventile im Brandfall schließen die Entqualmungsklappen wieder, da der Entrauchungskanal nicht gegen Vollbrandtemperaturen ausgelegt ist.

Da die Dokumentationstiefe der Prüfungen von Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen nicht so detailliert ist wie bei Brandschutzklappen, wurden hier keine Teilfunktionen ausgewertet. Die Fernauslöse- und Öffnungsfunktion wurde deshalb bei Klappen mit Fernauslösung gemeinsam betrachtet. Es kann davon ausgegangen werden, dass unter den Bedingungen eines Feuerwehreinsatzes mit entsprechendem Zeitverzug praktisch jede Rauch- und Wärmeabzugsklappe sowie Bypassklappe geöffnet werden kann.

Die Prüfung der Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen findet in der Regel innerhalb der WKP der Brandschutzklappen statt. Die Einstufung der Befunde bzgl. Mangel oder Ausfall war für Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen relativ eindeutig. Im Vergleich zu Brandschutzklappen traten bei den meisten Anlagen weniger Ausfälle auf, was möglicher Weise darauf zurückzuführen ist, dass

diese Klappen im Normalzustand nicht durchströmt und damit auch nicht verschmutzt werden.

Typische Befunde, die als Ausfall gewertet wurden, waren

- *Versagen von Hubmagneten,*
- *Schwergängigkeiten,*
- *Blockade des Gestänges,*
- *„Klappe öffnete nicht nach Öffnen der Führungsklappe“.*

Falls die Klappen im Öffnungszustand nicht arretierten, wurde dieses nur als Mangel bewertet.

Die Ergebnisse für die Auslösung und Öffnungsfunktion von Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen sind in Tabelle 3-15 dargestellt. Die generische mittlere Ausfallrate aller Klappen der Referenzanlagen beträgt  $\lambda = 1,92 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabelle 3-15:** Ergebnisse für die Auslösung und Öffnungsfunktion von Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
1	Bypass- & Entr.Klappen	19	1994-1997	1a	666,216	0	1,73 E-09	2,36 E-07	3,22 E-06	7,52 E-07	1,44 E-06	
1	Bypass- & Entr.Klappen	29	1998-2012	1a	3,813,384	13	4,91 E-07	2,76 E-06	9,23 E-06	3,54 E-06	2,89 E-06	
1*	Bypass- & Entr.Klappen	27	1994-2012	1a	4,479,587	13	4,18 E-07	2,35 E-06	7,86 E-06	3,01 E-06	2,46 E-06	
3	Bypass- & Entr.Klappen	94	1988-1994	1a	5,768,592	13	3,25 E-07	1,83 E-06	6,10 E-06	2,34 E-06	1,91 E-06	
3	Entrauchungsklappen	62	2000-2012	1a	7,066,512	23	4,84 E-07	2,65 E-06	8,49 E-06	3,32 E-06	2,61 E-06	
3	Bypassklappen	38	2000-2012	1a	4,331,088	0	2,67 E-10	3,63 E-08	4,95 E-07	1,16 E-07	2,22 E-07	
3	Bypass- & Entr.Klappen	100	2000-2012	1a	11,397,600	23	3,00 E-07	1,64 E-06	5,26 E-06	2,06 E-06	1,62 E-06	
3*	Bypass- & Entr.Klappen	98	1988-2012	1a	17,166,192	36	3,16 E-07	1,71 E-06	5,33 E-06	2,13 E-06	1,64 E-06	
4	Bypass- & Entr.Klappen	112	1988-1994	1a	6,873,216	2	2,98 E-08	2,38 E-07	1,12 E-06	3,64 E-07	3,94 E-07	
4	Bypass- & Entr.Klappen	112	1995-2010	1a	15,708,672	1	4,85 E-09	5,53 E-08	3,22 E-07	9,55 E-08	1,21 E-07	
4*	Bypass- & Entr.Klappen	112	1988-2010	1a	22,581,888	3	1,56 E-08	1,08 E-07	4,56 E-07	1,55 E-07	1,55 E-07	
5	Bypass- & Entr.Klappen	59	2002-2011	1a	5,171,232	1	1,47 E-08	1,68 E-07	9,79 E-07	2,90 E-07	3,66 E-07	
6	Bypass- & Entr.Klappen	28	2001-2010	6m	2,454,144	0	4,71 E-10	6,41 E-08	8,73 E-07	2,04 E-07	3,91 E-07	
1,3,4,5,6	Bypass- & Entr.Klappen	generisch mittels AURA 2						3,95 E-08	1,22 E-06	6,58 E-06	1,92 E-06	1,45 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.2.3 Entrauchungsanlagen der Maschinenhäuser (SWR)

Da die Maschinenhäuser bei Siedewasseranlagen zum Kontrollbereich zählen, sind hier in zwei Referenzanlagen besondere Entrauchungsanlagen vorhanden. In der Referenzanlage 6 wurde ein System, bestehend aus drei in den Maschinenhauswänden befindlichen Entrauchungsklappen und drei Entrauchungsventilatoren, nachgerüstet. Für alle Komponenten wurden in den Jahren 2005 bis 2010 keine Befunde dokumentiert. Bei relativ kurzer Beobachtungsdauer ergibt sich eine mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 3,17 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ .

Die Referenzanlage 3 verfügt über Rauchabzugsöffnungen im Maschinenhausdach, die bei größeren Bränden im Maschinenhaus geöffnet werden können. Hierzu sind an den beiden Dächern jeweils 48 pneumatisch betätigte Klappen in drei parallelen Reihen mit je 16 Klappen angeordnet. Jeweils fünf oder sechs der Klappen werden über ein gemeinsames von insgesamt neun Pneumatikventilen angesteuert. Aufgrund des Aufbaus der Anlage sind Ausfälle einzelner Klappen unbedeutend. Deshalb wurden Ausfälle auf die Pneumatikventile bezogen und hierfür Ausfallraten bestimmt.

Befunde betrafen:

- verschiedentlich Undichtigkeiten des Systems,
- fehlende elektrische Rückmeldungen der Klappenstellungen,
- Pneumatikzylinder, die nicht in Zu-Stellung fahren.

Nach Auskunft des Betreibers führte keine der dokumentierten Undichtigkeiten an Ventilen, Leitungen oder Zylindern zu einem Ausfall der Funktion. Deshalb liegt eine Null-Fehler-Statistik vor. Für die gesamte Beobachtungsdauer liegt eine mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 7,63 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  vor.

Die Ergebnisse für die Auslösung und Öffnungsfunktion von Entrauchungsanlagen der Maschinenhäuser (SWR) sind in Tabelle 3-16 dargestellt.

**Tabelle 3-16:** Ergebnisse für Entrauchungsanlagen der Maschinenhäuser (SWR)

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
3	Steuerventil	18	1988-1994	3B	1.104.624	2	1,86 E-07	1,48 E-06	6,98 E-06	2,26 E-06	2,45 E-06
3	Steuerventil	18	2000-2013	3B	2.169.504	0	5,32 E-10	7,25 E-08	9,88 E-07	2,31 E-07	4,42 E-07
3*	Steuerventil	18	1988-2013	3B	3.274.128	2	6,26 E-08	5,00 E-07	2,35 E-06	7,63 E-07	8,28 E-07
6	E-Klappen	3	2005-2010	1B	157.788	0	7,32 E-09	9,97E-07	1,36E-05	3,17 E-06	6,08 E-06
6	Ventilatoren	3	2005-2010	1B	157.788	0	7,32 E-09	9,97E-07	1,36E-05	3,17 E-06	6,08 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.2.4 Natürliche Rauchabzugsgeräte in Treppenhäusern und Fluren

In den Dächern der Treppenhäuser der Schaltanlagegebäude befinden sich in mehreren Anlagen natürliche Rauchabzugsgeräte verschiedener Bauart. Daneben werden Rauchabzugsgeräte auch in den Treppenhäusern und Fluren anderer Gebäude betrieben. Teilweise sind die Rauchabzugsgeräte auch im Wandeinbau vorhanden. Die Auslösung der Rauchabzüge kann durch einen Rauchmelder oder Handtaster erfolgen. Die Antriebsart der Geräte ist pneumatisch oder elektromotorisch. Im Rahmen des Vorhabens und wegen der geringen Stückzahl der Geräte wurde nur eine Unterscheidung in Dach- oder Wandeinbau vorgenommen.

Mängel an den Geräten betrafen z. B.

- Leichte Leckagen der Steuerleitung oder
- Hängenbleiben einer aufgefahrenen Klappe.

Als Ausfälle an den Rauchabzugsgeräten wurden z. B.

- entleerte CO<sub>2</sub>-Patronen, bzw. Leckagen in der Steuerleitung,
- verspannte Klappen von Rauchabzügen, die elektrisch zu fest zugefahren wurden, und
- Ausfälle der Seilzüge bzw. der Seilzugführungen

gewertet.

Die Ergebnisse der Auswertungen von Rauchabzugsgeräten in Decken oder Wänden sind in Tabelle 3-17 dargestellt. Die generische mittlere Ausfallrate für Rauchabzugsgeräte im Deckeneinbau (Lichtkuppeln) beträgt  $\lambda = 2,80 \text{ E-06 h}^{-1}$  und  $\lambda = 5,17 \text{ E-06 h}^{-1}$  für Geräte im Wandeinbau.

**Tabelle 3-17:** Ergebnisse für Rauchabzugsgeräte in Decken oder Wänden

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
1	Lichtkuppeln	11	1998-2012	1a	1,446,456	2	1,42 E-07	1,13 E-06	5,33 E-06	1,73 E-06	1,87 E-06	
1	Klappen, Wandeinbau	6	1998-2012	1a	788,976	1	9,66 E-08	1,10 E-06	6,42 E-06	1,90 E-06	2,40 E-06	
4	Lichtkuppeln	29	1988-1994	1a	1,779,672	1	4,28 E-08	4,88 E-07	2,85 E-06	8,43 E-07	1,06 E-06	
4	Lichtkuppeln	37	1995-2010	1a	5,189,472	17	4,79 E-07	2,66 E-06	8,68 E-06	3,37 E-06	2,70 E-06	
4*	Lichtkuppeln	35	1988-2010	1a	6,969,144	18	3,79 E-07	2,10 E-06	6,82 E-06	2,65 E-06	2,12 E-06	
5	Klappen, Wandeinbau	4	2002-2011	1a	350,592	0	3,30 E-09	4,49 E-07	6,11 E-06	1,43 E-06	2,74 E-06	
1,4	Lichtkuppeln	generisch mittels AURA 2						3,97 E-07	2,35 E-06	6,39 E-06	2,80 E-06	2,37 E-06
1,5	Klappen, Wandeinbau	generisch mittels AURA 2						9,46 E-08	2,00 E-06	1,49 E-05	5,17 E-06	1,57 E-05

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.3 Brandschutztüren mit und ohne Feststellanlagen

Gemäß baurechtlicher Anforderungen sind nur Brandschutztüren mit Allgemeiner Bauaufsichtlicher Zulassung (ABZ) gemäß DIN 4102, Teil 5 /DIN 77/ bzw. mit Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) zugelassen. Z.i.E. werden typischer Weise für Brandschutztüren mit Zusatzanforderungen wie Druckentlastungsfunktion, Objektschutzfunktion oder Strahlenschutzfunktion erforderlich. Diese Türen können in ihrer Bauart zum Teil deutlich von den Standardtüren gemäß ABZ abweichen. Die Anwendbarkeit der Zuverlässigkeitskennzahlen auf Sondertüren ist deshalb durch den Anwender gesondert zu prüfen. In den WKP enthaltene Bodenklappen wurden nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Vor Einführung der Zulassungspflicht wurden auch Brandschutztüren gemäß DIN 18081, DIN 18082 und DIN 18084 (verschiedene Fassungen) eingesetzt. Mit der Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes dürfen Brandschutztüren auch gemäß europäischen Anforderungen zugelassen werden.

