



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

SCHRIFTENREIHE REAKTORSICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

**BEWERTUNG VON PERSONALHANDLUNGEN BEI DER
BRANDENTSTEHUNG, BRANDERKENNUNG, UND
BRANDBEKÄMPFUNG IN DEUTSCHEN KERNKRAFTWERKEN**

BMU - 2005-664



WIR STEuern UM AUF ERNEUERBARE ENERGIEN.

BMU – 2005-664

**„Bewertung von Personalhandlungen bei der
Brandentstehung,
Branderkennung, und
Brandbekämpfung in deutschen
Kernkraftwerken“**

M. Röwekamp

M. Türschmann

IMPRESSUM

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

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

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Referat RS I 2

Postfach 12 06 29

53048 Bonn

ISSN 1612-6386

Erscheinungsjahr: 2005

Kurzfassung

Im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2369, welches eine Weiterentwicklung der Bewertung manueller und technischer Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken zum Ziel hatte, sollte unter anderem der menschliche Einflussfaktor, zum einen bei der Entstehung eines Brandes, aber auch bei der Branderkennung und -bekämpfung genauer untersucht und ein erster Vorschlag für eine Vorgehensweise zur quantitativen Bewertung der menschlichen Handlungen bei Brandereignissen in Kernkraftwerken erarbeitet werden.

Datenbasis für diese Untersuchungen waren die in deutschen Kernkraftwerken und größeren Prototypreaktoren aufgetretenen, meldepflichtigen Brandereignisse. Ergänzend dazu wurden Erkenntnisse aus ausländischen Betriebserfahrungen und beispielhaft aus zwar nicht meldepflichtigen, aber ausreichend ausführlich dokumentierten weiteren Bränden in deutschen kerntechnischen Einrichtungen berücksichtigt. Anhand eines Beispiels für einen genau untersuchten Ereignisablauf aus einer PSA-Brand für eine deutsche Referenzanlage wurde aufgezeigt, welche Informationen für eine sinnvolle statistische Auswertung der verfügbaren Betriebserfahrung aus dem In- und Ausland in welchem Detail vorhanden sein müssen.

Die Untersuchungen zeigten zum einen, dass die bislang verfügbare Datenbasis von nur 53 meldepflichtigen Bränden in deutschen Kernkraftwerken und größeren Prototypreaktoren deutlich zu gering ist für eine belastbare quantitative Bewertung des menschlichen Einflusses sowohl bei der Ereignisverursachung als auch im Ereignisverlauf. Für eine belastbare Datenbasis sind in jedem Falle auch gemeldete Brandereignisse aus ausländischen Anlagen sowie nicht meldepflichtige Brandereignisse und Fehlalarme in deutschen kerntechnischen Einrichtungen mit einzubeziehen.

Weiterhin ist die derzeit verfügbare Dokumentation der gemeldeten Ereignisse nur in den wenigstens Fällen hinreichend ausführlich, insbesondere was den exakten zeitlichen Ereignisablauf betrifft. Derartige Informationen zu real stattgefundenen Bränden wie auch Fehlalarmen liegen aber im Allgemeinen bei deutschen Kernkraftwerksbetreibern vor. Für eine quantitative Bewertung des Einflussfaktors Mensch bei Bränden in Kernkraftwerken müssten alle derartigen Detailinformationen zur Verfügung stehen. Damit könnte auch die Aussagesicherheit von Ergebnissen der Brand-PSA zu einzelnen Brandereignisabläufen deutlich erhöht werden.

Abstract

In the frame of the BMU project SR 2369 aiming on providing enhanced methods for the assessment of manual as well as technical fire protection means for nuclear power plants, the human factor being relevant on the one hand with respect to the fire occurrence as well as to the fire detection and extinguishing on the other hand should be analysed. A first approach for a quantitative assessment of human actions during fire events in nuclear power plants should be developed.

The analyses are based on the reportable fire events from nuclear power plants and large prototype reactors in Germany. In addition, insights from the international operating experience and a few further exemplary fire events from German plants, which are non-reportable, but nevertheless satisfactory documented in detail, are to be considered. By means of a selected fire event sequence analysed in detail in the frame of a fire PSA for a German reference plant it was demonstrated which types of information have to be available in detail for a statistic evaluation of the national as well as international operating experience with fires at nuclear power plants.

On the one hand, the investigations gave the indication that the available German data base of up to now only 53 reportable fire events at nuclear power plants and large prototype reactors is much too small for a reliable quantitative assessment of the human factor, with respect to the fire root causes as well as with respect to the human actions during the event sequence. For a reliable data base internationally occurred fire events as well as non-reportable fire events and false alarms have to be also considered.

On the other hand, most of the reported German fire events are not sufficiently detailed documented, particularly with regard to the exact and detailed event sequence. However, such information is available at the German nuclear power plant licensees for fire events as well as for false alarms. It has to be made available to the analysts for a quantitative assessment of the human factor during the event sequence of nuclear power plant fire events. By this means, the reliability of the fire PSA results could be enhanced.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Auswertung der deutschen Betriebserfahrung	3
2.1	Vorgehensweise und Datenbasis.....	3
2.2	Ergebnisse aus der deutschen Betriebserfahrung	9
2.3	Erfahrungsrückfluss von externen Einsatzkräften	20
2.4	Beispielhafte qualitative Auswertung ausgewählter Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken	20
3	Berücksichtigung von Erfahrungen aus Ereignissen in Kernkraftwerken im Ausland	25
3.1	Vorhandene Datenbasis und generelles Vorgehen	25
3.2	Ergebnisse der internationalen Betriebserfahrung	25
4	Vorschlag für eine quantitative Bewertung der manuellen Brandbekämpfung	33
4.1	Internationale Vorgehensweise bei der quantitativen Bewertung des Einflussfaktors Mensch	33
4.2	Erarbeitung eines Vorschlags für eine quantitative Bewertung der manuellen Brandbekämpfung	34
4.3	Erste Erprobung anhand eines Beispiels aus der Brand-PSA für eine Referenzanlage vom Typ Konvoi	36
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	41
6	Literatur.....	43

Anhang A: Berücksichtigung unsicherer Parameter in Bezug auf Brandmeldung und Brandbekämpfung für ein ausgewähltes Beispiel aus der Brand-PSA für eine Referenzanlage vom Typ Konvoi

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Zeitspannen für eine erfolgreiche Brandbekämpfung	7
Tab. 2-2:	Art der meldepflichtigen Brände bei deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren.....	10
Tab. 2-3:	Branderkennung und –meldung meldepflichtiger Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren	14
Tab. 2-4:	Zeitliche Anteile bei der Brandbekämpfung meldepflichtiger Brände in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei einem Ereignis keine Angabe)	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Aufteilung meldepflichtiger Brandereignisse während des kommerziellen Betriebs in deutschen Kernkraftwerken nach Art der betroffenen Einrichtungen (bei zwei Ereignissen mehr als eine Art).....	10
Abb. 2-2:	Beteiligung des Menschen an der Brandverursachung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (8 bzw. 5 Ereignisse haben sowohl menschliche als auch technische Ursachen).....	11
Abb. 2-3:	Beteiligung von Menschen an der Branderkennung und -alarmierung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei 11 bzw. 8 Ereignissen erfolgte die Branderkennung sowohl automatisch als auch durch Menschen).....	12
Abb. 2-4:	Zeitliche Aufteilung der Branderkennung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren in [%] (Mehrfachnennung möglich).....	15
Abb. 2-5:	Beteiligung von Menschen an der Brandbekämpfung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei nur einem Ereignis erfolgte die Brandbekämpfung sowohl automatisch als auch durch Menschen)	18
Abb. 2-6:	Beteiligung von Menschen an der Brandbekämpfung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren in [%] (Mehrfachnennungen möglich).....	19
Abb. A-1:	Erforderliche Zeit zur Brandbekämpfung in Abhängigkeit von Temperatur der Heißgasschicht und Löschmittel.....	55

1 Einführung

Im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2369 "Weiterentwicklung der Bewertung manueller und technischer Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken" sollte im Arbeitspaket "Quantitative Bewertung der manuellen Brandbekämpfung" (siehe (BFS 00/)) der menschliche Einflussfaktor zum einen bei der Entstehung eines Brandes, insbesondere aber bei der Branderkennung und –bekämpfung, genauer untersucht werden. Hierzu sollten unter anderem auch erste Erkenntnisse aus international in Kernkraftwerken aufgetretenen Brandereignissen mit in diese Studie einbezogen werden. Als Datenbasis für diese Untersuchungen waren die in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen meldepflichtigen Brandereignisse vorgesehen. Ergänzend sollten Erkenntnisse aus zwar nicht meldepflichtigen, aber beispielsweise wegen des öffentlichen Interesses in den Medien bekannt gewordenen Bränden in deutschen kerntechnischen Einrichtungen berücksichtigt werden.

Bereits im Verlauf der Untersuchungen stellte sich sehr schnell heraus, dass diese Datenbasis bis zum Ende der Untersuchungen mit insgesamt nur 25 meldepflichtigen Brandereignissen bei in kommerziellem Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerken nicht sehr umfangreich ist. Zudem ist aus dem vorliegenden Datenmaterial, insbesondere bei Ereignissen, die bereits länger als 10 Jahre zurückliegen, nicht mehr ohne Weiteres zu klären, wie sich menschliches Verhalten auf die Ereignisse selbst, ihre Entstehung sowie ihren Verlauf im Einzelnen ausgewirkt haben. Dementsprechend war eine umfangreiche statistische Auswertung im Rahmen des o.g. Vorhabens nicht möglich. Erste statistische Analysen hinsichtlich des menschlichen Einflusses können demzufolge nur als Grobabschätzung gewertet werden.

Auftragsgemäß wird im vorliegenden Bericht eine systematische Vorgehensweise vorgestellt, mittels welcher der Einflussfaktor Mensch zumindest bei der Branderkennung und –bekämpfung und gegebenenfalls auch bei der Entstehung bzw. Verursachung von Bränden in kerntechnischen Einrichtungen nicht nur qualitativ, sondern – bei einer ausreichenden Datenbasis - auch quantitativ bewertet werden könnte. Ebenfalls wird anhand der durchgeführten Untersuchungen beispielhaft dargestellt, welche Arten von Informationen für eine sinnvolle statistische Auswertung der verfügbaren Betriebserfahrung aus dem In- und Ausland in welchem Detail vorhanden sein müssen.

Die vorliegende Arbeit dient dem BMU zur Unterstützung bei seinen bundesaufsichtlichen Aufgaben. Da die im August 2000 von Seiten des BMU vorgegebenen Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht /BMU 01/ nicht Vertragsbestandteil dieses Vorhabens sind, kann nicht vorausgesetzt werden, dass die vorliegende Ausarbeitung diesen Anforderungen genügt.

2 Auswertung der deutschen Betriebserfahrung

2.1 Vorgehensweise und Datenbasis

Die generelle Vorgehensweise bei den dargestellten Untersuchungen zum menschlichen Einfluss bei Bränden in kerntechnischen Anlagen basiert zunächst auf einer ausführlichen Recherche aller verfügbarer Unterlagen zu meldepflichtigen bzw. gemeldeten Brandereignissen. Grundlegende Informationen sind zunächst den Meldeformularen für meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken sowie der bei der GRS entwickelten und verfügbaren Datenbank "VERA" /GRS 02/ zu entnehmen. Weitere, vertiefte Informationen wurden zahlreichen gutachterlichen Stellungnahmen, Untersuchungsberichten und Informationsnotizen bzw. Schreiben der jeweils von den zuständigen Landesbehörden beauftragten und in die Untersuchungen dieser Ereignisse eingebundenen Sachverständigenorganisationen, wie den Technischen Überwachungs-Vereinen (TÜV), ESN (Energie System Nord) oder dem Germanische n Lloyd (GL), entnommen.