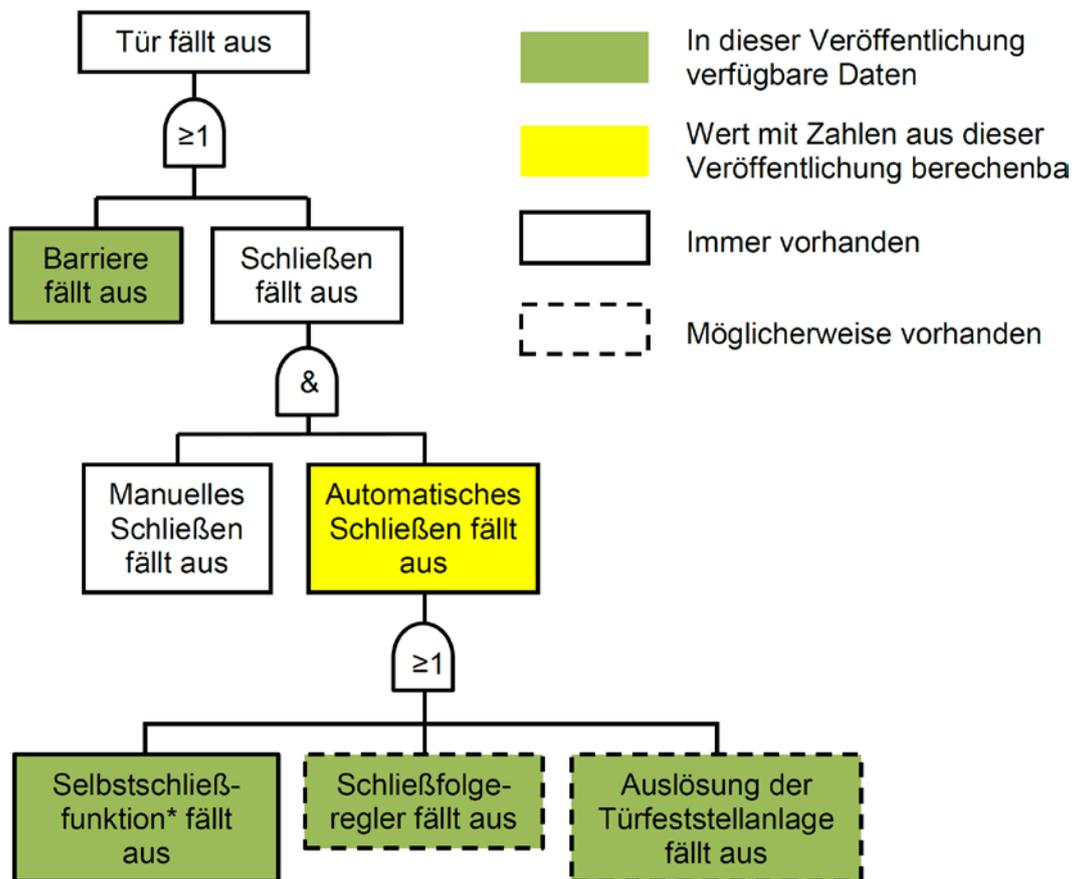
Ähnlich den Brandschutzklappen wurde die Funktion der Brandschutztüren und Türfeststellanlagen in diesem Vorhaben durch Teilfunktionen ermittelt, die sich in einen Fehlerbaum (Abb. 3-5) darstellen lassen. Die Teilfunktionen sind

- Barrierefunktion und
- Schließfunktion

Die Schließfunktion wurde als technische Nicht-Verfügbarkeit bestimmt. Sie besteht aus den Teilfunktionen (Abb. 3-5)

- Selbstschließen,
- Schließfolgeregelung bei zweiflügeligen Türen und
- Auslösung der Türfeststellanlage, falls eine solche installiert ist.

Ob eine Brandschutztür verschlossen ist, wird in der Praxis maßgeblich durch menschliches Handeln bestimmt, welches hier nicht behandelt wird. Im Fehlerbaum ist allerdings ein Feld für das manuelle Schließen berücksichtigt.



\*Selbstschließfunktion evtl. unter zusätzlicher Berücksichtigung der Verriegelung

**Abb. 3-5:** Generischer Fehlerbaum für den Ausfall von Brandschutztüren

Im Vergleich zu allen übrigen betrachteten Brandschutzbauteilen verfügen die meisten Referenzanlagen bezüglich Brandschutztüren über eine Dokumentation deutlich geringeren Umfangs. Dies bezieht sich sowohl auf die gegebene Ausführung und Ausstattung der Türen, als auch auf die Dokumentation der während einer WKP vorgefundenen Befunde und Gegenmaßnahmen. So ist bzw. war es teilweise üblich, dass Türschließer und Schließfolgeregler im Rahmen der WKP nachgespannt bzw. gerichtet werden, ohne dass hierzu eine Dokumentation im Prüfnachweis erfolgt, da es sich hierbei um typische Wartungsarbeiten handelt. Da die Interpretation der Befundbeschreibungen bei Brandschutztüren einen besonders großen Spielraum zuließ und teilweise gar nicht möglich war, wurde die Ermittlung von Ausfallraten auf die Referenzanlagen 4 und 6 begrenzt. Die Auswertung der Funktion der Türfeststellanlagen erfolgte für alle Referenzanlagen.

Bei der Bewertung der **Barrierefunktion** (Abb. 3-5) wurden die ausgewiesene Feuerwiderstandsdauer und der Verwendbarkeitsnachweis der Tür nicht einbezogen. Als Mängel wurden bewertet:

- *fehlender Aufdruck des Verwendbarkeitsnachweis auf Tür,*
- *dokumentierte Kratzer und Beulen,*
- *fehlende Schrauben, z. B. der Drückergarnituren,*
- *Tür schlägt beim Öffnen an Gegenstände,*
- *einzelne fehlende Brandschutzleisten.*

Als Ausfälle der Barrierefunktion wurde konservativ gewertet, wenn

- ein nicht ohne weiteres entfernbare Gegenstand durch die Tür geführt wurde  
oder
- die Tür allseitig keine Brandschutzleisten aufweist.

Es traten insgesamt drei Ausfälle der Barrierefunktion auf. Die Anzahl der Ausfälle der Barrierefunktion wurde auf die Anzahl aller Türen bezogen; d. h. es wird davon ausgegangen, dass die Ausfallrate bei zweiflügeligen Türen nicht höher ist als bei einflügeligen Türen.

Die Prüfung der **Selbstschließfunktion** (Abb. 3-5) der Türen erfolgt, indem diese aus verschiedenen Öffnungswinkeln losgelassen werden. Die Selbstschließfunktion galt in den Vorgängervorhaben immer als erfüllt, wenn die Türblätter die Endstellung erreicht haben. Ein Verriegeln der Türblätter war analog zur Bewertung bei Brandschutzklappen nicht erforderlich. In diesem Vorhaben wurde für die Selbstschließfunktion die gleiche Vorgehensweise angewendet. Zusätzlich wurde die **Verriegelung** der Türblätter (Einfallen des Schlosses beim Gehflügel bzw. des Treibriegels beim Standflügel) als weitere Teilfunktion betrachtet. Diese Zusatzbewertung ist erstens erfolgt, weil im Brandfall auf Türblätter größere Kräfte wirken als auf Klappenblätter von Brandschutzklappen und die Türblätter im Gegensatz zu Brandschutzklappen auch nicht mittig gelagert werden, also je nach Aufschlagrichtung der Brandschutztür im Brandfall aufgedrückt werden. Ein weiterer Grund ist, dass die Dokumentation der Befunde bei den WKP an Brandschutztüren häufig nicht eindeutig bzgl. der konkreten Unterscheidung zwischen „*Schließen einer Tür*“ und „*Verriegeln einer Tür*“ ist. Die Anzahl der Ausfälle der Selbstschließfunktion (und ggf. der Verriegelung) wurde auf die Anzahl aller Türflügel bezogen, da bei zweiflügeligen Türen jeder Türflügel unabhängig selbstschließen

(und verriegeln) muss. Der Beitrag der **Verriegelungsfunktion** zur Verfügbarkeit einer Brandschutztür kann je nach betrachtetem Brandszenario mitberücksichtigt werden.

Bei zweiflügeligen Türen ist zudem die Verfügbarkeit der **Schließfolgeregelung** (vgl. Abb. 3-5) zu beachten. Typische Ausfälle sind verbogene oder fehlende Schließfolgeregler oder fehlende Mitnehmer am Standflügel, so dass der Schließfolgeregler den Gehflügel nicht freigibt. Die Ausfälle der Schließfolgefunktion wurden auf die Anzahl der zweiflügeligen Türen bezogen. Bei der Anwendung der Teilfunktion Schließfolgeregelung ist zu überlegen, ob eine zweiflügelige Tür auch wirklich zweiflügelig begangen wird (z. B. bei Transportvorgängen).

Eine Anzahl von Brandschutztüren in den Referenzanlagen ist mit **Feststellanlagen** (FSA) (vgl. Abb. 3-5) ausgeführt. Die automatische Entriegelung der FSA erfolgt nach Auslösung eines Rauchmelders. Da eine unterschiedliche, teilweise nicht dokumentierte Anzahl an Rauchmeldern pro FSA vorhanden ist, wurde der Ausfall eines Rauchmelders analog der Vorgängervorhaben als Systemausfall gewertet. Eine genauere Analyse kann zeigen, dass die FSA durch einen zweiten Melder verzögert auslöst. Neben der automatischen Entriegelung der Türöffnung kann auch eine manuelle Entriegelung über Drucktaster vor Ort erfolgen. Diese manuelle Funktion wurde nicht in die Auswertung einbezogen. Als Ausfall wurden z. B. folgende Befunde gewertet:

- „Rauchmelder defekt, Rauchmelder löst nicht aus“,
- „Rauchschutzzentrale löste über Rauchmelder nicht aus“,
- „Brandschutztür XXX löst bei Anforderung nicht aus, Kunststoffbeschichtung der Türhaltemagnete verklebt (hohe Temperaturen)“,
- „bei Auslösung des Melders XXX noch aufgehalten“.

Häufig können Defekte an den FSA als Mangel gewertet werden, wenn die FSA in die sichere Richtung ausfällt wie

- Türmagnet abgerissen (fail safe),
- Türmagnet hält nicht.

Nach Entriegelung der Öffnung muss die Brandschutztür selbsttätig schließen, wobei die Funktion von Türschließer und ggfs. Schließfolgeregler erforderlich sind (vgl. Abb. 3-5). Für die Modellierung von Türen mit FSA sind entsprechend die Auslösefunktion und die Schließfunktion der Türen getrennt zu betrachten.

Die Ergebnisse für die Barriere-, Selbstschließ-, Verriegelungs- und Schließfolgefunktion für die Referenzanlagen 4 und 6 sind in Tabelle 3-12 dargestellt. Für die Anlage 4 sind Türen in rein betrieblich genutzten Gebäuden getrennt dargestellt. Die Stückzahl ist allerdings so gering, dass hier keine eindeutigen Unterschiede zu den unter das Atomrecht fallende Gebäude auftreten. Die Bezeichnung PSA-Gebäude umfasst die sicherheitstechnisch relevanten Gebäude sowie das Maschinenhaus.

**Tabelle 3-18:** Ergebnisse für die Teilfunktionen von Brandschutztüren der Referenzanlagen 4 und 6

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
4	Barrieren, PSA-Geb.	459	1995-2010	1a	60.711.066	1	1,26 E-09	1,43 E-08	8,34 E-08	2,47 E-08	3,12 E-08	
4	Barrieren, betriebl. Geb.	68	1995-2010	1a	8.168.472	0	1,41 E-10	1,93 E-08	2,62 E-07	6,13 E-08	1,18 E-07	
4	Barrieren, alle Geb.	527	1995-2010	1a	68.879.538	1	1,11 E-09	1,26 E-08	7,35 E-08	2,18 E-08	2,75 E-08	
6	Barrieren, alle Geb.	387	2001-2010	6m	33.924.420	2	6,05 E-09	4,82 E-08	2,27 E-07	7,37 E-08	7,99 E-08	
4,6	Barrieren, alle Geb.	generisch mittels AURA 2						2,13 E-09	4,77 E-08	4,26 E-07	1,60 E-07	6,36 E-07
4	Selbstschließ, PSA-Geb.	523	1995-2010	1a	69.124.890	82	1,80 E-07	9,74 E-07	2,96 E-06	1,19 E-06	9,02 E-07	
4	Selbstschließ, betriebl. Geb.	73	1995-2010	1a	8.825.802	23	3,87 E-07	2,12 E-06	6,80 E-06	2,66 E-06	2,09 E-06	
4	Selbstschließ, alle Geb.	596	1995-2010	1a	77.950.692	105	2,05 E-07	1,11 E-06	3,35 E-06	1,35 E-06	1,02 E-06	
6	Selbstschließ, alle Geb.	459	2001-2010	6m	40.235.940	29	1,08 E-07	5,88 E-07	1,85 E-06	7,33 E-07	5,70 E-07	
4,6	Selbstschließ, alle Geb.	generisch mittels AURA 2						2,53 E-07	1,04 E-06	2,77 E-06	1,22 E-06	7,90 E-07
4	Verriegelung, PSA-Geb.	523	1995-2010	1a	69.124.890	90	1,98 E-07	1,07 E-06	3,24 E-06	1,31 E-06	9,88 E-07	
4	Verriegelung, betriebl. Geb.	73	1995-2010	1a	8.825.802	3	3,99 E-08	2,75 E-07	1,17 E-06	3,96 E-07	3,96 E-07	
4	Verriegelung, alle Geb.	596	1995-2010	1a	77.950.692	93	1,81 E-07	9,79 E-07	2,97 E-06	1,20 E-06	9,04 E-07	
6	Verriegelung, alle Geb.	459	2001-2010	6m	40.235.940	20	7,33 E-08	4,05 E-07	1,31 E-06	5,09 E-07	4,04 E-07	
4,6	Verriegelung, alle Geb.	generisch mittels AURA 2						1,14 E-07	8,32 E-07	3,16 E-06	1,18 E-06	1,51 E-06
4	Schließfolge, PSA-Geb.	64	1995-2010	1a	8.413.824	13	2,23 E-07	1,25 E-06	4,18 E-06	1,60 E-06	1,31 E-06	
4	Schließfolge, betriebl. Geb.	5	1995-2010	1a	657.330	2	3,12 E-07	2,49 E-06	1,17 E-05	3,80 E-06	4,12 E-06	
4	Schließfolge, alle Geb.	69	1995-2010	1a	9.071.154	15	2,40 E-07	1,34 E-06	4,43 E-06	1,71 E-06	1,38 E-06	
6	Schließfolge, alle Geb.	72	2001-2010	6m	6.311.520	14	3,20 E-07	1,80 E-06	5,98 E-06	2,30 E-06	1,87 E-06	
4,6	Schließfolge, alle Geb.	generisch mittels AURA 2						9,39 E-07	2,00 E-06	4,13 E-06	2,18 E-06	6,68 E-07

**Tabelle 3-19:** Ergebnisse für die Auslösung von Türfeststellanlagen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
1	Feststellanlagen	144	1994-1997	3m	5.049.216	5	1,29 E-07	7,95 E-07	3,03 E-06	1,09 E-06	9,95 E-07	
1	Feststellanlagen	136	1998-2012	3m	17.854.527	0	6,47 E-11	8,81 E-09	1,20 E-07	2,81 E-08	5,38 E-08	
1*	Feststellanlagen	138	1994-2012	3m	22.903.743	5	2,84 E-08	1,75 E-07	6,67 E-07	2,40 E-07	2,19 E-07	
3	Feststellanlagen	153	1988-1994	3m	9.389.304	0	1,23 E-10	1,68 E-08	2,28 E-07	5,33 E-08	1,02 E-07	
3	Feststellanlagen	195	2000-2013	3m	23.502.960	7	4,08 E-08	2,39 E-07	8,61 E-07	3,19 E-07	2,78 E-07	
3*	Feststellanlagen	181	1988-2013	3m	32.892.264	7	2,91 E-08	1,71 E-07	6,15 E-07	2,28 E-07	1,99 E-07	
4	Feststellanlagen	67	1988-1994	1m/3m/1a	4.111.656	1	1,85 E-08	2,11 E-07	1,23 E-06	3,65 E-07	4,61 E-07	
4	Feststellanlagen	68	1995-2010	3m	9.537.408	8	1,61 E-07	9,30 E-07	3,29 E-06	1,23 E-06	1,05 E-06	
4*	Feststellanlagen	68	1988-2010	1m/3m/1a	13.649.064	9	9,24 E-08	5,32 E-07	1,85 E-06	6,96 E-07	5,89 E-07	
5	Feststellanlagen	21	1993-2001	3m/1a	1.656.648	1	4,60 E-08	5,24 E-07	3,06 E-06	9,06 E-07	1,14 E-06	
5	Feststellanlagen	22	2002-2011	1a	1.928.256	4	2,61 E-07	1,67 E-06	6,64 E-06	2,33 E-06	2,21 E-06	
5*	Feststellanlagen	22	1993-2011	3m/1a	3.584.904	5	1,82 E-07	1,12 E-06	4,26 E-06	1,53 E-06	1,40 E-06	
6	Feststellanlagen	28	2001-2010	1m/3m	2.150.837	5	3,03 E-07	1,87 E-06	7,11 E-06	2,56 E-06	2,34 E-06	
1,3,4,5,6	Feststellanlagen	generisch mittels AURA 2						3,27 E-08	8,29 E-07	4,99 E-06	1,39 E-06	1,11 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

Bei der Verwendung von Ausfallraten für Brandschutztüren ist zu berücksichtigen, dass die Daten von spezifischen methodischen Fehlern betroffen sind:

Die Zuverlässigkeitskennzahlen resultieren aus der Auswertung von WKP. Da Türen aber - im Gegensatz zu z. B. Brandschutzklappen - häufig begangen werden, werden Mängel auch während des Betriebs erkannt und beseitigt. Die nicht berücksichtigten Ausfallzeiträume können bedeutsam sein, lassen sich aber nicht quantifizieren und führen zu einer zu optimistischen Bewertung der Funktion der Türen.

Bei der WKP an Brandschutztüren wird insbesondere die Selbstschließfunktion überprüft. Dabei wird das Durchschreiten einer Tür simuliert, während z. B. bei einer WKP an einer Brandschutzklappe der Brand simuliert wird. Dieser Einfluss wurde zu minimieren versucht, indem die Selbstschließfunktion in diesem Vorhaben getrennt betrachtet wurde und redundant zur manuellen Schließung in einem Fehlerbaum modelliert wird. Insbesondere für Türen, die während des Betriebs aus Gründen des Objektschutzes oder der Druckstaffelung abgeschlossen zu halten sind, ist hier von einer hohen Zuverlässigkeit auszugehen. Während das Schließen der Türen automatisch (Türschließer) oder redundant von Hand erfolgen kann, gibt es zum Ausfall der Barrierefunktion keine redundante Handmaßnahme.

Die Erfahrung zeigt, dass Türen in stark frequentierten Bereichen wie Gebäudezugängen und Fluren deutlich häufiger Mängel aufweisen, als Türen zu Anlagenräumen bzw. Türen zwischen Anlagenräumen. Für die Durchführung von Brand-PSA ist aber die Zuverlässigkeit von Türen zwischen (redundanten) Anlagenräumen besonders ausschlaggebend. Im Rahmen dieses Projekts war es nicht möglich, verschiedene Grundgesamtheiten von Türen zu bilden, um diesen Effekt herauszuarbeiten. Die Zuverlässigkeitskennzahlen sind mit Bezug auf diesen Effekt konservativ.

### **3.4 Feuerlöscheinrichtungen**

Die untersuchten Feuerlöscheinrichtungen umfassen

- Löschwasserpumpen (gesicherte und nicht-gesicherte),
- Überflurhydranten (außen), Wandhydranten (innerhalb vom Gebäuden), Schaumzumischer an Wandhydranten,
- Fernschaltventilstationen (Sprühwasserlöschanlagen u. ä.) und
- Gaslöschanlagen (Kohlendioxid und INERGEN).

#### **3.4.1 Feuerlöschwasserpumpen**

Grundsätzlich verfügt jede Referenzanlage über eine Feuerlöschwasserringleitung, die über redundante (z. B. 4 x 50 % oder 3 x 100 %), elektrisch betriebene Feuerlöschwasserpumpen bespeist wird. Die Pumpen sind notstromgesichert und in den Kühlwasserentnahmebauwerken aufgestellt. Die Nennkapazität (100 %) ergibt sich aus der größten stationären Löschanlage innerhalb oder außerhalb der Gebäude (Sprinkler-, Sprühwasser-, Schaumlöschanlage) zuzüglich eines Wasserbedarfs von 1600 l/min, z. B. für Außen- und Wandhydranten. Die gesamte zur Verfügung stehende Wassermenge muss nach KTA 2101.3 /KTA 00/ mindestens 3200 l/min betragen. Neben den gesicherten Flusswasserpumpen verfügen viele Anlagen über vorrangige Brauchwasserpumpen, um in das Löschwassersystem möglichst sauberes Wasser einzuspeisen. Als Maßnahme zum Schutz vor anlageninterner Überflutung sind in einigen Anlagen Armaturen zu sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden angebracht, die im Normalzustand nur einen Teilwasserstrom zur Druckhaltung durchlassen, aber bei Auslösung von Löschanlagen von der Warte geöffnet werden müssen. Weitere Armaturen sind z. B. in den Zuleitungen in den Sicherheitsbehälter vorhanden. Die Funktion solcher Armaturen ist innerhalb einer Brand-PSA anlagenspezifisch zu modellieren.

Bei den Feuerlöschwasserpumpen wird analog der Vorgängervorhaben zwischen der Fernauslösung und dem Lauf unterschieden. Die Fernauslösung bezieht sich auf die Ansteuerung, die z. B. von der Warte aus oder durch simulierte Anregesignale, z. B. Druckschalter, erfolgen. Ausfälle werden wieder auf die Anzahl der Feuerlöschwasserpumpen, nicht auf die Anzahl der auslösenden Stellen bezogen. Falls ein Ausfall bei der Fernauslösung vorliegt, stehen noch Handmaßnahmen zur Verfügung, die anlagenspezifisch zu modellieren sind.

Ein Beispiel für einen Ausfall der Fernauslösung lautet

- *Einschaltversagen einer Pumpe, da der Verriegelungsriegel vom Einschub XXX in Zwischenstellung stand und der Ein-Befehl unterbrochen wurde.*

Ausfälle beim Lauf einer Pumpe beziehen sich auf das Erreichen des Nenndurchsatzes. Beispiele für als Mängel eingestufte Befunde lauten

- *„Unzureichende Leistung der Pumpe XXX. Die nachträgliche Fehlersuche zeigte, dass eine Störung des Druckaufnehmers vorlag“* und
- *Probleme mit Rückschlagklappen, die nach Rücksprache mit dem Anlagengutachter als Mangel eingestuft wurden.*

Beispiele für Ausfälle lauten

- *„in WKP wurde ausreichende Förderhöhe nicht erreicht“* und
- *„nur 0,5 bar Druck aufgebaut“.*

Die Ergebnisse für die Fernauslösefunktion und den Lauf der Feuerlöschpumpen sind in Tabelle 3-20 und Tabelle 3-21 dargestellt. Auf Grund der Verschiedenartigkeit der Kreiselpumpen wurde für die generischen Zahlen der Superpopulationsansatz angewendet. Für die Auslösefunktion ergibt sich insgesamt eine generische mittlere Ausfallrate von  $\lambda = 2,84 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ . Für den Lauf der Pumpen ergibt sich ein Wert von  $\lambda = 4,29 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ . Bei der Berechnung einer Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (vgl. Kapitel 4) ist darauf zu achten, dass die richtige Länge des Prüfintervalls verwendet wird.