Für einige der gemeldeten Brandereignisse liegen zudem direkte Informationen z.B. als Telefon- oder Besprechungsnotizen vor. Sofern zu den betreffenden Brandereignissen von der GRS Vorabinformationen für BMU oder BfS oder ausführliche Stellungnahmen oder Weiterleitungsnachrichten erstellt wurden, haben auch diese Eingang in die Untersuchungen gefunden. Gleiches gilt für die für nur sehr wenige Brandereignisse erstellten internationalen Meldungen, z.B. beim IRS (Incident Reporting System) der IAEA (International Atomic Energy Agency) und NEA (Nuclear Energy Agency) oder INES der IAEA.

Da die Anzahl der seit Bestehen der deutschen Meldekriterien, d.h. seit 1971 gemeldeten Brandereignisse in kommerziell in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken mit nur 25 Bränden überaus gering ist, wurden zusätzlich alle weiteren gemeldeten Brandereignisse (u. a. in größeren Prototyp-Reaktoren, wie beispielsweise den inzwischen stillgelegten Anlagen AVR oder KNK-I und KNK-II) oder auch Ereignisse während der Betriebsphasen außerhalb des kommerziellen Betriebs (d.h. während des Baus, Probetriebs und der Stilllegung) mit berücksichtigt.

Sofern Informationen zu den zunächst gemeldeten, aber entsprechend den geltenden Meldekriterien nicht meldepflichtigen Ereignissen vorlagen, wurden auch diese in die Untersuchungen integriert.

Der Brandschutz in deutschen Kernkraftwerken wurde in der Vergangenheit immer wieder überprüft und ertüchtigt. Dabei hat man Erkenntnisse aus in ausländischen Anlagen aufgetretenen Brandereignissen dazu genutzt, soweit wie möglich vorbeugende Maßnahmen zu treffen zur Verhinderung von Entstehungsbränden und zur Beschränkung bzw. schnellen Eindämmung von einmal entstandenen Bränden. Dies hat in Kombination mit den seit 1989 geltenden Meldekriterien für meldepflichtige Ereignisse in Kernkraftwerken dazu geführt, dass die Anzahl gemeldeter möglicher Brandereignisse in den letzten etwa 10 Jahren nur äußerst gering war. Dies erklärt sicherlich, wie schwierig es ist, verwertbare Informationen zum Einfluss des Menschen bei Brandereignissen in kerntechnischen Anlagen zu erhalten.

Zum einen ist die Datenbasis generell nicht gerade umfangreich. Zum anderen liegen aus den o.g. Informationsquellen kaum statistisch verwertbare Informationen zum menschlichen Einflussfaktor vor, und wenn doch, sind aus der unpräzisen und verallgemeinernden Formulierung keine gesicherten Schlüsse zu ziehen. Grundsätzlich besteht zwar die Möglichkeit, bei den Autoren der vorliegenden Dokumente detaillierte Informationen zu erfragen. Bei länger zurückliegenden Ereignissen (5 Jahre) ist es kaum noch möglich, genauere abgesicherte Informationen zu erhalten. Nur wenn die anlageninterne Dokumentation zu dem Ereignis noch vorhanden ist und entsprechende Protokolle mit genauen zeitlichen Abläufen verfügbar sind (wie es u.a. bei einem zunächst gemeldeten, jedoch nicht meldepflichtigen Brandereignis im Kernkraftwerk Biblis, Block A im März 1993 der Fall war, für welches detaillierte Informationen bis hin zu einer beispielhaften "Root Cause Analysis" für die IAEA (siehe auch /IAE 99/) vorliegen), besteht die Chance auf präzise Information.

Bei anderen deutschen Brandereignissen kann der Einfluss des Menschen - zumindest was die Branderkennung und -bekämpfung betrifft – nur sehr grob abgeschätzt werden. Nach Rücksprache mit den für die Ereignismeldungen zuständigen bzw. für den Brandschutz verantwortlichen Mitarbeitern in deutschen Anlagen können bei der Brandmeldung grob die folgenden Kategorien unterschieden werden:

- keine Meldung/Erkennung
- unmittelbare/frühe Erkennung durch:

- a) Brandmeldeanlage
- b) Personal
- späte Branderkennung durch:
 - a) Brandmelder in benachbarten Raumbereichen
 - b) Personal
 - c) Störsignale auf der Warte

Dabei ist unter frühzeitiger bzw. kurzfristiger Branderkennung und -meldung ein Zeitraum von etwa 2-5 Minuten (siehe auch /FAK 97a, FAS 01, GRS 02a, HAI 02 und HAI 02a /) zu verstehen, für eine späte Brandmeldung ist ein Zeitraum von mehr als 10 Minuten zu unterstellen.

Hinsichtlich der Brandbekämpfung sind andere Unterscheidungsmerkmale für den menschlichen Einflussfaktor zu berücksichtigen. Der Einfluss des Menschen wirkt sich dabei nicht nur zeitlich aus, hier können viel eher als bei der Branderkennung auch menschliche Fehlhandlungen unterstellt werden, da bei der Brandbekämpfung auch Entscheidungen, u.a. zur Wahl des richtigen Löschmittels und dessen Menge, zu treffen sind. Je nach Art der betroffenen Brandlast und deren Menge können zum Teil verschiedene Löschmittel zur Brandbekämpfung geeignet sein. Bei der Wahl des richtigen Mediums zur Brandbekämpfung spielen dann auch noch andere Aspekte, wie z.B. mögliche Schädigungen von sicherheitsrelevanten Einrichtungen bzw. Komponenten (z.B. an elektrischen bzw. elektronischen Einrichtungen), durch große Kälte oder Wasser etc. eine wesentliche Rolle. Dabei sind auch betriebliche Aspekte wie die Anlagenverfügbarkeit mit zu berücksichtigen.

Fehlhandlungen können entweder zu einem Misserfolg bzw. zu deutlichen Verzögerungen bei der Brandbekämpfung führen oder negative Auswirkungen auf sicherheitstechnisch relevante Einrichtungen zur Folge haben. Derartige Aufschlüsselungen sind aus den bisher vorliegenden Hintergrundinformationen zu Brandereignissen in kerntechnischen Anlagen derzeit nicht bzw. noch nicht möglich, da alle in deutschen Anlagen bisher aufgetretenen Brände letztlich erfolgreich bekämpft wurden (diese Brände hatten keine nennenswerten Auswirkungen mit der Folge von Kernschäden). Damit kann bislang, ähnlich wie bei der Branderkennung und -meldung, die folgende, sehr grobe Kategorisierung der Ereignisse erfolgen:

- Brand von selbst erloschen
- Frühzeitige Brandbekämpfung:
 - a) erfolgreich durch Personal/Feuerwehr
 - b) erfolgreich mittels Feuerlöschsystem
 - automatisch ausgelöst
 - manuell ausgelöst
 - c) nicht erfolgreich
- Späte Brandbekämpfung:
 - a) erfolgreich durch:
 - Personal
 - Werksfeuerwehr
 - externe Feuerwehr
 - b) erfolgreich mittels Feuerlöschsystem
 - automatisch ausgelöst
 - manuell ausgelöst
 - c) nicht erfolgreich

Entsprechend den Aussagen sowohl der Fachleute von Seiten des Betreibers (d.h. Brandbekämpfungspersonal/Werksfeuerwehr) als auch von Seiten der zuständigen Gutachter- und Sachverständigenorganisationen (vgl. dazu auch /FAK 97a,/FAS 01, GRS 02a, HAI 02 und HAI 02a/) ist von den nachfolgend tabellarisch dargestellten Zeiträumen hinsichtlich der Brandbekämpfung auszugehen.

Tab. 2-1: Zeitspannen für eine erfolgreiche Brandbekämpfung

Brandlöschung	Nichtverfügbarkeit / mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung in der	
	Brandentstehungs- und Brandausbreitungsphase (1)	Vollbrandphase (2)
Transportabler Feuerlöscher (1) oder Wandhydrant (2) nach:		
1 min ¹⁾	0.05	
3 min	0.1	
5 min	0.3	
10 min	0.6	
> 10 min	0.95	
	0.05 ²⁾	-
Ortsfeste Feuerlöschpumpe	8.5 E-4 – 1.6 E-2 ³⁾	8.5 E-4 – 1.6 E-2 ³⁾
Ortsfeste CO ₂ -Gaslöschanlage	9.2 E-3 – 8.1 E-2 ³⁾	9.2 E-3 – 8.1 E-2 ³⁾
Ortsfeste Inergen-Gaslöschanlage	5.8 E-2 ³⁾	5.8 E-2 ³⁾
Ortsfeste Sprühwasserlöschanlage	2 E – 2 ³⁾	2 E – 2 ³⁾
- mit Fernschaltventilstation:		
• Totalausfall	2.2 E-4 – 2.5 E-3 ³⁾	2.2 E-4 – 2.5 E-3 ³⁾
• Ausfall Fernauslösung	2.5 E-3 – 2.9 E-2 ³⁾	2.5 E-3 – 2.9 E-2 ³⁾
- mit Nassalarmventilstationen	3.2 E-4 ³⁾	3.2 E-4 ³⁾
Wandhydrant	1.9 E-4 – 7.4 E-3 ³⁾	1.9 E-4 – 7.4 E-3 ³⁾
Überflurhydrant	1.9 E-3 – 5.4 E-3 ³⁾	1.9 E-3 – 5.4 E-3 ³⁾

1) Zeit zwischen automatischer Branderkennung und einsetzender Brandlöschung

2) Personelle Branderkennung und unmittelbare Brandlöschung

3) Technische Nichtverfügbarkeit nach /RÖW 00/ bzw. /RÖW 97/; Nichtverfügbarkeit infolge Personalfehlhandlung ist anlagenspezifisch zu ermitteln

Dabei ist unter anderem zu berücksichtigen, dass je nach Art und Menge der vorhandenen Brandlast sowie abhängig von den jeweiligen Ventilationsbedingungen vor Ort, im Brandfall unterschiedliche Zeitspannen für eine erfolgreiche Brandbekämpfung anzusetzen sind. Lässt sich z.B. ein von einer kleinen Tropfleckage ausgehender Entstehungsbrand (Ölbrand) vergleichsweise schnell und unproblematisch mit Wasser bzw. Schaum innerhalb von Minuten löschen, so ist eine vollständige Löschung eines typisch schwelenden Kabelbrandes auf Grund immer wieder auftretender kleiner Glutnester oftmals deutlich zeitaufwendiger. Je nach Lage des Brandherdes,

Zugänglichkeit desselben und Wahl des Löschmittels (Effizienz, Wirksamkeit abhängig von der Art der Maßnahme (z.B. Druck), Art/Zahl/Verteilung der Löschdüsen, usw.) können hier Zeitspannen auftreten, die deutlich stärker schwanken (von einigen Minuten bis zu 1-2 Stunden). Mangels ausreichend aussagekräftiger Informationen zu vielen dieser Einflussparameter für die aufgetretenen Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken, war eine Auswertung des menschlichen Einflusses schwierig und demzufolge nur eine grobe Abschätzung im Rahmen des Vorhabens SR 2369 möglich. Ausführliche Untersuchungen hätten den zeitlichen und finanziellen Rahmen des Vorhabens gesprengt, da sie eine Auswertung aller vorhandenen und verfügbaren Anlagendokumentationen sowie einzelne Genehmigungen jedes Betreibers erfordern. Dementsprechend erfolgte eine deutlich gröbere Klassifizierung anhand der bei der GRS vorhandenen bzw. verfügbaren Informationen.

Eine umfassende u.a. auch statistische Auswertung der Betriebserfahrungen unter Einbezug zur Verfügung stehender, internationaler Methoden (wie THERP /SWA 83/) kann entweder im Einzelfall einer PSA zu Brand für eine ausgewählte Referenzanlage für in dieser Anlage aufgetretene Brandereignisse durchgeführt werden oder müsste Schwerpunkt einer eigenständigen Studie sein, sofern die bisher untersuchten Ereignisse Anhaltspunkte dafür geben, dass dies generell von hoher Bedeutung ist.