**Tabelle 3-20:** Ergebnisse für die Fernauslösefunktion der Feuerlöschpumpen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Auslösung	4	1994-1997	6m	140.256	0	8,24 E-09	1,12 E-06	1,53 E-05	3,57 E-06	6,84 E-06
1	Auslösung	4	1998-2012	6m	525.984	0	2,20 E-09	2,99 E-07	4,08 E-06	9,52 E-07	1,83 E-06
1*	Auslösung	4	1994-2012	6m	666.240	0	1,73 E-09	2,36 E-07	3,22 E-06	7,52 E-07	1,44 E-06
3	Auslösung	4	1988-1994	1m	245.472	0	4,71 E-09	6,41 E-07	8,73 E-06	2,04 E-06	3,91 E-06
3	Auslösung	4	2000-2012	1m/1a	452.928	0	2,55 E-09	3,47 E-07	4,73 E-06	1,11 E-06	2,12 E-06
3*	Auslösung	4	1988-2012	1m/1a	698.400	0	1,65 E-09	2,25 E-07	3,07 E-06	7,17 E-07	1,37 E-06
4	Auslösung	6	1988-1994	1m/3m	368.208	0	3,14 E-09	4,27 E-07	5,82 E-06	1,36 E-06	2,61 E-06
4	Auslösung	6	1995-2010	3m	841.536	1	9,06 E-08	1,03 E-06	6,02 E-06	1,78 E-06	2,25 E-06
4*	Auslösung	6	1988-2010	1m/3m	1.209.744	1	6,30 E-08	7,18 E-07	4,19 E-06	1,24 E-06	1,57 E-06
5	Auslösung	2	1993-2001	6m	157.776	0	7,32 E-09	9,97 E-07	1,36 E-05	3,17 E-06	6,08 E-06
5	Auslösung	2	2002-2011	1w/1a	175.296	0	6,59 E-09	8,98 E-07	1,22 E-05	2,86 E-06	5,48 E-06
5*	Auslösung	2	1993-2011	1w/6m/1a	333.072	0	3,47 E-09	4,72 E-07	6,44 E-06	1,50 E-06	2,88 E-06
6	Auslösung	5	2001-2010	3m	438.300	1	1,74 E-07	1,98 E-06	1,16 E-05	3,42 E-06	4,32 E-06
1,3,4,5,6	Auslösung		generisch mittels AURA 2				5,71 E-08	1,67 E-06	1,03E-05	2,84 E-06	2,42 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

**Tabelle 3-21:** Ergebnisse für die Funktion der Feuerlöschpumpen (Totalausfall)

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
1	Lauf	4	1994-1997	6m	140.256	0	8,24 E-09	1,12 E-06	1,53 E-05	3,57 E-06	6,84 E-06	
1	Lauf	4	1998-2012	6m	525.984	0	2,20 E-09	2,99 E-07	4,08 E-06	9,52 E-07	1,83 E-06	
1*	Lauf	4	1994-2012	6m	666.240	0	1,73 E-09	2,36 E-07	3,22 E-06	7,52 E-07	1,44 E-06	
3	Lauf	4	1988-1994	1m	245.472	0	4,71 E-09	6,41 E-07	8,73 E-06	2,04 E-06	3,91 E-06	
3	Lauf	4	2000-2012	1m/1a	452.928	0	2,55 E-09	3,47 E-07	4,73 E-06	1,11 E-06	2,12 E-06	
3*	Lauf	4	1988-2012	1m/1a	698.400	0	1,65 E-09	2,25 E-07	3,07 E-06	7,17 E-07	1,37 E-06	
4	Lauf	6	1988-1994	1m/3m	368.208	0	3,14 E-09	4,27 E-07	5,82 E-06	1,36 E-06	2,61 E-06	
4	Lauf	6	1995-2010	3m	841.536	2	2,44 E-07	1,95 E-06	9,16 E-06	2,97 E-06	3,22 E-06	
4*	Lauf	6	1988-2010	1m/3m	1.209.744	2	1,70 E-07	1,35 E-06	6,37 E-06	2,07 E-06	2,24 E-06	
5	Lauf	2	1993-2001	6m	157.776	2	1,30 E-06	1,04 E-05	4,88 E-05	1,58 E-05	1,72 E-05	
5	Lauf	2	2002-2011	1w/1a	175.296	0	6,59 E-09	8,98 E-07	1,22 E-05	2,86 E-06	5,48 E-06	
5*	Lauf	2	1993-2011	1w/6m/1a	333.072	2	6,16 E-07	4,91 E-06	2,31 E-05	7,50 E-06	8,14 E-06	
6	Lauf	5	2001-2010	3m	438.300	0	2,64 E-09	3,59 E-07	4,89 E-06	1,14 E-06	2,19 E-06	
1,3,4,5,6	Lauf	generisch mittels AURA 2						4,15 E-08	2,27 E-06	1,63 E-05	4,29 E-06	4,38 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

### 3.4.2 Hydranten einschließlich Schaumzumischer

Die Auswertung von Hydranten bezieht sich auf

- den Außenbereich der Anlage (Überflurhydranten),
- den Innenbereich der Anlagen (Wandhydranten) sowie auf
- die ggfs. zusätzliche Schaumzumischerfunktion an Wandhydranten.

Analog zu den Vorgängervorhaben wurde die Verfügbarkeit von dem Hintergrund der Möglichkeiten der Feuerwehr bewertet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Feuerwehr zum einen in der Regel mit allem erforderlichen Werkzeug ausgerüstet ist, um bei Schwergängigkeit die Funktion der Hydranten, gegebenenfalls mit Verzögerung, praktisch immer wiederherstellen zu können. Außerdem kann sie bei Nichtverfügbarkeit eines Hydranten innerhalb kurzer Zeit einen nahegelegenen weiteren Hydranten ggf. mit Hilfe von Verlängerungsschläuchen benutzen. Dies würde jedoch zu einer gewissen Verzögerung der Brandbekämpfung sowie ggf. zu einem Druckabfall führen. Analog zu den Vorgängervorhaben ist das Auswertekriterium bei Hydranten die Möglichkeit des Öffnens. Fehlende Schläuche und Strahlrohre wurden nicht als Ausfall gewertet, weil die Feuerwehr eigenes Schlauchmaterial mitführt.

Die Unverfügbarkeit von vier Hydranten durch eine entgegen der Betriebsstellung geschlossene Armatur in einem nicht sicherheitstechnisch wichtigen Gebäude wurde ebenfalls nicht als Ausfall gewertet, da dieser Fehler übergeordnet lag.

Die beiden innerhalb dieses Vorhabens dokumentieren Ausfälle von Außenhydranten (Tabelle 3-22) beruhen auf einem massiv festsitzenden Ventil sowie einem festsitzendem Fallmantel, die auch unter Zuhilfenahme von leichtem Werkzeug nicht zu öffnen waren. Die mittlere generische Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung beträgt  $\lambda = 8,42 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$ .

Ausfälle von Wandhydranten (Tabelle 3-23) waren nicht dokumentiert. Die mittlere generische Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung beträgt  $\lambda = 9,93 \text{ E-}08 \text{ h}^{-1}$ .

Bei der neu dokumentieren Funktion der Schaumzumischer (Tabelle 3-24) betraf die häufigste dokumentierte Ausfallart ein Verkleben im Bereich der Ventile. Ein geringer

Füllstand im Schaummittelbehälter wurde als Mangel bewertet. Der Ausfall eines Schaumzumischers beinhaltet nicht die Unverfügbarkeit von Löschwasser. Die mittlere generische Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung für die Zumischerfunktion beträgt  $\lambda = 2,82 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabelle 3-22:** Ergebnisse für die Funktion von Außenhydranten

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Außenhydranten	24	1994-1997	1a	841.536	0	1,37 E-09	1,87 E-07	2,55 E-06	5,95 E-07	1,14 E-06
1	Außenhydranten	42	1998-2012	1a	5.522.832	2	3,71 E-08	2,96 E-07	1,40 E-06	4,53 E-07	4,91 E-07
1*	Außenhydranten	38	1994-2012	1a	6.364.345	2	3,22 E-08	2,57 E-07	1,21 E-06	3,93 E-07	4,26 E-07
3	Außenhydranten	46	1988-1994	6m	2.822.928	1	2,70 E-08	3,08 E-07	1,79 E-06	5,31 E-07	6,71 E-07
3	Außenhydranten	50	2000-2012	6m	5.661.600	0	2,04 E-10	2,78 E-08	3,79 E-07	8,85 E-08	1,70 E-07
3*	Außenhydranten	49	1988-2012	6m	8.484.528	1	8,99 E-09	1,02 E-07	5,97 E-07	1,77 E-07	2,23 E-07
4	Außenhydranten	39	1988-1994	1a	2.393.352	0	4,83 E-10	6,58 E-08	8,96 E-07	2,09 E-07	4,01 E-07
4	Außenhydranten	43	1995-2010	1a	6.031.008	0	1,92 E-10	2,61 E-08	3,55 E-07	8,30 E-08	1,59 E-07
4*	Außenhydranten	41	1988-2010	1a	8.424.360	0	1,43 E-10	1,95 E-08	2,66 E-07	6,20 E-08	1,19 E-07
5	Außenhydranten	20	1993-2001	1a	1.577.760	2	1,30 E-07	1,04 E-06	4,88 E-06	1,58 E-06	1,72 E-06
5	Außenhydranten	12	2002-2011	1a	631.008	0	1,83 E-09	2,49 E-07	3,40 E-06	7,94 E-07	1,52 E-06
5*	Außenhydranten	17	1993-2011	1a	2.208.768	2	9,28 E-08	7,41 E-07	3,49 E-06	1,13 E-06	1,23 E-06
6	Außenhydranten	13	2001-2010	1a	911.664	0	1,27 E-09	1,73 E-07	2,35 E-06	5,49 E-07	1,05 E-06
1,3,4,5,6	Außenhydranten				generisch mittels AURA 2		6,68 E-09	4,04 E-07	3,34 E-06	8,42 E-07	9,36 E-07

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

**Tabelle 3-23:** Ergebnisse für die Funktion von Wandhydranten

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Wandhydranten	138	1994-1997	1a	4.838.832	0	2,39 E-10	3,25 E-08	4,43 E-07	1,04 E-07	1,98 E-07
1	Wandhydranten	141	1998-2012	1a	18.540.936	0	6,23 E-11	8,49 E-09	1,16 E-07	2,70 E-08	5,18 E-08
1*	Wandhydranten	140	1994-2012	1a	23.379.764	0	4,94 E-11	6,73 E-09	9,17 E-08	2,14 E-08	4,11 E-08
3	Wandhydranten	195	1988-1994	6m	11.966.760	0	9,65 E-11	1,32 E-08	1,79 E-07	4,19 E-08	8,02 E-08
3	Wandhydranten	210	2000-2012	1a	23.778.720	0	4,86 E-11	6,62 E-09	9,01 E-08	2,11 E-08	4,04 E-08
3*	Wandhydranten	205	1988-2012	1a	35.745.480	0	3,23 E-11	4,40 E-09	6,00 E-08	1,40 E-08	2,69 E-08
4	Wandhydranten	146	1988-1994	1a	8.959.728	0	1,29 E-10	1,76 E-08	2,39 E-07	5,59 E-08	1,07 E-07
4	Wandhydranten	146	1995-2010	1a	20.477.376	0	5,64 E-11	7,69 E-09	1,05 E-07	2,45 E-08	4,69 E-08
4*	Wandhydranten	146	1988-2010	1a	29.437.104	0	3,92 E-11	5,35 E-09	7,28 E-08	1,70 E-08	3,26 E-08
5	Wandhydranten	136	1993-2001	1a	10.728.768	1	7,11 E-09	8,10 E-08	4,72 E-07	1,40 E-07	1,77 E-07
5	Wandhydranten	125	2002-2011	1a	6.583.517	0	1,75 E-10	2,39 E-08	3,26 E-07	7,61 E-08	1,46 E-07
5*	Wandhydranten	132	1993-2011	1a	17.312.285	1	4,40 E-09	5,02 E-08	2,92 E-07	8,67 E-08	1,09 E-07
6	Wandhydranten	86	2001-2010	6m/1a	6.031.008	0	1,92 E-10	2,61 E-08	3,55 E-07	8,30 E-08	1,59 E-07
1,3,4,5,6	Wandhydranten	generisch mittels AURA 2				8,28 E-10	4,52 E-08	3,94 E-07	9,93 E-08	1,22 E-07	

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

**Tabelle 3-24:** Ergebnisse für die Zumischerfunktion von Schaumhydranten

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)					
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$	
3	Schaumwandhydranten, Zumischerfunktion	26	2000-2012	1a	2.944.032	3	1,20 E-07	8,25 E-07	3,50 E-06	1,19 E-06	1,19 E-06	
4	Schaumwandhydranten, Zumischerfunktion	9	1995-2010	1a	1.262.304	4	3,98 E-07	2,55 E-06	1,02 E-05	3,56 E-06	3,38 E-06	
5	Schaumwandhydranten, Zumischerfunktion	28	2002-2011	1a	2.454.144	3	1,44 E-07	9,90 E-07	4,19 E-06	1,43 E-06	1,42 E-06	
3,4,5	Schaumwandhydranten, Zumischerfunktion	generisch mittels AURA 2						2,11 E-07	2,00 E-06	8,39 E-06	2,82 E-06	2,39 E-06

### 3.4.3 Fernschaltventilstationen

In den Referenzanlagen sind die meisten Wasserlöschanlagen an die Ringleitung angeschlossen. Über unabhängige Wasserversorgungen, die hier nicht betrachtet werden, verfügen in einigen Anlagen die nur betrieblich erforderlichen Löschanlagen für außenliegende Transformatoren. In dieser Auswertung wird, wie in den Vorgängervorhaben die aktive Funktion der Fernschaltventile der Löschanlagen betrachtet. In die WKP zu den Rohrleitungsnetzen und Sprühwasserköpfen wurde zusätzlich stichprobenartig Einsicht genommen. In sehr seltenen Fällen lassen die Befunde dabei auf eine Einschränkung der Wasserversorgung von einzelnen Teilsträngen durch (Teil-)Verstopfung der Rohrnetze schließen. Teilweise wurden auch einzelne Sprühdüsen als z. B. durch Störkanten eingeschränkt wirksam ausgewiesen. Aus den Befunden lässt sich weder der Grad der Einschränkung der möglichen Wasserbeaufschlagung ableiten, noch kann ein Verhältnis von eingeschränkten zu nicht eingeschränkten Flächen gebildet werden. Somit lassen sich die Befunde im Bereich der Löschanlagennetze und Sprühköpfe nicht quantifizieren.

In diesem Vorhaben werden Fernschaltventilstationen („Trockenalarmventilstationen“) von Löschanlagen ausgewertet. Die Fernschaltarmaturen können grundsätzlich

- durch Löschsteuerzentralen automatisch,
- durch die Warte fernausgelöst oder
- durch einen Handtaster in der Nähe der Löschanlage

angesteuert werden, wobei nicht immer alle Varianten verfügbar sein müssen. Ähnlich wie bei den Brandschutzklappen wird in der Auswertung aber nicht nach der unterschiedlichen Herkunft des Ansteuersignals spezifiziert, sondern es wird, wie in den Vorgängervorhaben, auf die Anzahl der Fernschaltarmaturen Bezug genommen. Die hier betrachtete Funktion umfasst die Ansteuerung einer Armatur (unabhängig von der Herkunft des Signals) bis zum automatischen Verfahren einer Armatur. Analog zu den Vorgängervorhaben wird diese Funktion im Folgenden als „Fernauslösung“ bezeichnet, obwohl wie beschrieben hier auch eine Auslösung über Handtaster vor Ort einbezogen ist.

Neben der „Fernausslösung“ wurde in den Vorgängervorhaben der „Totalausfall“ betrachtet. Als „Totalausfall“ wurde unterstellt, dass die Löschanlage weder fernausgelöst noch vor Ort ausgelöst werden konnte und somit die geforderte Löschfunktion als vollständig ausgefallen angenommen werden musste. Ausfälle, die zum „Totalausfall“ führten, wurden nur in sehr seltenen Fällen festgestellt und deshalb wurde teilweise die Aussage getroffen, dass kein Totalausfall vorlag. Eine genaue Bewertung der installierten Löschanlagen und der in den WKP vorhandenen Prüfschritte zeigt allerdings, dass die Komponenten oder Handmaßnahmen, die redundant zur „Fernausslösung“ eine Auslösung im Brandfall ermöglichen sollen, teilweise gar nicht geprüft werden, so dass keine Zuverlässigkeitsaussage dazu getroffen werden kann. Beispiele hierfür sind:

- Bypässe von Fernschaltventilen, deren Bypassarmaturen von Hand geöffnet werden können. Teilweise sind die Bypässe nicht durch Freischaltventile absperrbar, womit die Bypassarmaturen nicht prüffähig sind und möglicherweise seit Jahren nicht betätigt wurden.
- Fernschaltventile, die nach Versagen der Schaltkräfte von Hand manipuliert werden können, sich aber im realen Anforderungsfall hinter einem abgeschlossenen Gitterkäfig der Löschanlage befinden, wodurch eine Manipulation nicht ohne weiteres möglich ist.

Da die Ersatzmaßnahmen bei Ausfall der Fernauslösung von der Ausführung einer Löschanlage, der Ausfallart und der Qualifikation des jeweiligen Bedienpersonals abhängen, kann keine allgemeine Zuverlässigkeitsaussage zum Totalausfall getroffen werden.

Bei den Löschanlagen mit Trockenalarmventilstationen steht das Wasser bis zum Fernschaltventil („Alarmventil“). In den Referenzanlagen kommen verschiedene Ausführungen von Fernschaltventilstationen zum Einsatz:

1. Hydraulisch betätigte Absperrklappen, die über ein Magnetventil (4/2-Wegeventil) an- und abgesteuert werden (Referenzanlagen 1, 3, 4),
2. Hydraulisch betätigte Tellerventile, die über ein Magnetventil angesteuert werden und absteuerbar sind (Referenzanlage 6),
3. Elektromagnetisch angesteuerte Ventile mit Handnotbetätigung, die nicht absteuerbar sind (Referenzanlage 6),
4. Elektromotorbetriebene Ventile mit Handnotbetätigung (Referenzanlage 5) und

5. Pneumatisch zugehaltene Ventile, die über die Entlastung der Auslöseleitung geöffnet werden und nicht absteuerbar sind (Referenzanlage 5, Trafolöschanlagen).

### **Ausführung 1**

Bei dieser kernkraftwerkstypischen Ausführung wird im Auslösefall ein elektromagnetisches Vorsteuerventil (Typ A) (verwendet in Referenzanlage 4), das sogenannte 4/2-Wegeventil betätigt. Beim Typ B lässt sich das 4/2-Wegeventil auch von Hand umstellen (verwendet in Referenzanlage 1 und 3). Das Vorsteuerventil lässt Löschwasser in einen Steuerzylinder, der über einen Kolben eine Zahnstange verschiebt. Die Zahnstange dreht ein Zahnrad, das sich auf einer Achse mit der Absperrklappe befindet und dieses je nach Stellung des 4/2-Wegeventils auf- und zufahren kann. Beim Typ B kann die Achse auch manuell mit einem Vierkantschlüssel betätigt werden. Beim Typ A ist ein Bypass der Fernschaltarmatur vorhanden, der mit einer handbetätigten Klappe aufgefahren werden kann. Die Funktion dieser Klappe wird nicht regelmäßig wiederkehrend geprüft.

### Ergebnisse für Anlagen der Ausführung 1

Auf Grund des relativ komplexen Aufbaus dieser Ventilstationen ergeben sich mögliche Befunde an einer Anzahl von Komponenten. Befunde, die als Ausfälle bewertet wurden lauten beispielsweise:

- *„öffnet nicht bzw. öffnet erst beim 2./3. Versuch“*,
- *„Ventil lässt sich nicht verfahren“*,
- *„öffnet nicht, Verbindung zwischen Antrieb und Klappe wahrscheinlich defekt“*
- *„Schwenkantrieb hat fest gesessen. Mangelbehebung durch Neujustierung des Gestänges“*,
- *„Sprühwasserklappe nach Ansteuerung durch das Vorsteuerventil ohne Funktion“*,
- *„Magnetventil öffnete erst nach Reinigung der Entlastungsleitung“*,
- *„öffnet nicht (Doppelfilter verstopft)“*,
- *„4/2 Wegeventil hängt, kein Druck zur Auslösung“*,
- *„Absperrklappe öffnet bei Auslösung über Druckknopfmelder sowie von Hand am 4/2-Wege-Ventil nicht“*,
- *„Absperrklappe öffnete nicht bei elektrischer und mechanischer Auslösung“*,

- „nach elektrischer Auslösung am Druckknopftaster öffnet die Absperrklappe nicht (Drossel leicht verklebt)“.

Als typische Mängel ohne direkten Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der Anlagen wurden folgende Befunde bei Prüfungen eingestuft:

- „Überschreitungen der Laufzeit bzw. Öffnungszeit (um einige Sekunden),“
- „Ventil steuert nicht ab“,
- „Leckage des Vorsteuerventils“,
- „Doppelfilter ließen sich nicht umstellen“,
- „Manometer defekt“,
- Undichtigkeiten,
- Mängel an den Freischaltarmaturen.

Tabelle 3-25 stellt Ausfälle der Fernauslösung der Fernschaltventilstationen der Ausführung 1 für die Referenzanlagen 1, 3 und 4 dar. Die mittlere generische Ausfallrate aller Anlagen der Variante 1 beträgt  $\lambda = 4,96 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabelle 3-25:** Ergebnisse für die Fernauslösung von Fernschaltventilstationen von Sprühwasserlöschanlagen der Ausführung 1

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponenten	Zeitraum	Prüfintervall	Dauer [h]	Anzahl Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
1	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	26	1994-1997	6m	911.664	0	1,27 E-09	1,73 E-07	2,35 E-06	5,49 E-07	1,05 E-06
1	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	26	1998-2012	6m	3.418.896	2	6,00 E-08	4,79 E-07	2,25 E-06	7,31 E-07	7,93 E-07
1*	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	26	1994-2012	6m	4.330.560	2	4,74 E-08	3,78 E-07	1,78 E-06	5,77 E-07	6,26 E-07
3	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	111	1988-1994	6m	6.811.848	27	5,95 E-07	3,23 E-06	1,02 E-05	4,04 E-06	3,15 E-06
3	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	107	2000-2012	6m	12.115.824	22	2,70 E-07	1,48 E-06	4,75 E-06	1,86 E-06	1,46 E-06
3*	Fernauslösung, Var. 1, Typ B	108	1988-2012	6m	18.927.672	49	3,92 E-07	2,12 E-06	6,52 E-06	2,61 E-06	2,00 E-06
4	Fernauslösung, Var. 1, Typ A	58	1988-1994	3m/1a	3.559.344	47	2,00 E-06	1,08 E-05	3,33 E-05	1,34 E-05	1,02 E-05
4	Fernauslösung, Var. 1, Typ A	58	1995-2010	6w/3m	8.134.848	23	4,20 E-07	2,30 E-06	7,38 E-06	2,89 E-06	2,27 E-06
4*	Fernauslösung, Var. 1, Typ A	58	1988-2010	6w/3m/1a	11.694.192	70	9,10 E-07	4,91 E-06	1,50 E-05	6,03 E-06	4,57 E-06
1,3,4	Fernauslösung, Var. 1	generisch mittels AURA 2					6,39 E-08	2,58 E-06	1,71 E-05	4,96 E-06	7,51 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

## **Ausführung 2**

Bei dieser Ausführung wird im Auslösefall ein elektromagnetisches Vorsteuerventil geöffnet, das ein Anregerohr frei gibt, über das Eigenmedium ein Tellerventil öffnet. Das Absteuern erfolgt über das Vorsteuerventil. Diese Ausführung ist handelsüblich, wird in den Referenzanlagen aber nur selten eingesetzt.

Befunde, die als Mängel bewertet wurden lauten beispielsweise:

- *„Alarmprobhahn UXXXX lässt sich nicht bewegen (STM XXX/20XX) -> in-standgesetzt“*,
- *„nach Betätigung des Alarmprobhahns XXX löste der Druckschalter nicht aus, somit keine Rückmeldung "Anlage ausgelöst"“*.

Ausfälle wurden für Fernschaltventile der Ausführung 2 nicht dokumentiert.

## **Ausführung 3**

Bei dieser Ausführung wird der Ventilteller über eine Hebelmechanik mit einer vorgespannten Spindel geschlossen gehalten. Die Spindel kann elektromagnetisch oder von Hand (als „Handnotbetätigung“) betätigt werden, so dass das Ventil geöffnet wird. Das Absteuern der Löschanlage erfolgt über eine weitere handbetätigte Abschlussarmatur. Zu dieser Ausführung wurden keine Ausfälle dokumentiert.