Was die Beteiligung des Menschen an der Brandentstehung betrifft, ist eine grobe Klassifizierung vergleichsweise unproblematisch, da Brandentstehungsursachen – soweit bekannt und erklärbar – bereits in den Meldeformularen mit angegeben werden müssen. Es kann dann nach den folgenden Klassifizierungen unterschieden werden:

- keine menschlich bedingte bzw. rein technische Ursache
- rein menschlich bedingte Ursache
 - Fehlverhalten
 - Brandstiftung
 - Unterlassung
- menschliche und technische Ursache

2.2 Ergebnisse aus der deutschen Betriebserfahrung

Die Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken und größeren Prototypreaktoren (AVR im Forschungszentrum Jülich oder KNK-II im Forschungszentrum Karlsruhe) weist seit Einführung der deutschen Meldekriterien für Störfälle in kerntechnischen Anlagen im Jahr 1971 insgesamt nur 53 meldepflichtige Ereignisse auf. Bei 25 dieser Ereignisse handelte es sich um echte Brände, die in Kernkraftwerken während des kommerziellen Betriebs auftraten, alle anderen Ereignisse traten entweder außerhalb des kommerziellen Betriebs oder in Prototypanlagen auf. Oder es handelte sich um Verpuffungen bzw. Verschmorungen einzelner Komponenten, die nicht brandrelevant, sondern nur meldepflichtig waren, weil dadurch andere, sicherheitsrelevante Einrichtungen betroffen waren.

Die Untersuchung der insgesamt 25 meldepflichtigen Brandereignisse ergab (vgl. Tabelle 2-2 und siehe auch Darstellungen in /IAE 01/) insgesamt 7 Ölbrände, wovon zwei kombinierte Brände von Öl und anderen Brandlasten waren, 4 Wasserstoffbrände und 13 Brandereignisse an elektrischen Einrichtungen und Komponenten sowie zwei Ereignisse an Schutzkleidung und Plastikmaterial.

Nur zwei dieser Ereignisse sind allein auf menschliches Versagen bzw. Fehlverhalten zurückzuführen:

- eine Wasserstoff-Deflagration mit nachfolgendem Brand im Reaktorgebäude-Ringraum infolge einer herabgetretenen, nicht als Wasserstoff führend gekennzeichneten Wasserstoffgasleitung sowie
- ein durch einen herabfallenden Heizofen verursachter Brand von Plastikmaterial.

Bei fünf weiteren Ereignissen ist neben einem technischen Fehler auch ein menschliches Mitverschulden zu unterstellen. Zum einen handelt es sich um einen typischen, durch Heißarbeiten ausgelösten Entstehungsbrand an der Schutzkleidung, bei den weiteren Brandereignissen ist entweder menschliches Fehlverhalten oder die Unterlassung von Schutzvorkehrungen zu unterstellen. Dies ist neben zwei Ölbränden, wovon einer durch eine ggf. vorhersehbare Komponentenüberhitzung erfolgte, ein weiterer Wasserstoffbrand während der Wartungsarbeiten. Bis auf den o.g., allein durch menschliches Fehlverhalten verursachten Wasserstoffbrand (siehe /IRS 91, /GRS 91/), bei dem es sich um einen typischen menschlichen Einzelfehler handelte, hatte keines dieser insgesamt 7 Ereignisse eine sicherheitstechnische Bedeutung.

Tab. 2-2: Art der meldepflichtigen Brände bei deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren

Brandart	KKW im kommerziellen Betrieb		Alle Anlagen	
	Anzahl	in [%]	Anzahl	in [%]
Brände an elektrischen Einrichtungen	13	~ 52 %	28	~ 53 %
Ölbrände	7	~ 28 %	8	~ 15 %
Wasserstoffbrände	4	~ 16 %	6	~ 11 %
Brände an mechanischen Einrichtungen / andere Brände	4	~ 16 %	14	~ 26 %

Die Aufteilung der 25 meldepflichtigen Brandereignisse für die im kommerziellen Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke auf die verschiedenen zeitlichen Änderungen der Meldekriterien ist Abb. 2-1 zu entnehmen

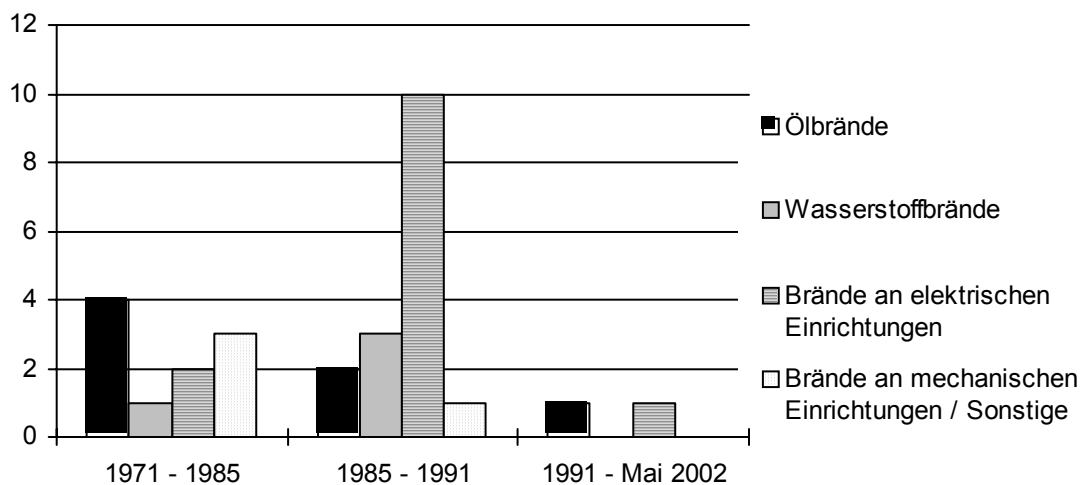


Abb. 2-1: Aufteilung meldepflichtiger Brandereignisse während des kommerziellen Betriebs in deutschen Kernkraftwerken nach Art der betroffenen Einrichtungen (bei zwei Ereignissen mehr als eine Art)

Die Beteiligung des Menschen in Bezug auf die Brandverursachung liegt für Kernkraftwerke während des kommerziellen Betriebs bei etwa 36 % (siehe auch Abbildung 2-2). Sowohl während der Bau- oder Inbetriebsetzungsphase, bzw. bei der Stilllegung von Kernkraftwerken als auch bei den großen Prototypreaktoren ist der Anteil menschlich mitverursachter Brände mit 79 % erwartungsgemäß deutlich höher. Gründe dafür sind, wie auch die Auswertung der einzelnen Ereignisse zeigt, zum einen die in diesen Phasen durchzuführenden Heißarbeiten und zum anderen die höhere Anzahl vor Ort tätiger Menschen infolge der in diesen Phasen deutlich geringeren Zugangsbeschränkungen in den Anlagen. Im Vergleich zu Statistiken aus nichtnuklearen Industrieanlagen ist die menschliche Beteiligung an der Entstehung von Bränden bei deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren aufgrund strikter Vorgaben durch die Regelwerke und dementsprechende Anweisungen, Prozeduren und Kontrollen zumindest während des kommerziellen Betriebs der Anlagen deutlich geringer.

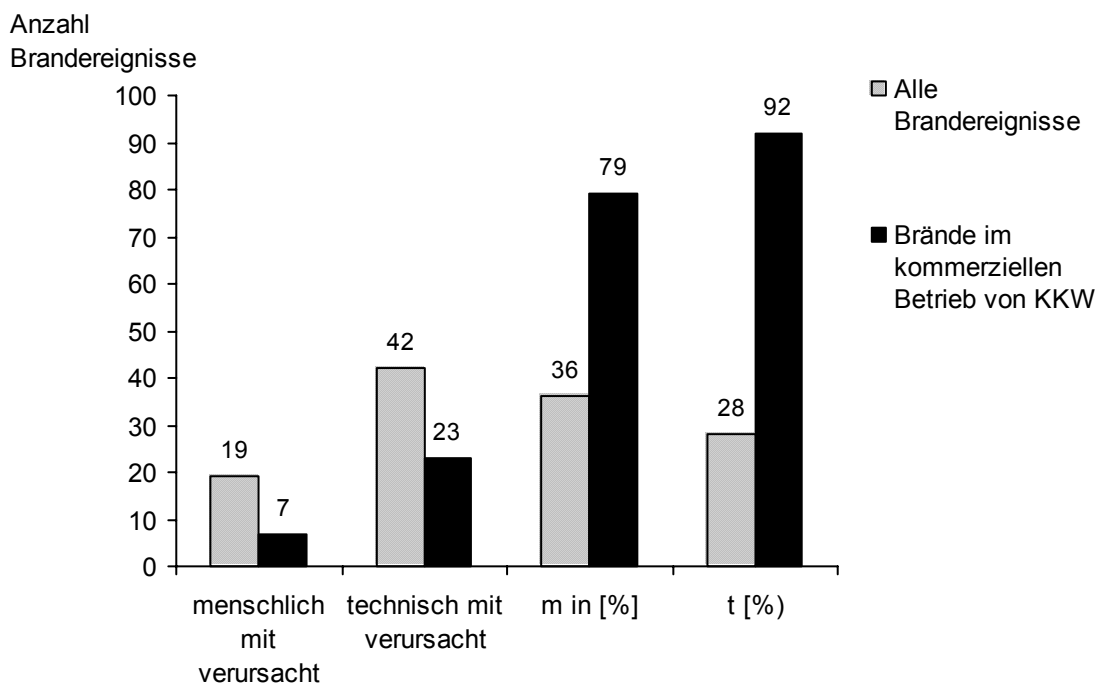


Abb. 2-2: Beteiligung des Menschen an der Brandverursachung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (8 bzw. 5 Ereignisse haben sowohl menschliche als auch technische Ursachen)

Mit Bezug auf die Branderkennung ergibt die Auswertung aller meldepflichtigen Ereignisse in deutschen Anlagen zunächst eine ähnliche Tendenz (siehe auch Abbildung 2-

3) hinsichtlich der Unterteilung in Kernkraftwerke nur im kommerziellen Betrieb und Prototypreaktoren sowie Phasen außerhalb der kommerziellen Betriebszeiten, was die Branddetektion durch Personal oder sonstige, vor Ort anwesende Menschen betrifft. Während des Leistungsbetriebes deutscher Kernkraftwerke erfolgt die Branderkennung und –alarmierung fast ausschließlich über die gegenüber den menschlichen Sinnesorganen deutlich sensitiveren automatischen Brandmeldedetektoren (hier sind vor allem hochempfindliche Ionisationsmelder und optische Rauchmelder zu nennen), was unter anderem auch darin begründet ist, dass viele Raumbereiche in diesen Betriebsphasen nicht zugänglich und damit auf eine automatische Branddetektion angewiesen sind.