Der Befund

- *„Auslöseeinheit defekt, Überfallbügel im Fernschaltventil UXXXXXX lässt sich im gespannten Zustand aus der Verriegelung drücken“*

wurde als Mangel bewertet.

## **Ausführung 4**

Bei dieser Ausführung wird das Fernschaltventil elektromotorisch verfahren. Falls der Motorbetrieb ausfällt, kann das Getriebe ausgerastet und die Armatur von Hand verfahren werden. Als Ausfälle traten Schutzabschaltungen am Elektromotor oder Festsitzen

des Motorantriebs auf. In diesem Vorhaben wurden keine Ausfälle für diese Ausführung dokumentiert. Als Mangel wurden folgende Befunde eingestuft:

- *„Entleerungsarmatur XXX war defekt und wurde prüfbegleitend repariert“*,
- *„Armatur XXXX war schwergängig (Fernauslösearmatur)“*,
- *„Aufgrund eines beschädigten Gewindes der Armaturenstellungsanzeige war die Armatur XXXX schwergängig“*.

## **Ausführung 5**

Bei dieser Ausführung hält ein Druckluftpolster das Alarmventil geschlossen. Das Polster wird über eine Anregeleitung entlastet, an der ein Sprinkler oder elektrisch bestätigte Ventile öffnen, so dass das Alarmventil geöffnet wird. Die Abststeuerung erfolgt über eine Handarmatur.

Folgende Befunde wurden als Ausfall gewertet:

- *„Fernschaltventil XXXXX öffnete bei el. Auslösung vom Steuerschrank nicht, Handauslösung ohne Beanstandungen. Nach Beseitigung von mech. Verunreinigungen erfolgte Nachprüfung ohne Beanstandungen (STM ...)“*,
- *„Fernschaltventil lässt sich manuell/fernbetätigt nicht sicher auslösen (STM ...); Auslöseventil löst nach Anregung nicht aus. Ventil XXXX wurde ausgetauscht“*.

Folgende Befunde wurden als Mangel gewertet:

- *„kleine Luftleckage an der Verschraubung XXXX und am Absperrventil XXXX“*
- *„Sollwertunterschreitung in der Anregerrohrleitung“*,
- *„Undichtigkeit am Fernschaltventil XXXX, Ventil wurde getauscht“*.
- *„Alarmprobepfeife XXX abgebrochen. SM XXXX““*
- *„Bei der WKP erfolgte keine PRA-Meldung "Feueralarm XX 12" auf der Hauptwarte“*

Die Tabelle 3-26 stellt Ausfälle der Fernauslösung der Fernschaltventilstationen der Ausführungen 2 bis 5 für die jeweiligen Referenzanlagen dar. Die mittleren Ausfallraten aller Anlagen der Variante 2 bis 5 betragen  $\lambda = 1,90 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$  (Var. 2),  $\lambda = 9,48 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  (Var. 3),  $\lambda = 1,29 \text{ E-}06 \text{ h}^{-1}$  (Var. 4) und  $\lambda = 7,52 \text{ E-}07 \text{ h}^{-1}$  (Var. 5).

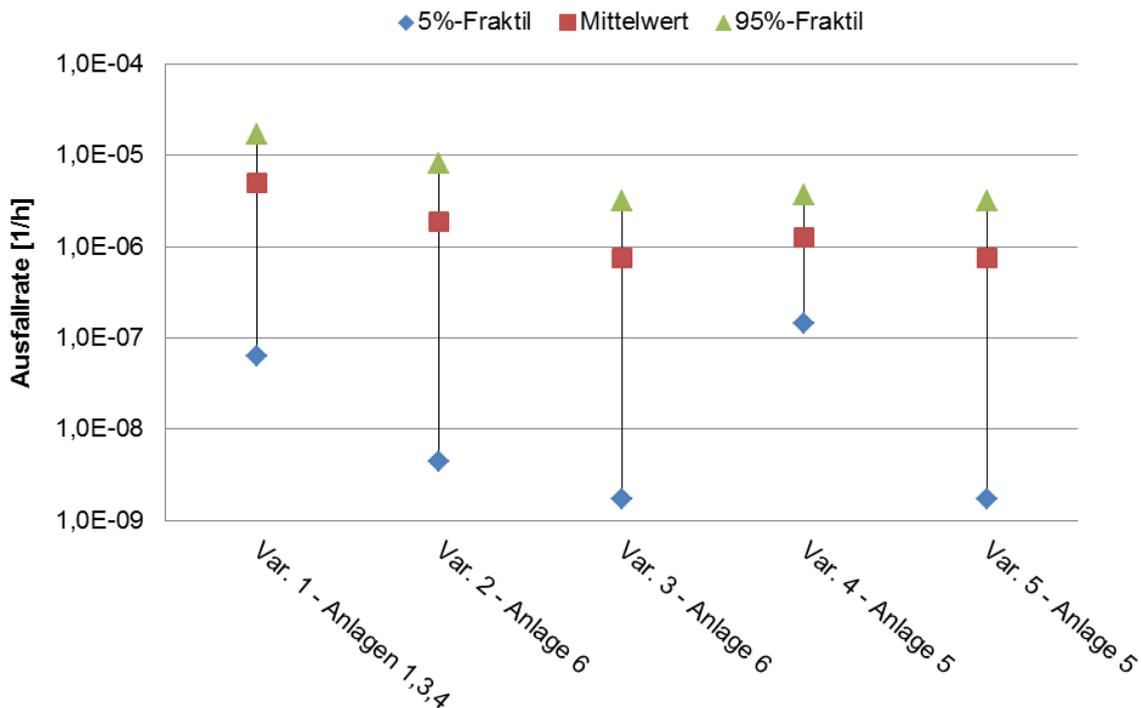
**Tabelle 3-26:** Ergebnisse für die Fernauslösung von Fernschaltventilstationen von Sprühwasserlöschanlagen der Ausführungen 2 bis 5

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponen- ten	Zeitraum	Prüf- intervall	Dauer [h]	Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
6	Fernauslösung, Var. 2	3	2001-2010	3m/6m	262.980	0	4,39 E-09	5,98 E-07	8,15 E-06	1,90 E-06	3,65 E-06
6	Fernauslösung, Var. 3	30	2001-2010	3m/6m	2.636.484	2	7,78 E-08	6,21 E-07	2,92 E-06	9,48 E-07	1,03 E-06
5	Fernauslösung, Var. 4	21	1993-2001	3m/6m/1a	1.656.648	4	3,03 E-07	1,95 E-06	7,73 E-06	2,72 E-06	2,57 E-06
5	Fernauslösung, Var. 4	21	2002-2011	3m/6m/1a	1.840.608	0	6,28 E-10	8,55 E-08	1,16 E-06	2,72 E-07	5,21 E-07
5*	Fernauslösung, Var. 4	21	1993-2011	3m/6m/1a	3.497.256	4	1,44 E-07	9,22 E-07	3,66 E-06	1,29 E-06	1,22 E-06
5	Fernauslösung, Var. 5	4	1993-2001	6m/1a/2B	315.552	0	3,66 E-09	4,99 E-07	6,79 E-06	1,59 E-06	3,04 E-06
5	Fernauslösung, Var. 5	4	2002-2011	1w/6m/1a/2B	350.592	0	3,30 E-09	4,49 E-07	6,11 E-06	1,43 E-06	2,74 E-06
5*	Fernauslösung, Var. 5	4	1993-2011	1w/6m/1a/2B	666.144	0	1,73 E-09	2,36 E-07	3,22 E-06	7,52 E-07	1,44 E-06

\* Wert resultiert aus Gesamtzeitraum dieses Vorhabens und des jeweiligen Vorgängervorhabens

## Vergleichende Darstellung

In Abb. 3-6 sind die Vertrauensbereiche der ermittelten Ausfallraten der fünf verschiedenen Varianten von Fernschaltventilen grafisch dargestellt. Das Verhältnis der höchsten zur geringsten mittleren Ausfallrate beträgt 6,6.



**Abb. 3-6:** Generische (Variante 1) bzw. anlagenspezifische Ausfallraten der fünf verschiedenen Ausführungen von Fernschaltventilen

### 3.4.4 Gaslöschanlagen

Da im Rahmen dieses Vorhaben keine neuen Auswertungen der Betriebserfahrung von Gaslöschanlagen vorgenommen werden konnten, werden an dieser Stelle die Ergebnisse aus den Vorgängervorhaben mittels der aktuellen Auswertemethode der GRS nur statistisch neu bewertet. Da Löschanlagen mit dem Löschmittel Halon außer Betrieb sind, sind nur noch Löschanlagen mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und INERGEN (einer Mischung aus Stickstoff (ca. 52 Vol.%), Argon (ca. 40 Vol.%) und Kohlendioxid (ca. 8 Vol.%) relevant.

Ähnlich wie bei den Fernschaltventilstationen betrifft die Auswertung der Gaslöschanlagen nur die Funktion der Auslöseventile für Flaschenbatterien bzw. die Löschbereiche. Andere ggf. zur Sicherstellung der Löschwirkung notwendigen Schaltvorgänge, wie das Schließen von Brandschutzklappen, wurden bei der Auswertung nicht bewertet und sind ggf. separat zu betrachten.

Referenzanlage 2 verfügte im Zeitraum 1993 bis 1998 über insgesamt drei CO<sub>2</sub>-Löschanlagen für das Heizöllager, den Dieselvorratsraum sowie das Schaltanlagegebäude mit den Bereichen Rangierverteiler, Rechnerraum und Kabelzwischenboden. Die CO<sub>2</sub>-Löschanlagen wurden jährlich unter Beteiligung von Sachverständigen geprüft, wobei im Betrachtungszeitraum zwei Befunde festgestellt worden. Einer der Befunde (Hubmagnet für Gewichtsauslösung defekt) wurde als Ausfall gewertet, der andere (Verzögerungszeit der Auslösung teilweise außerhalb der Toleranz) wurde lediglich als Störung eingestuft /ROE 01/. Referenzanlage 3 verfügte im Zeitraum 1988 bis 1994 über jeweils zwei manuell ausgelöste CO<sub>2</sub>-Löschanlagen in den beiden Schaltanlagegebäuden, die eine gemeinsame Stromversorgung und Warnmeldeanlage besitzen. Diese CO<sub>2</sub>-Löschanlagen, die zweimal jährlich wiederkehrend geprüft wurden, waren als Löscheinrichtungen für elektrische Einrichtungen (Rechnerraum und Kabelboden) vorgesehen. Im Betrachtungszeitraum wurden 4 Mängel, aber keine Funktionsausfälle festgestellt. Die Mängel betrafen eine fehlende Meldung, das Nichtschließen von Klappen sowie Einstellarbeiten /ROE 97/. Da die betrachteten Löschanlagen nicht mehr in Betrieb sind, wird in der Tabelle 3-27 für CO<sub>2</sub>-Löschanlagen nur der generische Wert angegeben. Auf Grund der aus der sehr geringen Stückzahl resultierenden kurzen Beobachtungsdauer beträgt die mittels Superpopulation berechnete mittlere Ausfallrate  $\lambda = 1,58 \text{ E-}03 \text{ h}^{-1}$ .

Referenzanlage 1 verfügte im alten Auswertzeitraum (1994 – 1997) über eine INERGEN-Löschanlage mit 15 Löschdüsen für den Doppelboden des Rechnerraumes. Die Auslösung erfolgt über eine Auslöseeinrichtung oder eine Notauslösung vor Ort. Die Anlage wurde halbjährlich wiederkehrend geprüft, einmal jährlich unter Beteiligung von Sachverständigen. Im Betrachtungszeitraum wurden keine Mängel oder Ausfälle festgestellt /ROE 01/. Für die sehr kurze Beobachtungsdauer beträgt die mittlere Ausfallrate  $\lambda = 1,43 \text{ E-}05 \text{ h}^{-1}$  (vgl. Tabelle 3-27)

**Tabelle 3-27:** Ergebnisse für die Fernauslösung von Gas-Löschanlagen

Anlage	Ausführung	Anzahl Komponen- ten	Zeitraum	Prüf- intervall	Dauer [h]	Ausfälle	Ausfallrate [1/h] (Fraktile, Mittelwert, Standardabweichung)				
							5%	50%	95%	$\bar{X}$	$\sigma$
2,3	CO <sub>2</sub> -Löschanlagen	7	1988-1998	6m / 1a	403.224	1	2,17 E-09	2,48 E-06	2,32 E-04	1,58 E-03	2,80 E-02
1	INERGEN-Löschanlagen	1	2001-2010	6m	35.064	0	3,29 E-08	4,49 E-06	6,11 E-05	1,43 E-05	2,74 E-05

### 3.5 Passive Bauteile (Kabelabschottungen, Brandschutzkanäle und Verkleidungen)

In diesem Vorhaben wurde versucht, die Verfügbarkeit von passiven, redundanztrennenden Bauteilen wie Kabelabschottungen, Kabelkanälen mit redundanztrennender Funktion oder Brandschutzverkleidungen abzuschätzen. Gemäß KTA 2101.1 /KTA 00/ sind wiederkehrende Prüfungen für Kabelabschottungen und für „*besondere Maßnahmen zur Redundanztrennung (z. B. Kapselung, Anstrichsysteme, Hitzeschutz)*“ alle zwei Jahre als Sichtprüfung unter Sachverständigenbeteiligung durchzuführen. Die Teilnahme eines Sachverständigen kann sich dabei auch auf die Einsichtnahme in die Prüfprotokolle beschränken.

Die Möglichkeit der Auswertung der Ergebnisse dieser WKP wurde grundsätzlich in allen Referenzanlagen angefragt. Dabei zeigte sich, dass die „*besonderen Maßnahmen zur Redundanztrennung*“ eine Vielzahl von unterschiedlichen Einzelmaßnahmen betrifft, die nicht einheitlich auswertbar und nicht vergleichbar sind.

Kabelabschottungen sind in sehr großen Stückzahlen in den Anlagen vorhanden und es liegen für die verschiedenen Ausführungsvarianten einheitliche Verwendbarkeitsnachweise wie Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall zu Grunde, so dass diese sich besser für eine Auswertung eignen. Bei einer Referenzanlage wurde deshalb in die Prüfnachweise der WKP an Kabelabschottungen Einsicht genommen und es wurde versucht, diese quantitativ auszuwerten. Die Befunde bestehen aus der Ausführungsvariante der Kabelabschottung und einer stichpunkthaften Fehlerbeschreibung wie

- *Brattberg-Rahmen „Fehler“*
- *Kabel-Weichschott "ausgebessert"*
- *Kabel-Weichschott "ausgebessert" (Gegenseite)*
- *Kabel-Weichschott "Fehler, behoben"*
- *Kabel-Mörtelschott "zusätzlich 01/XXX mit Fehlern"*
- *Kabel-Weichschott "Fehler, Schottungen in Leistungsschränken"*
- *Kabel-Weichschott "Fehler, mit Farbe ausgebessert"*

Eine Bewertung der Befunde hinsichtlich eines möglichen Ausfalls einer Kabelabschottung im Brandfall ist aus drei Gründen nur sehr eingeschränkt möglich: Erstens sind die

Mangelbeschreibungen in der Regel rein qualitativ, d. h. die Größe von Fehlstellen, Schwundrissen etc. ist nicht dokumentiert. Zweitens wird nur eine Schottseite beschrieben und es ist nicht ohne weiteres feststellbar, ob die gleiche Abschottung auf der anderen Wandseite ebenfalls einen Ausführungsmangel aufweist. In der Praxis tritt es durchaus auf, dass eine Kabelabschottung auf der einen Seite fehlerfrei ausgeführt wurde, auf der anderen Schottseite aber aus Platzmangel (Störkanten), auf Grund fehlender Gerüste etc. eine Nachbelegung nicht ordentlich verschlossen wurde. Schließlich sind keine Ausfallkriterien bekannt, wonach z. B. ab einer bestimmten Rissgröße oder Fehlstellengröße von einem Versagen einer Kabelabschottung im Brandfall ausgegangen werden muss. Deshalb können hier abschließend keine quantitativen Aussagen zur Zuverlässigkeit von Kabelabschottungen, Brandschutzkanälen und Verkleidungen getroffen werden.

#### 4 Hinweise zur Anwendung der ausgewiesenen Ausfallraten

Die in den vorstehenden Tabellen ermittelten Ausfallraten beziehen sich auf eine Funktion oder Teilfunktion eines technischen Systems. Der Funktionsumfang bezieht sich dabei auf den Umfang, der in einer betreffenden WKP geprüft wurde.

Da die (Teil-)Funktionen keine Schalthandlungen oder andere Personenhandlungen einschließen, muss der Anwender im Einzelfall prüfen, ob eine bestimmte Art der automatischen Ansteuerung, z. B. durch Auslösung eines Druckschalters oder Rauchmelders, mit im WKP-Umfang geprüft wurde. Falls dieses nicht der Fall ist oder falls die Ansteuerung eine zusätzliche menschliche Handlung bedarf, ist die Ausfallwahrscheinlichkeit hierzu zusätzlich zu berücksichtigen.

Die mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_f$  bei Anforderung für eine gegebene Funktion bzw. Teilfunktion bestimmt sich aus der mittleren Ausfallrate  $\lambda$  und der verstrichenen Zeit  $t$  nach der letzten Prüfung gemäß

$$p_f = 1 - e^{-\lambda t}$$

bzw. für kleine Zeitdauern  $t$

$$p_f \approx \lambda t.$$

Dabei wird davon ausgegangen, dass direkt nach der Prüfung die ordnungsgemäße Funktion nachgewiesen ist. Entsprechend beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_f(t = 0) = 0$ . Da nicht bekannt ist, wann eine Brandschutzeinrichtung im Intervall  $T$  zwischen zwei wiederkehrenden Prüfungen angefordert wird, ist die zeitlich gemittelte Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung von Interesse. Diese beträgt

$$p_f = \lambda T / 2.$$

Für Unsicherheitsanalysen, die beispielweise innerhalb von probabilistischen Brandanalysen (Brand-PSA) durchgeführt werden müssen, stehen die Ausfallraten mit ihren relevanten 5 % und 95 % Fraktilwerten zur Verfügung.

Bei der Verwendung berechneter Ausfallwahrscheinlichkeiten sind systemspezifische Zusatzüberlegungen anzustellen. Diese resultieren z. B. daraus, dass die hergeleiteten Ausfallraten keine Auslegungsfehler abdecken und ausschließlich auf WKP-Befunden basieren:

### **Brandmeldetechnik**

In den Ausfallraten werden Auslegungsfehler nicht berücksichtigt. So kann ein Rauchmelder für eine auftretende Brandkenngroße ungeeignet sein oder im Brandfall bzw. innerhalb der Brandentstehungsphase nicht von Rauch angeströmt werden. Gemäß französischer Betriebserfahrung /IRS 13/ ist der Beitrag aus diesen Fehlerquellen nicht zu vernachlässigen. Hierdurch kann es zumindest zu einer Verzögerung der Auslösung kommen.

Potentielle Ausfälle der Brandmeldeanlage, die innerhalb von WKP nicht erkannt wurden, z. B. durch die Stromversorgung des Systems und Ausfallzeiten durch nicht eingerechnete selbstmeldende Ausfälle (Abschnitt 3.1), sind gesondert zu diskutieren. Bisher liegen den Autoren keine Daten vor, um diese Nichtverfügbarkeiten zu quantifizieren. Die in /STA 07/ veröffentlichten Daten können ggf. dazu beitragen, hier eine ergänzende anlagenspezifische Abschätzung zu machen.

Die Zuverlässigkeit einer Brandmeldeanlage wurde vor dem Hintergrund einer erfolgreichen Brandmeldung auf der Warte bewertet (vgl. auch Fehlerbaum der Abb. 3-1). Hieraus resultierende Personal- oder Schalthandlungen (Verifikation eines Brands durch Anlagenwärter, interne und externe Alarmierung, Lüftungsabschluss, Auslösung von Löschanlagen etc.) sind nicht mehr Teil des Betrachtungsumfangs.

Da für die Komponenten Brandmeldehauptzentrale, Brandmeldeunterzentrale, Einschub und Brandmeldelinie jeweils Null-Fehler-Statistiken beobachtet wurden, bestimmen die vorliegenden, teilweise noch geringen Beobachtungsdauern die Ausfallraten (vgl. Abb. 3-2). Da im Fehlerbaum der Brandmeldeanlage (Abb. 3-1) mehrere Komponenten mit Null-Fehler-Statistik seriell verknüpft sind, wird die Systemzuverlässigkeit wesentlich durch die gewählte Abgrenzung der Komponentenfunktionen bestimmt. Es ist deshalb möglich, verschiedene Komponentenfunktionen zusammenzufassen, um die Anzahl der Komponenten im Fehlerbaum und damit den Einfluss der Null-Fehler-Statistiken zu reduzieren.

## **Raumabschließende Bauteile**

Falls ein Lüftungsabschluss eines Brandraums durch Fernauslösung der Brandschutzklappen eingeleitet wird, kann es zum Gruppenausfall der Brandschutzklappen kommen, falls Defekte z. B. nicht beim Hubmagneten, sondern an der auslösenden Stelle vorliegen. Diese in den WKP beobachteten Ausfallarten wurden nicht ausgewertet, da Ausfälle bisher immer auf die Anzahl der Brandschutzklappen bezogen wurden (Abschnitt 3.2.1.2). Um im Bedarfsfall die Auswirkungen eines Gruppenausfalls zu untersuchen, sollte der Ausfall der Fernauslösung konservativ als Gruppenausfall angenommen und die alternative Auslösung der Brandschutzklappen über Schmelzlot mitbetrachtet werden.

Für raumabschließende Bauteile, wie Brandschutzklappen und Brandschutztüren, wurde die Bewertung unabhängig von Annahmen zum Brandszenario vorgenommen. So wurde in Übereinstimmung mit den Vorgängervorhaben ein Verriegeln von Brandschutzklappen nicht als notwendige Funktion angenommen (Abschnitt 3.2.1). Da Brandversuche mittlerweile gezeigt haben, dass der Druckverlauf in den Lüftungsleitungen im Brandfall, insbesondere für Räume im inneren Sicherungsbereich, starken Schwankungen unterworfen sein kann, ist die obige Annahme unter Umständen nicht ausreichend konservativ. Ob durch eine nicht verriegelte Brandschutzklappe eine Brandweiterleitung ermöglicht wird, oder nur die Nachweiskriterien nach DIN 4102, Teil 5 /DIN 77/ nicht eingehalten werden, ist wiederum im Einzelfall zu bewerten.

Für Brandschutztüren (Abschnitt 3.3) wurde zur Berücksichtigung von Druckeffekten in diesem Vorhaben ergänzend zum vollständigen „Selbstschließen“ eine Ausfallrate für den Mangel „Verriegelung“ (vgl. Tabelle 3-18) bestimmt. Auch hier sind im Einzelfall branddynamische Zusatzüberlegungen zum Ausfallverhalten anzustellen.

## **Einrichtungen zur Rauch- und Wärmeabfuhr**

Einrichtungen zur Rauch- und Wärmeabfuhr, wie Rauch- und Wärmeabzugsklappen sowie Bypassklappen in Kanälen (Abschnitt 3.2.2), Entrauchungsanlagen in Maschinenhäusern (Abschnitt 3.2.3) und natürliche Rauchabzugsgeräte aus Treppenhäusern und Fluren (Abschnitt 3.2.4), dienen zur Verdünnung und Kühlung des Brandrauchs oder zur Einhaltung einer raucharmen Schicht. Ob dieses Schutzziel erreicht wird, hängt neben der im Vorhaben betrachteten Ansteuerungs- und Öffnungsfunktion von vielen weiteren Faktoren ab wie der Auslegung der Systeme, dem maschinellen oder

natürlichen Luftwechsel, dem Brandszenario und der Konstitution sowie der persönlichen Schutzausrüstung der in den Brandraum hineingehenden Personen. Die Bewertung der Wirksamkeit hat immer im Einzelfall zu erfolgen.