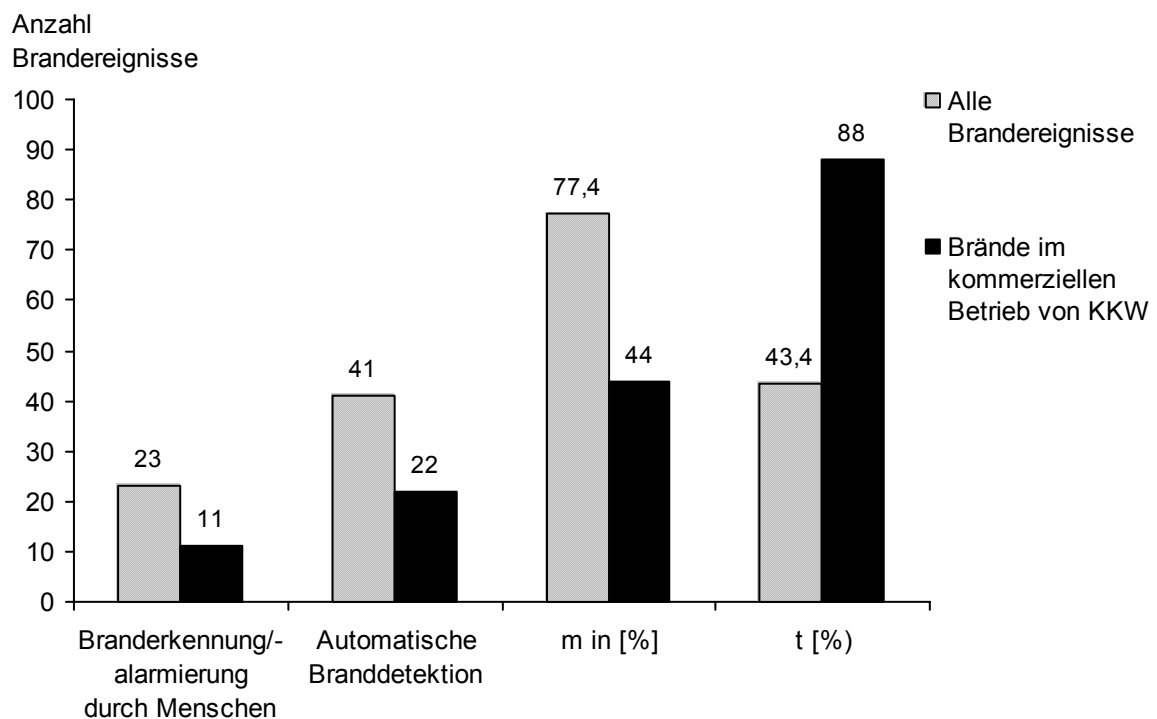


Abb. 2-3: Beteiligung von Menschen an der Branderkennung und -alarmierung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei 11 bzw. 8 Ereignissen erfolgte die Branderkennung sowohl automatisch als auch durch Menschen)

Insgesamt ergibt sich bei der Branderkennung und –meldung ein stärker differenziertes Bild, was sowohl Tabelle 2-3 als auch Abbildung 2-4 verdeutlichen. Alle meldepflichtigen Brandereignisse in deutschen Anlagen wurden erkannt und gemeldet und konnten somit auch bekämpft werden. Nur ein geringer Prozentsatz der Ereignisse

wurde erst vergleichsweise spät entdeckt, d.h. bei zwei Ereignissen erst indirekt durch Signale, jeweils nachdem der äußerst schwache Entstehungsbrand – ein Verschmoren eines Bauteils bzw. einer Komponente – bereits von selbst wieder verloschen war. Diese beiden Brände hatten nicht einmal die Brandmelder ausgelöst, das Verschmoren wurde über die Fehl- bzw. Störsignale indirekt entdeckt. Bei zwei weiteren Ereignissen erfolgte die Branddetektion sowohl früh durch das Ansprechen automatischer Melder als auch noch durch Menschen zu einem späteren Zeitpunkt (mehr als 10 min) nach der eigentlichen Brandentstehung. Eine rein menschliche, späte Branderkennung nur durch Personal gab es nicht. Die drei genannten Ereignisse, von denen nur eines während des kommerziellen Betriebs eines Kernkraftwerkes auftrat, wurden zusätzlich noch früh über automatische Branddetektoren gemeldet. Menschliches Fehlverhalten hinsichtlich der Brandmeldung konnte bei keinem der gemeldeten Ereignisse unterstellt werden. Im Gegenteil, das deutsche Brandmeldekonzept, welches auf einer ausgewogenen Kombination von vorwiegend automatischer Brandmeldung mit Verifizierung durch entsprechend geschultes Schicht- oder Feuerwehrpersonal basiert, sorgt für eine im Allgemeinen schnelle Lokalisierung eines möglichen Brandherdes.

Von den während des kommerziellen Kernkraftwerkbetriebs gemeldeten 25 Brandereignissen wurden 22 durch Ansprechen der automatischen Brandmeldeanlagen gemeldet, von denen wiederum 8 Brände durch im betroffenen Raumbereich anwesendes Personal erkannt und gemeldet wurden. In einem Fall erfolgte die Erkennung dabei über eine im Raumbereich installierte Kamera. 3 Entstehungsbrände wurden vor Ort durch anwesende Personen entdeckt und gemeldet. Insgesamt wurden also 11 der 25 Brände, d.h. etwa 44 %, u. a. durch Personal erkannt und zumeist frühzeitig (40 % der 25 Ereignisse, d.h. 90 % der 11 vom Personal detektierten Brände, siehe Tabelle 2-3) gemeldet.

Die Auswertung der deutschen Betriebserfahrung hat somit qualitativ sehr deutlich eine hohe Erfolgsquote in Bezug auf den Einflussfaktor Mensch bei der Brandmeldung ausgewiesen. Dies wird umso deutlicher, wenn man berücksichtigt, dass bei den durch die automatischen Brandmelder detektierten Entstehungsbränden das Ansprechen der Melder zu einem Feueralarm durch das Schichtpersonal geführt hat. Danach sind 22 der 25 gemeldeten Ereignisse in Kernkraftwerken während des kommerziellen Betriebs (d.h. 88 %) bzw. 41 aller 53 insgesamt gemeldeten Brandereignisse (77.4 %, vgl. Abb. 2-3) durch den Menschen erkannt und Alarme bei allen Ereignissen ausgelöst worden.

Tab. 2-3: Branderkennung und –meldung meldepflichtiger Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren

Branderkennung	Anzahl ¹⁾	
	Alle Anlagen	KKW im kommerziellen Betrieb
Keine Erkennung	0	0
Frühe Erkennung durch:		
- <i>Brandmeldeanlage</i>	32	20
- <i>Personal</i>	22	10
Späte Erkennung durch:		
- <i>Brandmelder in benachbarten Raumbereichen</i>	4	3
- <i>Personal</i>	2	1
- <i>Störsignale</i>	12	4

1) Mehrfachnennung möglich

Auch wenn die verfügbare Datenbasis von insgesamt nur 53 Ereignissen statistisch noch nicht hinreichend aussagekräftig ist, so lassen sich daraus sicherlich erste Trendaussagen zum menschlichen Verhalten hinsichtlich der Brandmeldung in deutschen Kernkraftwerken treffen. Während des Leistungsbetriebes, in dem viele Raumbereiche entweder sehr selten begangen werden oder gar nicht begehbar sind, ist eine Brandentdeckung durch vor Ort anwesendes Personal eher zufällig, da diese Anwesenheitszeiten im Vergleich zur betrachteten Betriebsdauer kurz sind. Die Verifizierung einer automatischen Brandmeldung durch Personal in deutschen Anlagen ist Bestandteil des Brandmeldekonzeptes und grundsätzlich durchaus erfolgreich. Dies zeigt sich an der im Allgemeinen frühzeitigen Verifizierung der Brände.

Eine deutlich höhere Bedeutung bei der Brandmeldung kommt dem Personal während der Stillstandsphasen zu, wo zum Teil einzelne Melder oder ganze Meldelinien aus betrieblichen Gründen abgeschaltet werden, vermehrt Heißarbeiten stattfinden oder

auch Räume stärker brandgefährdet sind (z.B. der Sicherheitsbehälter bei deutschen Siedewasserreaktoren der Baulinie 69), die während des Leistungsbetriebs inertisiert sind. Diese Erfahrungen lassen sich auf der Basis der gemeldeten Brände derzeit nur qualitativ bewerten, da während des Nichtleistungsbetriebs eine Vielzahl kleinerer Entstehungsbrände nach den derzeit geltenden deutschen Meldekriterien nicht meldepflichtig und somit für eine quantitative Auswertung nicht verfügbar ist.

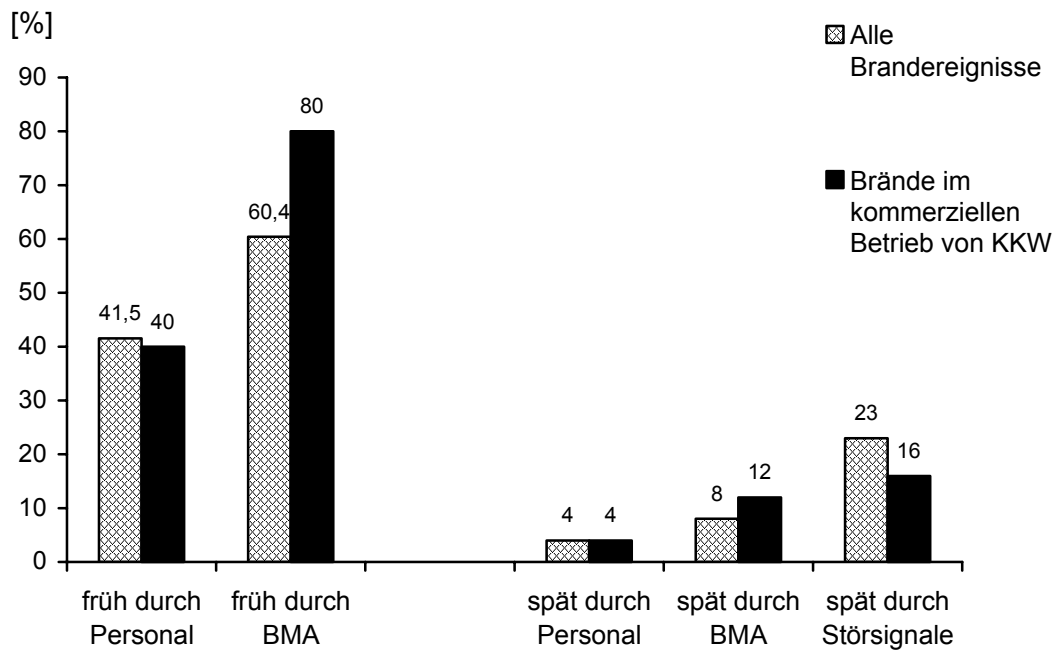


Abb. 2-4: Zeitliche Aufteilung der Branderkennung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren in [%] (Mehrfachnennung möglich)

Die Brandbekämpfung lässt sich etwas deutlicher hinsichtlich des menschlichen Einflussfaktors unterteilen und bewerten. Insgesamt 16 (d.h. 64 %) aller 25 meldepflichtigen Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken während des kommerziellen Betriebs erloschen nicht von selbst. Für diese Ereignisse sind menschliche Handlungen bei der erfolgreichen Brandbekämpfung zu berücksichtigen (siehe auch Tabelle 2-4). In diesen Fällen kam entweder das Schichtpersonal als Einsatzkräfte zur Löschung kleinerer Entstehungsbrände oder die Werksfeuerwehr zum Einsatz. In einem Fall erfolgte die Brandbekämpfung dabei über die stationäre Löschanlage mit zusätzlicher manueller Feuerlöschung durch Personal. Während in 7 von 16 Fällen ein Einsatz der

Werksfeuerwehr erfolgte, reichte in 9 Fällen eine Brandbekämpfung durch geschultes Schichtpersonal (Brandersthelfer) aus. Das bedeutet, in nur zwei Fällen war eine Brandbekämpfung über Brandersthelfer nicht erfolgreich, so dass zusätzlich auf die Feuerwehr zurückgegriffen werden musste.

Tab. 2-4: Zeitliche Anteile bei der Brandbekämpfung meldepflichtiger Brände in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei einem Ereignis keine Angabe)

Brandbekämpfung	Anzahl ¹⁾	
	Alle Anlagen	KKW im kommerziellen Betrieb
Nicht erforderlich bzw. Brand von selbst erloschen	27	9
Früh:	29	17
- erfolgreich mittels Personal/Feuerwehr	19	11
- erfolgreich mittels Feuerlöschsystem:	3	1
- <i>automatisch ausgelöst</i>	2	0
- <i>manuell ausgelöst</i>	1	1
- nicht erfolgreich	4	4
Spät:	4	4
- erfolgreich mittels:	4	4
- <i>Personal</i>	1	1
- <i>Werksfeuerwehr</i>	3	3
- <i>externe Feuerwehr</i>	0	0
- erfolgreich mittels Feuerlöschsystem:	0	0
- <i>automatisch ausgelöst</i>	0	0
- <i>manuell ausgelöst</i>	0	0
- nicht erfolgreich	0	0

¹⁾ Mehrfachnennung möglich

Sofern eine Entzündung nicht auf ein einzelnes Bauteil bzw. eine begrenzte einzelne Komponente beschränkt blieb oder nicht von selbst wieder kurzfristig erlosch und somit eine Brandbekämpfung erforderlich wurde, ergab die deutsche Betriebserfahrung, dass der Mensch bei einem Großteil dieser Ereignisse eine erhebliche Rolle bei der erfolgreichen Bekämpfung dieser Brände spielte (vgl. Tabelle 2-4 sowie Abbildungen 2-5 und 2-6). Bei insgesamt 24 der 53 aller gemeldeten Entstehungsbrände, d.h. mehr als 45 %, erfolgte eine manuelle Brandbekämpfung durch Brandersthelfer oder Werksfeuerwehr. Nur zwei Brandereignisse wurden mittels automatisch ausgelöster Löschanlage bekämpft, bei allen anderen erfolgte die Auslösung manuell vor Ort oder von der Warte, d.h. unter menschlicher Einflussnahme. Dies bedeutet wiederum, dass bei 25 von 26 überhaupt zu bekämpfenden und auch erfolgreich bekämpften Bränden, also etwa 96 %, der Mensch beteiligt war. Bei allen während des kommerziellen Betriebs der Kernkraftwerke aufgetretenen 25 Entstehungsbränden waren Menschen entweder direkt an der manuellen Brandbekämpfung mit Feuerlöschern bzw. Löschen per Schlauchleitung und Hydranten oder zusätzlich bei einem Ereignis auch durch Auslösung der stationären Löschanlage per Hand beteiligt.

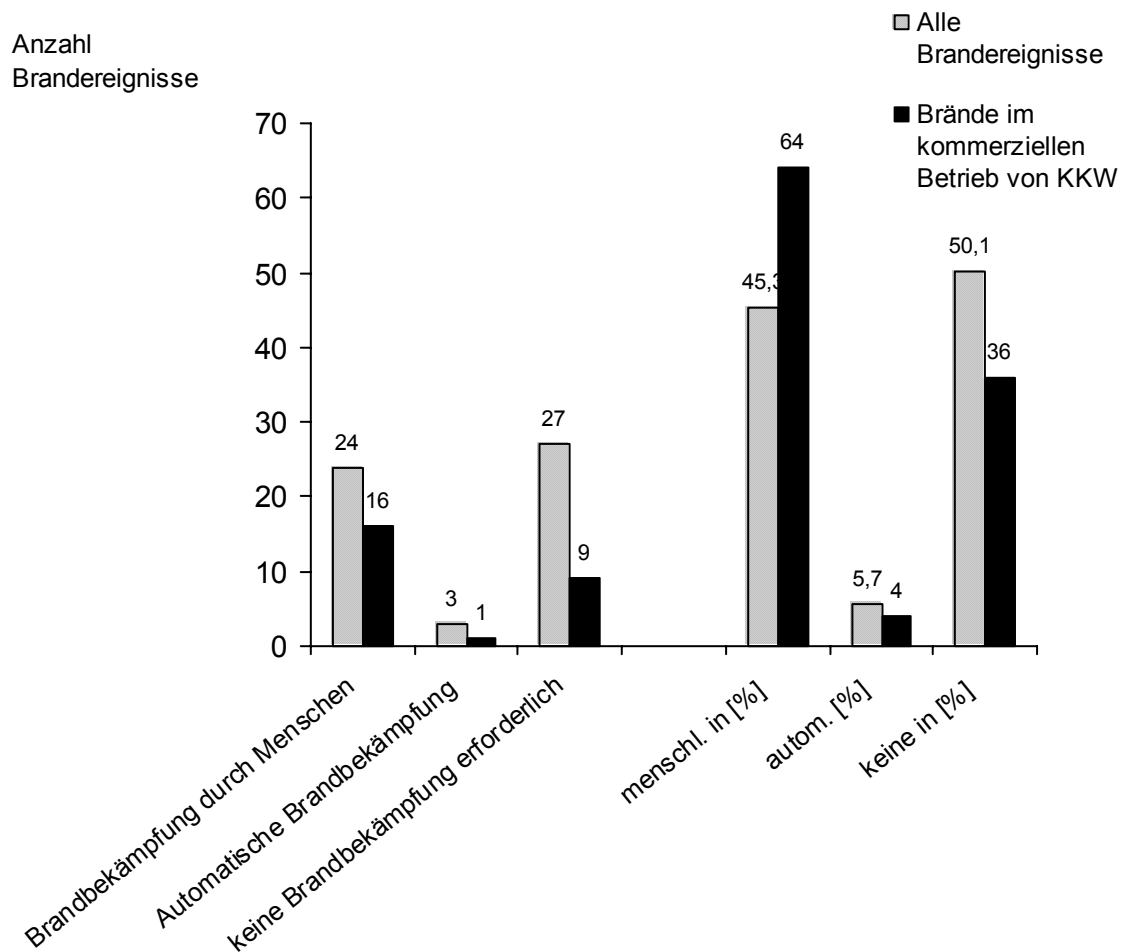


Abb. 2-5: Beteiligung von Menschen an der Brandbekämpfung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (bei nur einem Ereignis erfolgte die Brandbekämpfung sowohl automatisch als auch durch Menschen)

Abbildung 2-6 gibt ebenso wie Tabelle 2-4 einen groben Überblick über den frühzeitigen oder späten Erfolg der Brandbekämpfung. Nur bei insgesamt 4 aller gemeldeten Brandereignisse war eine frühe Brandbekämpfung nicht erfolgreich. Innerhalb von Zeitspannen von 25 bis 60 Minuten konnten aber auch diese Brände erfolgreich gelöscht werden, wobei in keinem dieser Fälle eine stationäre Löschanlage zum Einsatz kam. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Brände in zwei Fällen im gut zugänglichen Maschinenhaus und in den beiden anderen Fällen im Schaltanlagegebäude ereigneten, wobei eine Brandbekämpfung per Löschanlage entweder nicht vorgesehen war oder nachteilige Konsequenzen hätte nach sich ziehen können.

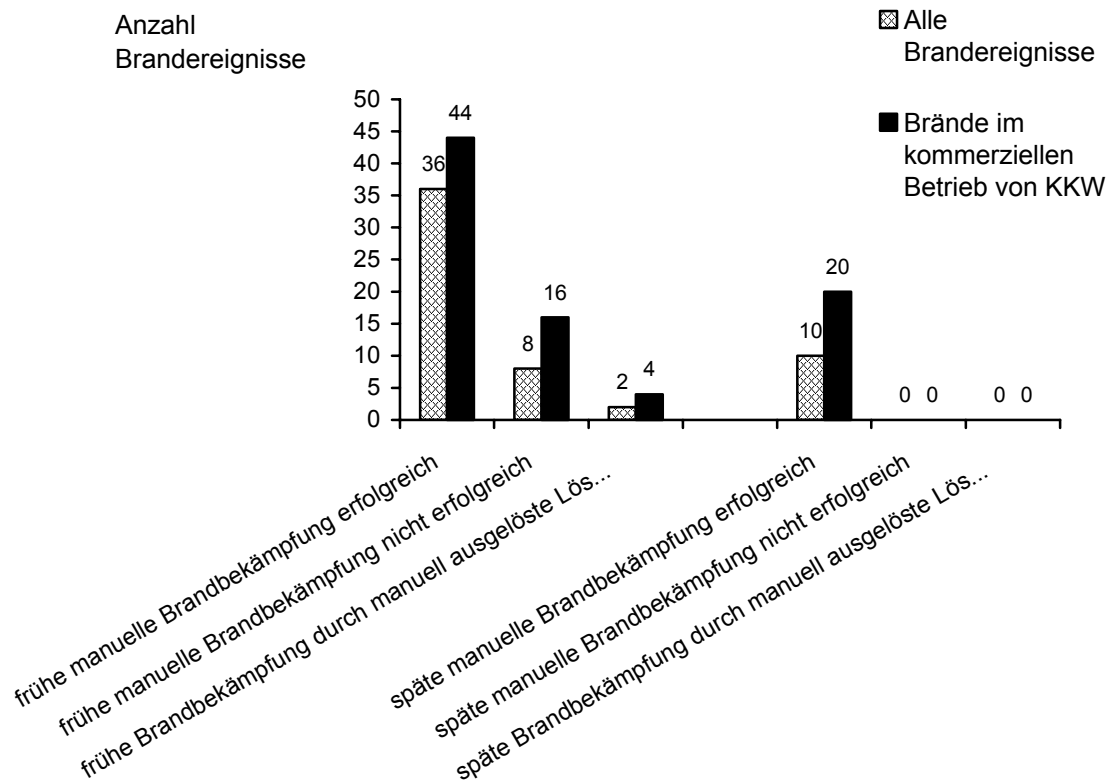


Abb. 2-6: Beteiligung von Menschen an der Brandbekämpfung bei meldepflichtigen Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren in [%] (Mehrfachnennungen möglich)

Qualitativ geben die derzeit verfügbaren Informationen aus den gemeldeten Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren bereits deutliche Hinweise auf das Verhalten des Personals im Brandfall und die grundsätzlich zu erwartende Dauer für einen Löscherfolg. Bedauerlicherweise sind die Informationen aber im Allgemeinen nicht detailliert genug, um daraus zeitlich gestaffelt quantifizierbare Bewertungen abgeben zu können, wie sie für eine PSA-Brand gefordert sind. Dazu müsste zum einen für alle Ereignisse die exakte Anlagendokumentation über den zeitlichen Ereignisablauf zugänglich gemacht und statistisch ausgewertet werden, zum anderen wäre für eine derartige probabilistische Auswertung eine erheblich breitere Datenbasis erforderlich.

2.3 Erfahrungsrückfluss von externen Einsatzkräften

Gespräche mit nicht kraftwerkszugehörigen Einsatzkräften von Berufsfeuerwehren wie auch freiwilligen Feuerwehren im In- und Ausland haben ergeben, dass die Erfahrungen aus Einsätzen außerhalb von kerntechnischen Einrichtungen nicht bzw. nicht ohne weiteres mit Einsätzen in Nuklearanlagen zu vergleichen sind. Bei den meisten Einsätzen steht zunächst die Personenrettung im Vordergrund. In nichtnuklearen Industrieanlagen, für die noch am ehesten Ergebnisse aus den Erfahrungen mit realen Brandereignissen auf die Gegebenheiten bei Einsätzen in kerntechnischen Einrichtungen zu übertragen sind, ist im Allgemeinen der Sachschutz von erheblicher Bedeutung – sicherheitstechnische Belange sind nur bei Anlagen mit besonderem Gefährdungspotential (z.B. chemische Industrieanlagen) stärker zu berücksichtigen. Auch stellen die Anforderungen der Anlagensicherung (physischer Schutz) sowie des Strahlenschutzes besondere Anforderungen an die Brandbekämpfungskräfte.

Zwar lassen sich Ergebnisse aus regelmäßigen Einsatzübungen und fest definierten Trainingseinheiten, was beispielsweise Zeitdauern für die Einsatzbereitschaft (Ausrüstung mit Löschgerät, Atemschutzausrüstung, Strahlenschutzvorkehrungen etc.) betrifft, auch von externen Feuerwehren auf das Brandschutzpersonal in Kernkraftwerken übertragen, da die Zeiten üblicherweise in der gleichen Größenordnung liegen, dennoch ist bei mehr als 500 Reaktorbetriebsjahren an Betriebserfahrung aus deutschen Kernkraftwerken hier der Erfahrungsrückfluss sicherlich ausreichend. Eine detaillierte Auswertung des Erfahrungsrückflusses externer Einsatzkräfte erscheint weder zielführend hinsichtlich der Aufgabenstellung, noch das Potential zu besitzen, zusätzliche, wertvolle zusätzliche Erkenntnisse für den menschlichen Einfluss bei der Brandmeldung und -bekämpfung zu liefern. Dementsprechend wurde auf eine statistische Auswertung der Erfahrungen externer Einsatzkräfte im Rahmen des vorliegenden Projektes verzichtet.

2.4 Beispielhafte qualitative Auswertung ausgewählter Brandereignisse in deutschen Kernkraftwerken

Bei den folgenden, sehr ausführlich dokumentierten Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken handelt es sich um Ereignisse, die in der Öffentlichkeit mit hohem Interesse verfolgt wurden, dabei aber nicht meldepflichtig waren oder zum Zeitpunkt des Ereigniseintritts noch nicht dem deutschen Meldesystem unterlagen. Diese Ereig-

nisse wurden beispielhaft hinsichtlich des menschlichen Einflusses bei Brandentstehung, -erkennung und -meldung sowie Brandbekämpfung ausgewertet.

Bei dem ersten Brand handelt es sich um ein Ereignis in einem Kernkraftwerk vom Typ WWER 230-440 auf dem Gebiet der früheren DDR, welches nach bundesdeutschen Meldekriterien (INES-Vorgaben der IAEA /KOT 94/ wie auch IRS Reporting Criteria /IAE 98/) meldepflichtig gewesen wäre, wenn diese Kriterien zum Zeitpunkt des Ereigniseintritts bereits verfügbar bzw. anwendbar gewesen wären. Dabei handelt es sich um einen großflächigen, redundanzübergreifenden Kabelbrand, der nach INES /KOT 94/ in Stufe 3 eingestuft worden wäre.

Der Brand ereignete sich im Dezember 1975 mit dem folgenden Ablauf:

Ein dreipoliger Kurzschluss an der 6 kV-Reserveverteilung führte zur Überhitzung von 6 kV-Kabeln und zum Brand derselben im Maschinenhaus. Der Brand breitete sich großflächig auf den Kabeln auf einigen hundert Metern Länge über Brandabschottungen hinweg über den Hauptkabelkanal im Maschinenhaus bis hin in den Zwischentrakt zwischen Reaktorgebäude und Maschinenhaus aus und konnte erst nach etwa zwei Stunden erfolgreich gelöscht werden.

Die sogenannte "Root Cause Analysis" entsprechend dem Vorgehen in /IAE 99/, d.h. eine genaue Ursachenermittlung, ergab diverse Ursachen, davon gleich eine dreifache menschliche Beteiligung hinsichtlich der Verursachung des Brandes:

- Zum einen war eine elektronische Komponente für die 6 kV-Verteilung falsch installiert worden, d.h. ohne genügende Absicherung (Ursache 1).
- Weiterhin wurde der Kurzschluss an der 6 kV-Verteilung ebenfalls durch Personal verursacht (Ursache 2).
- Ein dritter menschlicher Fehler bestand darin, dass der Kurzschluss zu spät erkannt wurde (Ursache 4).

Technisches Versagen war ebenfalls Ursache für das Ereignis, und zwar zum einen das Versagen der elektrischen Komponente infolge der nicht vorhandenen selektiven Absicherung, was dann zum Kurzschluss führte, sowie zum anderen das Versagen von brandschutztechnischen Maßnahmen infolge unzureichender Kabelführung mit gleichzeitig mangelhaften Schutzmaßnahmen (Ursache 5).

Die "Root Cause Analysis" ergab weiterhin ein Versagen von Prozeduren u.a. hinsichtlich der Überprüfung der Personalzuverlässigkeit und des Trainings der auf dem Kraftwerksgelände verfügbaren Feuerwehr im Umgang mit kerntechnischen Gefahrensituationen infolge mangelnder Abstimmung mit dem Anlagenschichtpersonal.

Von einer sehr starken typischen Beteiligung der Menschen an der Brandentstehung ist bei diesem Ereignis (siehe die verschiedenen Ursachen) auszugehen.

In Bezug auf die Branderkennung und –meldung gab es bei diesem Ereignis ebenfalls eine menschliche Beteiligung. Einerseits wurde der Kurzschluss direkt vom Personal ungefähr 4 min nach seinem Auftreten bemerkt und konnte innerhalb weiterer etwa 3.5 min verifiziert werden. Andererseits sprachen die automatischen Brandmelder im Maschinenhaus etwa 1 min nach Brandbeginn im Kabelkanal und etwa 3 - 4 min nach dem Kurzschluss an. Die Brandalarmierung der Feuerwehr erfolgte über Telefon etwa 6 min nach dem ursächlichen Kurzschluss, weitere etwa 4 min später war der Brand von Seiten des Personals verifiziert.

Die Feuerwehr begann somit ungefähr 10 min nach den ersten Brandmeldersignalen mit der manuellen Brandbekämpfung mittels transportabler Feuerlöcher und Wasser über Schlauchleitungen. Infolge der großflächigen Brandausbreitung durch Kabelschotts hindurch war ein schneller Erfolg der Löschmaßnahmen nicht möglich, erst nach etwa 2 Stunden war der Brand erfolgreich gelöscht.

Mit Bezug auf die Brandmeldung konnte das Ereignis in Tab. 2-3 sowohl bei der frühen Branderkennung durch Brandmeldeanlage als auch bei der späten Erkennung durch Melder in benachbarten Räumen, und Personal mit erfasst werden. Die Branderkennung erfolgte grundsätzlich frühzeitig, war aber - wie die detaillierte Ereignisdarstellung (siehe auch Informationen aus /GRS 02/) deutlich aufzeigt - nicht sehr zuverlässig, da weder das Personal dahingehend trainiert war, einen solchen Kurzschluss als mögliche Ursache für einen Kabelbrand zu erkennen, noch die Prozeduren für das Vorgehen nach Erkennung eines Kurzschlusses an der 6 kV-Verteilung ausreichend waren.

Die Brandbekämpfung erfolgte rein manuell sehr schnell und zuverlässig infolge einer vor Ort verfügbaren professionellen, gut und regelmäßig trainierten Feuerwehr, die mit den Anlagengegebenheiten wohl vertraut war.

Bei dem zweiten, sehr detailliert dokumentierten Brandereignis im Mai 1994 während des Anfahrens der Anlage nach der Revision im kalten, unterkritischen Zustand (siehe auch /GRS 02/ und /IAE 99/) handelt es sich um ein weder nach deutschen noch internationalen Meldekriterien meldepflichtiges Ereignis in einem deutschen Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor.

Ein nach den Revisionsarbeiten an einer Hauptkühlmittelpumpe in der Pumpe ver-gessener Meißel erzeugte einen Kurzschluss zwischen zwei Phasen des Pumpen-motors, welcher zum automatischen Abfahren der Pumpe führte. Infolgedessen kam es zu einer starken Überhitzung der Statorwindung der Hauptkühlmittelpumpe und damit zum Verschmoren von Teilen des Motors. Der zunächst trotz frühzeitiger automatischer Brandmeldung nicht verifizierbare kleine Schmorbrand konnte von der Werksfeuerwehr erfolgreich gelöscht werden. Weitere Schäden traten nicht auf.

Auch dieses Ereignis wurde einer "Root Cause Analysis" (siehe auch /IAE 99/) unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass neben dem technischen Versagen des Pumpenmotors, der sich nicht bereits infolge des dem Kurzschluss vorausgegangen Erdschlusses abschaltete (Ursache 5), ein starker menschlicher Einfluss bei der Brandentstehung maßgeblich war.

Zum einen handelt es sich dabei um Personalfehler, wie das Zurücklassen des Meißels in der Pumpe nach der Wartung (Ursache 1) sowie Mängel beim Sicherstellen, dass ein derartiger Personalfehler vor Wiederanfahren der Anlage entweder nicht auftreten kann oder beseitigt wird (Ursachen 3 und 4). Auch handelt es sich um einen Fehler in den Prozeduren, um adäquate Maßnahmen zur Prüfung zu ergreifen, dass derartige Fehler nicht auftreten können (Ursache 2).

Im Hinblick auf Branderkennung und -meldung zeigte dieses Ereignis eine sofortige Reaktion des Schichtpersonals sowohl auf die automatische Meldung "Erdschluss in 10kV-Versorgung" auf der Warte als auch auf die automatische Brandmeldung durch optische Rauchmelder und Ionisationsmelder, die wenige Sekunden nach Brandbeginn etwa 35 min nach der Erdschlussmeldung erstmalig ansprachen. Entsprechend den Vorschriften im Betriebshandbuch wurde direkt nach der Brandmeldung geschultes Brandbekämpfungspersonal zur Verifizierung des Brandes vor Ort entsandt, welches infolge der zunehmenden Brandsignale so lange vor Ort blieb und auch die Werksfeuerwehr vor Ort beorderte, bis etwa 23 min nach den ersten Detektorsignalen der Brand durch erste Flammen verifizierbar war.

Die Brandbekämpfung erfolgte dann direkt durch die 13 Einsatzkräfte der am Brandort anwesenden Feuerwehr, zunächst mit tragbaren CO₂-Gasfeuerlöschgeräten und, als dies nicht zum Erfolg führte, durch die dann zusätzlich per Hand ausgelöste Sprühwasserlöschanlage und zusätzliches Wasser über Schlauchleitungen. Insgesamt etwa 41 min nach Ansprechen der ersten Brandmelder war das Feuer erfolgreich gelöscht.

Auch dieses Brandereignis lässt sich hinsichtlich aller drei Aspekte Brandentstehung, -erkennung und -bekämpfung mit in die entsprechenden Tabellen eingruppiieren. Drei der insgesamt fünf Ursachen waren menschlich bedingt bzw. beeinflusst. Zum anderen erfolgte die Branderkennung und -meldung schnell und zuverlässig durch das gut ausgebildete und trainierte Anlagenpersonal und die Werkfeuerwehr (siehe auch Tab. 2-3), obwohl es dem Personal mangels Auftreten von Flammen oder sichtbarem Rauch zunächst allein vom Geruchssinn her nicht sofort möglich war, den Entstehungsbrand zu verifizieren (hier wird deutlich, dass automatische Brandmeldedetektoren oft deutlich sensitiver sind als die menschlichen Erkennungsorgane). Die Brandbekämpfung erfolgte ebenfalls schnell, zuverlässig und effektiv durch gut geschultes, mit den Anlagegegebenheiten wohl vertrautes Personal einschließlich der Werksfeuerwehr, wodurch der Schaden auf Teile des Pumpenmotors begrenzt blieb.

3 Berücksichtigung von Erfahrungen aus Ereignissen in Kernkraftwerken im Ausland

3.1 Vorhandene Datenbasis und generelles Vorgehen

Als Datenbasis wurden all diejenigen Ereignisse in Kernkraftwerken weltweit herangezogen, die entweder in einer der beiden Ereignisdatenbanken IRS oder INES der IAEA gesammelt wurden oder für die genügend veröffentlichte Informationen (siehe auch /IAE 02/) vorliegen. Voraussetzung für eine Berücksichtigung der jeweiligen Ereignisse ist das Vorliegen hinreichend aussagekräftiger Informationen zum Einfluss des Menschen bei der Brandentstehung bzw. -meldung sowie der Brandbekämpfung bzw. -eindämmung. Weiterhin wurde eine von der USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) durchgeführte detaillierte Auswertung von signifikanten, weltweit in Kernkraftwerken aufgetretenen Brandereignissen auf diesen Aspekt hin ausgewertet.

Die ausländischen Daten wurden zusätzlich auf eine Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in deutschen Kernkraftwerken hin geprüft. Erst danach ist eine grobe statistische Abschätzung und Kategorisierung aller auswertbaren deutschen wie ausländischen Ereignisse möglich. Wie diese erfolgen kann, wird in Kapitel 4 näher erläutert.

3.2 Ergebnisse der internationalen Betriebserfahrung

In /NOW 01/ wurden insgesamt 25 international aufgetretene und hinreichend dokumentierte Brandereignisse in Kernkraftwerken im Detail ausgewertet, um daraus Erkenntnisse für eine realitätsnahe Durchführung probabilistischer Brandanalysen abzuleiten. Naturgemäß spielt dabei die Bewertung von Personalhandlungen eine wesentliche Rolle. Einige Aspekte der Untersuchungen dazu werden nachfolgend beschrieben.

- **Brandentstehung**

Alle bekannten Brand-PSA gehen von der Annahme aus, dass zu einer bestimmten Zeit nur ein Brand entstehen kann. Bei der Durchsicht der Ereignisse stellt sich diese Annahme als potentielle Schwäche der vorhandenen Methoden dar. Eine Reihe von Ereignissen zeigt, dass Mehrfachbrände eintreten können, wobei häufig der Einflussfaktor Mensch eine nicht unerhebliche Rolle spielt, was sich auch in der amerika-

nischen Auswertung der internationalen Erfahrungen zeigte. So führte neben den zu- meist elektrischen Ursachen von Mehrfachbränden in einem Fall auch eine fehlerhafte Personalhandlung zum Mehrfachbrand. Während einer Instandhaltungsmaßnahme bei der Revision des Blocks 1 im amerikanischen Kernkraftwerk H. B. Robinson wurde fälschlicherweise die Hochdruck-Wasserstoffversorgung mit dem Lüftungssystem ver- bunden. Dadurch entstanden während des Anfahrens (07.01.1989) im Maschinenhaus mehrere kleine Entstehungsbrände.

Das Beispiel von Kernkraftwerk Robinson zeigt weiterhin, dass bei einer Brand-PSA für den Nichtleistungsbetrieb von einer geänderten Ausgangskonfiguration der Anlage aufgrund der Reparatur- und Instandhaltungsaktivitäten (Personalhandlungen!) ausge- gangen werden muss. Neben den zusätzlich eingebrachten temporären Brandlasten sind es vor allem die vielfältigen Instandhaltungsmaßnahmen, die bei fehlerhafter Durchführung das Potential einer Brandentstehung vergrößern. Fehler bei Instandhal- tungsmaßnahmen im Nichtleistungsbetrieb können auch zur Erhöhung der Brandein- trittswahrscheinlichkeit während des Leistungsbetriebs führen.

- **Rauch in der Warte**

In den meisten Brand-PSA wird angenommen, dass bei Vorhandensein von Rauch in einem Raum bzw. Raumbereich von Personalhandlungen zur Eingrenzung von Schä- den kein Kredit genommen werden kann. Bei einigen der untersuchten Ereignisse (9 von 25) wurde durch das Auftreten von Rauch die Effektivität der Arbeit auf der Warte durch Rauch erschwert. Nur bei einem Ereignis (im indischen Kernkraftwerk Narora, Block 1 am 31.03.1993) musste die Warte bereits nach 10 Minuten verlassen werden. Erst nach 13 Stunden konnte man sie wieder betreten.

Die Ereignisse zeigen, dass die genannte Annahme (kein Kredit von Personalhandlun- gen in rauchbelasteten Räumen) für eine PSA-Brand im Allgemeinen sehr konservativ ist. Durch die Nutzung von umluftunabhängigen Atemschutzgeräten ist auch bei größe- rem Raucheintrag in die Warte ein Arbeiten dort weiterhin möglich. Andererseits zeigen die Ereignisse, dass Raucheintrag in die Warte häufiger vorkommt, als gemeinhin in Brand-PSA angenommen.

Grundsätzlich sind die gängigen Methoden der Bewertung von Personalhandlungen in der Lage, den Einfluss von Rauch und die Notwendigkeit, Atemschutzgeräte zu nutzen, einzubeziehen (performance shaping factors). Was tatsächlich fehlt, ist eine Grundlage

zur Vorhersage, wann und wieviel Rauch bei einem angenommenen Brandereignis in die Warte gelangt. Ebenso fehlt eine harmonisierte Vorschrift, wie die Wahrscheinlichkeiten für Personalfehler modifiziert, d.h. in diesem Falle vergrößert werden müssen, um einen Raucheintrag oder das Tragen von Atemschutzgeräten widerzuspiegeln. Typische PSA gehen davon aus, dass Brände außerhalb der Warte keinen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Personals auf der Warte haben. Die in /NOW 01/ diskutierten Ereignisse stellen einen gegenteiligen Beleg dar.

- **Branddauer und manuelle Brandbekämpfung**

Ein wichtiger Parameter für eine Brand-PSA ist die Wahrscheinlichkeit, einen Brand einzudämmen, bevor eine kritische Menge an Ausrüstung einschließlich der zugehörigen Funktionskabel zerstört wird. Unter den 25 ausgewerteten internationalen Brandereignissen sind einige, bei denen die manuelle Brandbekämpfung aufgrund verschiedener Ursachen nur erheblich verzögert aufgenommen werden konnte. In der Auswertung /NOW 01/ werden folgende Verzögerungsfaktoren aufgezählt:

- Größe und Umfang des Entstehungsbrandes behindern die Brandbekämpfung (z.B. bei großen Ölbränden im Maschinenhaus oder bei sich schnell ausbreitenden Kabelbränden).
- Schwierigkeiten bei der Lokalisierung des Brandherdes aufgrund verschiedener Ursachen: starker Rauch, Unkenntnis der räumlichen Kraftwerksgegebenheiten (d.h. mangelnde Koordination zwischen Einsatzkräften zur Brandbekämpfung und zum Anlagenpersonal, mangelndes oder falsches Training), Schwierigkeiten beim Erreichen des identifizierten Brandherdes mit Auswirkungen auf die Effektivität der Feuerwehr.
- Bei einigen Ereignissen verzögerten unangemessene Versuche, den Brand mit Handlöschern zu bekämpfen, eine effektive Brandbekämpfung. Auch hier ist von Mängeln im Training des Brandbekämpfungspersonals auszugehen.
- Verzögerungen in der effektiven Brandbekämpfung aufgrund von vorgegebenen Prozeduren und Management-Entscheidungen (z.B. führte bei einigen diskutierten Ereignissen ein zu langer Entscheidungsprozess, ob tatsächlich ein Brand ausgebrochen sei, zu einer erheblichen Ausbreitung des Feuers; weiterhin kann festgestellt werden, dass effektive Löschmittel (Wasser) oft nur widerstrebend in einem angemessenen Zeitrahmen eingesetzt wurden).

Die genannten Faktoren beeinträchtigen die Effektivität der Arbeit der Feuerwehr. Es gibt gegenwärtig zwei Methoden, um die Reaktion der Feuerwehr in Brand-PSA zu bewerten:

- Die Möglichkeit, den Brand nicht während einer vorgegebenen Zeit löschen zu können, wird mit einer generischen Kurve - basierend auf historischem Datenmaterial - bestimmt, welche die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Brandbekämpfung in Abhängigkeit von der Zeit darstellt.
Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die in den tatsächlich aufgetretenen Ereignissen aufgetretenen Verzögerungen in der Kurve inhärent enthalten sind, da solche Verzögerungen auch in den der Kurve zugrunde liegenden Daten enthalten sind. Andererseits ist die Nutzung generischer Kurven, die selbst nur auf der Basis von sehr eingeschränktem Datenmaterial entstanden sind, für ein spezifisches Brandszenarium immer nur eingeschränkt möglich. Die generische Kurve kann nicht den Einfluss der spezifischen lokalen Bedingungen widerspiegeln.
- Die zweite Methode geht von der Zeit aus, welche die Feuerwehr braucht, um vollständig ausgerüstet vor Ort zu sein. Die Zeiten werden meist aus den Übungs- und Trainingsergebnissen der Feuerwehr abgeleitet. Bei dieser Methode wird angenommen, dass die Feuerwehr sofort alarmiert und dass, einmal vor Ort, das Feuer in nur wenigen Minuten unter Kontrolle gebracht wird. Die Verzögerungen durch Entscheidungsfindungen werden bei dieser Methode vernachlässigt.

Es wird unterstellt, dass gerade zur Einschätzung von Löschstrategien der Feuerwehr in probabilistischen Brandanalysen verbesserte Methoden erforderlich sind. Im Rahmen des - noch nicht abgeschlossenen – Forschungsprogramms der USNRC zu Methoden bei der Brandrisikoanalyse wird eine Kopplung der genannten Methoden vorgeschlagen, da weiterhin die statistische Basis für bessere Verfahren oder andere Herangehensweisen fehlt. Das neue gekoppelte Verfahren geht von den historischen Wahrscheinlichkeitskurven aus und justiert anschließend diese Kurven anlagenspezifisch mit den Kenntnissen zur Wirksamkeit der örtlichen Feuerwehr und des betrachteten Brandszenariums.

- **Personalfehler**

Die Möglichkeit von Personalfehlhandlungen ist ein wichtiger Gesichtspunkt jeder PSA. Die untersuchten Ereignisse unterstreichen die Bedeutung von Personalfehlhandlungen.

gen auch im Zusammenhang mit PSA zu Brand. Nachfolgend werden einige Beispiele dafür aufgezeigt:

- Nachdem eine Hauptspeisewasserpumpe Feuer gefangen hatte, meldete man zur Warte die falsche Pumpenkennzeichnung. Das hatte zur Folge, dass fälschlicherweise eine nicht brandgefährdete Pumpe abgeschaltet wurde (Kernkraftwerk Waterford (USA), 1985).
- Während einer Instandhaltungsmaßnahme bei der Revision wurde fälschlicherweise die Hochdruck-Wasserstoffversorgung mit dem Lüftungssystem verbunden. Dies löste mehrere kleine lokale Brände aus (Kernkraftwerk Robinson, Block 1 (USA), 1989).
- Der Brand in einer Schaltanlage wurde nicht sofort gemeldet. Die Betriebsanweisungen sahen offensichtlich vor, zuerst das tatsächliche Auftreten von Flammen abzuwarten, bevor Feueralarm ausgelöst werden kann. Diese fehlerhafte Vorschrift führte zu einer erheblichen Verzögerung bei dem Einsatz der Feuerwehr (Kernkraftwerk Waterford (USA), 1995).
- Nutzung von offenem Feuer führte zur Entzündung von Dichtungsmaterial (Kernkraftwerk Browns Ferry (USA), 1975).
- Umstellung der Automatik- auf Handauslösung bei einem fest installierten Feuerlöschsystem. Im Brandfall versäumte das Personal sowohl das Wiedereinschalten der Automatik als auch das System per Hand zu aktivieren (Kernkraftwerk Süd-ukraine, 1984).

Mit modernen PSA-Methoden ist man grundsätzlich in der Lage, Personalfehlhandlungen zu identifizieren und zu quantifizieren. Die Methoden, die bei der Analyse interner Ereignisse angewendet werden, sind auch bei der Aufstellung und Quantifizierung des brandspezifischen Ereignisablaufs anwendbar. Einige der oben angeführten Personalfehlhandlungen können als Durchführungsfehler, andere als Unterlassungsfehler kategorisiert werden. Die Fähigkeit, Durchführungsfehler zu identifizieren und zu quantifizieren, ist ein Schwachpunkt der heute bekannten Methoden der Bewertung von Personalhandlungen. In diesem Zusammenhang sind weitere Forschungsanstrengungen erforderlich. Die neuen Methoden, die gegenwärtig u.a. bei der USNRC entwickelt werden /NRC 00/, beziehen das vom Betreiber bei der Entscheidungsfindung vorgefundene Umfeld der Möglichkeiten des Informationserhalts stärker ein.

Tab. 3-1: Aufstellung der in /NOW 01/ betrachteten, international in Kernkraftwerken aufgetretenen Brandereignisse

Ereignis-Nr.	Anlage	Land	Ereignisdatum	Begründung für Betrachtung
1	San Onofre, Block 1	USA	12.03.1968	Selbstentzündeter Kabelbrand, der zu Änderungen in der Kabelauslegung (Größe) führte
2	Mühleberg	Schweiz	21.07.1971	Erster bekannter großer Maschinenhausbrand
3	Browns Ferry, Block 1 und 2	USA	22.03.1975	Brand im Kabelverteiler-raum (Reaktorgebäude) mit sicherheitstechnischer Bedeutung; führte zu Regelwerksänderungen durch USNRC
4	Greifswald, Block 1	Deutschland (DDR)	07.12. 1975	Schaltanlagen- und Kabelbrand, der zum Notstromfall und offenem RDB führte
5	Belojarsk, Block 2	Russland (UdSSR)	31.12.1978	Großer Kabelbrand im Maschinenhaus mit Ausbreitung auf weitere Anlagenbereiche, resultierend in schweren Schäden im Kontrollgebäude und an der Warteninstrumentierung für Redundanzen
6	North Anna, Block 2	USA	03.07.1981	Schadensfeuer am großen Transformator ohne Beeinträchtigung von sicherheitsrelevanten und elektrischen Einrichtungen
7	Armenien, Block 1 und 2	Armenien (UdSSR)	15.10.1982	Großer Brand auf Kabelbühne mit erheblichen Auswirkungen auf die Kernkühlung, der zum Notstromfall und Ausfall verschiedener Energiequellen der Anlage führte
8	Rancho Seco	USA	19.03.1984	Wasserstoffexplosion und Brand im Maschinenhaus

Ereignis-Nr.	Anlage	Land	Ereignisdatum	Begründung für Betrachtung
9	Südukraine, Block 2	Ukraine (UdSSR)	14.12.1984	Kabelbrand im Containment mit Ausbreitung auf verschiedene Anlagenbereiche
10	Zaporoshje, Block 1	Ukraine (UdSSR)	27.01.1984	Großer Kabelbrand von ca. 18 h mit Schäden in verschiedenen Anlagenbereichen
11	Kalinin, Block 1	Russland (UdSSR)	18.12.1984	Großbrand im Maschinenhaus mit mehreren Entstehungsbränden an einem Leistungskabel
12	Maanshan, Block 1	Taiwan	01.07.1985	Großbrand im Maschinenhaus
13	Waterford, Block 3	USA	26.06.1985	Brand an Hauptkühlmittelpumpe mit Personalfehler der zum Ausfall von redundanten Sicherheitssystemen führte
14	Fort St. Vrain	USA	16.08.1987	Hydraulikölbrand im Maschinenhaus mit Beeinträchtigung der Warte durch Eindringen von Rauch
15	Ignalina, Block 2	Litauen (UdSSR)	05.09.1988	Großer Kabelbrand durch Selbstentzündung in einem Raum und Schäden an verschiedenen Kabeln, gelöscht mittels automatischer Löschanlage
16	Oconee, Block 1	USA	03.01.1989	Brand an nicht sicherheitstechnisch relevanter Schaltanlage, der zu menschlicher Fehlhandlung hinsichtlich der Reaktorkühlung führte
17	H. B. Robinson, Block 2	USA	07.01.1989	Wasserstoffbrand an verschiedenen Orten während der Revision infolge Fehler der Wartungsmannschaft
18	Calvert Cliffs, Block 2	USA	01.03.1989	Ereignis mit mehreren Entstehungsbränden einschließlich eines kleinen

Ereignis-Nr.	Anlage	Land	Ereignisdatum	Begründung für Betrachtung
				Brandes in der Warte
19	Shearon Harris	USA	09.10.1989	Ereignis mit mehreren Entstehungs- und Nachfolgebränden einschließlich eines Brandes am Haupttransformator und elektrischen Einrichtungen im Maschinenhaus
20	Vandellos, Block 1	Spanien	19.10.1989	Großbrand im Maschinenhaus mit Schaden an Wasserleitungsexpansionsverbindung und Überflutung von Maschinenhaus und Hilfsanlagengebäude
21	Tschernobyl, Block 2	Ukraine (UdSSR)	11.10.1991	Großbrand im Maschinenhaus infolge Rückeinspeisung aus dem Netz in den Generator mit nachfolgendem Dacheinsturz
22	Salem, Block 2	USA	09.11.1991	Maschinenhausbrand infolge Turbinenzerknall
23	Narora, Block 1	Indien	31.03.1993	Großbrand im Maschinenhaus infolge Turbinenzerknall
24	Waterford, Block 3	USA	10.06.1995	Schaltanlagenbrand, der sich über vertikale Kabel und eine Brandabschottung hinweg in einen horizontalen Kabeltrassenüberbau ausbreitete
25	Palo Verde, Block 2	USA	04.04.1996	Brandereignis mit mehreren Entstehungsbränden einschließlich eines kleinen Brandes in der Hauptwarte

4 Vorschlag für eine quantitative Bewertung der manuellen Brandbekämpfung

4.1 Internationale Vorgehensweise bei der quantitativen Bewertung des Einflussfaktors Mensch

Die amerikanische Aufsichtsbehörde USNRC, wie auch mit probabilistischen Bewertungen beschäftigte Arbeitsgruppen internationaler Organisationen (z.B. die WGRISK der OECD/NEA), sehen bereits seit einiger Zeit die Notwendigkeit, den Einfluss des Menschen bei Brandereignissen in Kernkraftwerken nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu bewerten, da dieser auch für die zu untersuchenden Ereignisabläufe von Brandereignissen bei einer PSA-Brand eine nicht unerhebliche Bedeutung hat.

Zum einen ist bereits bei der Brandentstehung der Mensch in nicht unerheblichem Maß beteiligt. Weltweit haben die Erfahrungen gezeigt, dass bei mehr als der Hälfte aller aufgetretenen Entstehungsbrände in kerntechnischen Einrichtungen zumindest eine Mitverursachung durch Menschen zu unterstellen ist.

Andererseits sind menschliche Handlungen bereits bei der Branderkennung und – alarmierung und noch mehr für eine erfolgreiche Brandbekämpfung von entscheidender Bedeutung. Gerade bei der Brandbekämpfung beeinflussen menschliche Aktivitäten die Schadensverläufe in ganz erheblichem Maße und können zu einer Verringerung oder Erhöhung der Kernschadenshäufigkeit infolge Brand beitragen.

Bei der USNRC wird derzeit daran gearbeitet, die vorhandene Betriebserfahrung national wie auch unter Einbezug von gut dokumentierten Ereignissen aus ausländischen Kernkraftwerken (siehe auch /NOW 01/) auszuwerten. Dabei bedient man sich neuerer Bewertungsmethoden für eine Analyse der menschlichen Handlungen im Ereignisablauf (ATHEANA), für die in /NRC 00/ eine Vorgehensweise in Form einer Art Richtlinie vorgegeben ist. Dabei wird zum einen ein Bezug zu realen Daten und deren Auswertung hergestellt, zum anderen auf anerkannte Modelle zur Simulation menschlicher Handlungen und Fehlhandlungen, wie beispielsweise /SWA 83/ oder /DOU 88/ und Modellgrundlagen (siehe auch /REA 85/) zurückgegriffen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen spätestens im Jahr 2003 vorliegen.

International wird bei der Betrachtung des Faktors Mensch bei Störfällen in kerntechnischen Anlagen zwischen den verschiedenen Arten von Daten zum Einfluss von Personalhandlungen und Methoden bzw. Modellen zur Behandlung derselben (siehe auch /IAE 91a/) unterschieden. Bei Aktivitäten außerhalb der Reaktorwarte werden des weiteren Unterschiede gemacht zwischen Aktivitäten des normalen Betriebs, Personalhandlungen bei Störfällen sowie Instandhaltung bzw. Wartung und Prüfung einschließlich aller wiederkehrenden Prüfungen und Inspektionen.

Entsprechend dieser Kategorisierung können die Daten weiter in menschliche Fehlhandlungen und erfolgreiche bzw. ordnungsgemäße Handlungen untergliedert werden. In diesem Zusammenhang kann auf einen ebenfalls im BMU-Vorhaben SR 2369 erstellten technischen Bericht zur Ermittlung von brandrelevanten Indikatoren für deutsche Kernkraftwerke /ROE 02/ verwiesen werden.

Bei der quantitativen Analyse des Einflussfaktors Mensch sind international auf der Basis der erhobenen und ausgewerteten anlagenspezifischen und generischen Daten entsprechende Modelle zur menschlichen Zuverlässigkeit (siehe auch /IAE 91a/) auszuwählen und anzuwenden. Weiterhin sind die Wahrscheinlichkeiten für menschliche Fehlhandlungen probabilistisch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Kernschadenshäufigkeit zu bewerten. In einem letzten Schritt ist zu untersuchen, inwieweit sich Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduktion negativer Auswirkungen des Menschen bei der Ereignisentstehung wie auch im Verlauf des Ereignisses quantitativ auswirken können.

4.2 Erarbeitung eines Vorschlags für eine quantitative Bewertung der manuellen Brandbekämpfung

Aus den Erfahrungen aus Brandereignissen sowohl in deutschen und ausländischen Kernkraftwerken als auch aus der Betriebserfahrung der Feuerwehren und der für den Brandschutz Verantwortlichen ergeben sich erste Erkenntnisse, wie man gegebenenfalls die manuelle Brandbekämpfung nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ in deutschen Anlagen bewerten könnte.

Nach Ansicht der GRS erfordert eine quantitative Analyse zunächst eine sehr detaillierte Datenerhebung und Auswertung. Zum einen ist die deutsche Betriebserfahrung mit Brandereignissen sowie Ereignissen, die unter anderen Randbedingungen und

Begleitumständen zu einem Entstehungsbrand hätten führen können, nicht nur aus den gemeldeten Ereignissen, sondern auch aus der vorhandenen betrieblichen Dokumentation in Bezug auf die menschliche Beteiligung bei der Brandentstehung einerseits und auf der anderen Seite auf die zeitlich gestaffelten menschlichen Handlungen bei der Erkennung und Bekämpfung von Bränden hin zu untersuchen. Dabei muss bei der Brandmeldung und Bekämpfung zusätzlich noch zwischen erfolgreichen menschlichen Handlungen und Fehlhandlungen unterschieden werden.

Auf der derzeit verfügbaren Informationsbasis von meldepflichtigen Brandereignissen ist eine solche statistische Detailauswertung noch nicht möglich, da die Informationstiefe oftmals nicht ausreichend ist. Bei Vorliegen der von der OECD/NEA/CSNI im Rahmen der internationalen Arbeitsgruppe "OECD FIRE" geplanten Auswertung gemeldeter Brandereignisse (Zeitraum 2002 - 2005) anhand vorgegebener, detaillierter Auswerteformulare sollten Daten zum menschlichen Verhalten bei diesen Bränden in ausreichender Informationstiefe für eine statistische Auswertung vorhanden sein. Möglicherweise ist - bei der geringen Zahl von Ereignissen - eine solche Statistik nicht allzu aussagekräftig.

Das o.g. Projekt "OECD FIRE" ermöglicht weiterhin eine Ausweitung der Auswertung auf Brandereignisse in ausländischen Kernkraftwerken. Da die entsprechende Arbeitsgruppe der OECD in diesem Zusammenhang auch Aussagen über die in den an dem Projekt beteiligten Mitgliedsstaaten unterschiedlichen Brandschutzkonzepte und Einsatzstrategien (einschließlich Art und Ausrüstung der Einsatzkräfte) vorgesehen hat, ist davon auszugehen, dass sich das vorhandene Datenmaterial dann nach einheitlichen Kriterien eingruppiert und statistisch bewerten lassen kann