### **Feuerlöscheinrichtungen**

Bei der Verfügbarkeit der Feuerlöschpumpen (Abschnitt 3.4.1) wurden das Zuschalten (Fernauslösung) und die Förderleistung einer Pumpe einzeln bewertet. Dabei ist eine *automatische* Zuschaltung über Druckschalter in den Referenzanlagen unterschiedlich geregelt und im Einzelfall, evtl. auch als manuelle Zuschaltung, zu modellieren. Die Verfügbarkeit der Förderleistung bezieht sich auf die Nennförderleistung bezogen auf die Gesamtauslegung (z. B. 4 x 50 % oder 3 x 100 %). Die erforderliche Förderleistung im Anforderungsfall kann diese unter- oder überschreiten.

Die Verfügbarkeit der Ringleitung einschließlich evtl. verschlossener Überflutungsschutz-, Gebäudeabschluss- oder Freischaltarmaturen ist gesondert zu bewerten.

Die Verfügbarkeit von Hydranten einschließlich Schaumzumischer (Abschnitt 3.4.2) wurde in Übereinstimmung mit den Vorgängervorhaben vor dem Hintergrund der Nutzung durch Feuerwehrpersonal bewertet. Bezogen auf die Nutzung durch Ersthelfer sind weitere Einschränkungen, z. B. durch Schwergängigkeiten oder Ausfälle an Schläuchen oder Strahlrohren, beobachtet worden.

Die Auslegung der Anlagen sowie die Auswahl der Löschmittel wurden nicht beurteilt. Bei stationären Feuerlöschanlagen wurde nur die Funktion der Fernschaltventilstationen (Abschnitt 3.4.3) bewertet; die übrigen Teile des Systems wie Rohrnetze und Löschdüsen wurden nicht einbezogen.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Im Rahmen des BMU-Vorhabens 3610R01370 "Ergänzung und Aktualisierung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Leichtwasserreaktoren" wurden anlagenspezifische und generische Ausfallraten für die technische Zuverlässigkeit von aktiven Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken ermittelt. Die Ergebnisse stellen dabei eine Ergänzung und Erweiterung der in früheren Vorhaben ermittelten Ausfallraten /ROE 97/, /ROE 01/ und /LIN 05/ dar, so dass mittlerweile Ausfallraten für insgesamt sechs deutsche Referenzanlagen mit sieben Kraftwerksblöcken vorliegen.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Daten für folgende Brandschutzeinrichtungen ermittelt und statistisch ausgewertet:

- Brandmeldeanlagen einschließlich ihrer Peripherie, d. h. Brandmeldezentralen, Unterzentralen, Einschübe mit Brandmeldelinien, Brandmeldelinien und automatische Brandmelder sowie Handfeuermelder,
- ortsfeste Löschanlagen, Löschwasserversorgung, Hydranten und Schaumzumischer,
- Brandschutztüren, Feststellanlagen für Brandschutztüren,
- Brandschutzklappen und Entrauchungsklappen in Lüftungskanälen sowie
- Rauch- und Wärmeabzugsgeräte.

Wesentliche inhaltliche Erweiterungen betreffen vor allem eine genauere Beschreibung und Differenzierung der untersuchten Komponententypen zur Schaffung einheitlicherer Grundgesamtheiten und die Zerlegung von Komponentenfunktionen in Teilfunktionen, z. B. für die Ansteuerung einerseits und die Schließ-/Öffnungsfunktion andererseits. Dadurch können verschiedenartige, teilweise redundante Auslösungen in Fehlerbauten berücksichtigt werden.

Die ermittelten Ausfälle basieren auf der Auswertung wiederkehrender Prüfungen (WKP) in den Referenzanlagen. Aus der so ermittelten Anzahl von Ausfällen und dem Betrachtungszeitraum aller Komponenten wird mittels des Ansatzes von Bayes eine mittlere Ausfallrate für die betrachteten Funktionen bzw. Teilfunktionen bestimmt. In

einem zweistufigen statistischen Verfahren wird zusätzlich der Vertrauensbereich für die anlagenspezifischen Ausfallraten geschätzt. Generische Ausfallraten werden aus vergleichbaren anlagenspezifischen Daten gebildet. Dabei wird zur Berücksichtigung anlagenspezifischer Unterschiede ein Superpopulationsansatz angewendet. Die Daten typengleicher, elektrischer bzw. elektronischer Komponenten der Brandmeldeanlage werden hingegen zusammengefasst, wodurch die statistische Unsicherheit reduziert wird.

Die so ermittelten anlagenspezifischen und generischen Ausfallraten werden mit ihren 5 %-, 50 %, 95 %- Fraktilwerten, dem Mittelwert und der Standardabweichung für jede Brandschutzeinrichtung bzw. Funktion oder Teilfunktion in Tabellen ausgewiesen.

Aus den ermittelten Ausfallraten können mit Hilfe der vorliegenden Prüfindervalle Ausfallhäufigkeiten bei Anforderung bestimmt werden. Die ermittelten Kenngrößen beziehen sich auf die technische Verfügbarkeit der betrachteten Funktionen oder Teilfunktionen, die im Einzelnen beschrieben werden. Bei der Verwendung der berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten sind systemspezifische Zusatzüberlegungen anzustellen. Diese resultieren z. B. daraus, dass die hergeleiteten Ausfallraten keine Auslegungsfehler abdecken und ausschließlich auf WKP-Befunden basieren. Zu den Anwendungsgrenzen der ermittelten Ausfallraten für die jeweils beschriebenen Systemfunktionen werden detaillierte Hinweise gegeben.

Die dargestellten Anwendungsgrenzen lassen sich erweitern, in dem die Systemfunktionen teilweise noch detaillierter unterteilt werden. Insbesondere betrifft dieses die unterschiedlichen Varianten der Fernsteuerung von Brandschutzeinrichtungen und Möglichkeiten von Mehrfachausfällen, letztere insbesondere bei Brandschutzklappen.

Die realistische Bewertung der Zuverlässigkeit der Brandmeldetechnik hat einen besonders hohen Einfluss auf das gesamte abwehrende Brandschutzkonzept einer Anlage. Da die technische Zuverlässigkeit der Systeme sehr hoch ist und viele Ausfallarten selbstmeldend sind, stößt die allein WKP-bezogene Auswertung bezüglich der Brandmeldetechnik an Grenzen. Zur Ergänzung der WKP-bezogenen Auswertung sollten die Beiträge der Ausfallzeiten aus selbstmeldenden Ausfällen quantifiziert werden und ein Verfahren zur Abschätzung von Systemeinschränkungen durch Auslegungsfehler entwickelt werden. Da für einige Komponenten der Brandmeldeanlage methodisch bedingt relativ hohe Ausfallraten ermittelt wurden, sind der Beobachtungszeitraum sinnvoller Weise auszuweiten bzw. generische Zuverlässigkeitsdaten hinzuzuziehen.

In diesem Vorhaben wurden deutliche Fortschritte bei der Zuverlässigkeitsbewertung raumabschließender Bauteile wie Brandschutzklappen und -türen erzielt. Bei rein passiven Bauteilen, wie Kabelabschottungen, Brandschutzkanälen und Verkleidungen, konnten aber bisher keine quantitativen Ergebnisse erreicht werden. Um hier deutliche Fortschritte zu erzielen, sind neben der Auswertung von Befunden auch branddynamische Betrachtungen mit einzubeziehen, um quantitative Beurteilungskriterien zu entwickeln.



## **6        Literatur**

- /ATW 03/ Atwood, C. L., et al.:  
Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment  
Sandia National Laboratories, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office  
of Nuclear Regulatory Research, Washington, DC, NUREG/CR-6823 bzw.  
SAND2003-3348P, September 2003
- /BEC 01/ Becker, G.; E. Hofer:  
Schätzung von Zuverlässigkeits-Kennwerten aus der Evidenz verschiede-  
ner Anlagen: Vergleich der Annahme einer gemeinsamen Ausfallrate  
("Common Incidence Rate" - Modell) mit Herangehensweisen unter Ver-  
wendung des Superpopulationsansatzes, Gesellschaft für Anlagen- und  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2918, Köln; Juli 2001.
- /CEA 99/ Comité Européen des Assurances (CEA):  
Specifications for Fire Detection and Fire Alarm Systems Requirements  
and Test Methods for Aspirating Smoke Detectors, CEA 0422, Brüssel,  
1999
- /DIN 77/ Deutsches Institut für Normung:  
DIN 4102, Teil 5: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Lüftungs-  
leitungen - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Beuth-Verlag, Berlin,  
September 1977
- /DIN 77a/ Deutsches Institut für Normung:  
DIN 4102, Teil 6: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Feuer-  
schutzabschlüsse, Abschlüsse in Fahrschachtwänden und gegen Feuer  
widerstandsfähige Verglasungen - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen,  
Beuth-Verlag, Berlin, September 1977
- /DIN 06/ Deutsches Institut für Normung:  
DIN EN 54, Teil 20: Brandmeldeanlagen - Ansaugrauchmelder; Deutsche  
Fassung EN 54-20, Beuth-Verlag, Berlin, Erstausgabe 2006 (aktueller  
Stand 2009-02)

- /FAK 05/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:  
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,  
Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Salzgitter; Oktober 2005
- /FAK 05a/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:  
Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, Stand: August 2005, BfS-SCHR-38/05, Salzgitter; Oktober 2005
- /GRS 94/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:  
Weiterleitungsnachricht zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 1994/01A-D) - Funktionsstörung in der Mechanik der Schmelzlotauslösung von Brandschutzklappen im KXX und KYY (*Titel anonymisiert*), 1994
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:  
Weiterleitungsnachricht zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2003/13) - Ausfall der Brandmeldeanlage Reaktorgebäude aufgrund einer Störung in der Spannungsversorgung im Kernkraftwerk KAA am aa.bb.2002 (*Titel anonymisiert*), 2003
- /IAE 04/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-1.7, Wien, 2004
- /IRS 13/ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN):  
Persönliche Mitteilung, November 2013.
- /KTA 00/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):  
Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 2101, Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 1-3, Fassung 12/00, Dezember 2000,  
<http://www.kta-gs.de/>

- /LIN 05/ von Linden, J. et al.:  
Ausgewählte probabilistische Brandanalysen für den Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb einer Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3227, Köln; Oktober 2004, und Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2005-666; 2005,  
<http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/bmu-2005-666-ausgewaehlte-probabilistische-brandanalysen-fuer-den-leistungs-und-nichtleistungsbetrieb-einer-referenzanlage-mit-siedewasserreaktor/>
- /PES 95/ Peschke, J.:  
Methoden zur Gewinnung von Verteilungen für Zuverlässigkeitskenngrößen aus Vorinformation und anlagenspezifischer Betriebserfahrung, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2220, Garching. 1995.
- /PES 97/ Peschke, J.:  
Der Superpopulationsansatz zur Ermittlung von Verteilungen für Ausfallraten und Eintrittshäufigkeiten auslösender Ereignisse, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2444, Garching, April 1997.
- /PES 10/ Peschke, J.:  
Methodik zur Berücksichtigung epistemischer Unsicherheitsquellen bei der Schätzung von Zuverlässigkeitskenngrößen, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3540, Garching, April 2010.
- /ROE 97/ Röwekamp, M.; T. Riekert, W. Sehrbrock:  
Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2456 (Rev. 1), und Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1997-486, ISSN 0724-3316, 1997.

- /ROE 01/ Röwekamp, M.; S. Oltmanns:  
Ermittlung kernkraftwerksspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in einem älteren Kernkraftwerk und in einer Konvoi-Anlage, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2826 und Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2001-573, ISSN 0724-3316, Bonn, 2001.
- /SCH 97/ Schüller, J. C. et al.:  
Methods for determining and processing probabilities 'Red Book', Publication Series on Dangerous Substances 4 (PGS 4), Hrsg.: The Director-General for Social Affairs and Employment, Committee for Prevention of Disasters, Den Haag, 1997
- /STA 07/ Staimer, A.; W. Klein; F. Montrone:  
Hochwertige Systeme als Voraussetzung für höchste Verfügbarkeit  
vfdb-Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz.  
56. Jg., Heft 1, S. 7-13, Februar 2007.
- /STI 08/ Stiller J. C.; A. Kreuser; C. Versteegen:  
Consideration of Additional Uncertainties in the Coupling Model for the Estimation of Unavailabilities due to Common Cause Failures, in: Proceedings of the 9th International Conference on Probabilistic Safety Assessment & Management PSAM 9, Hong Kong, China, Mai 2008.



# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz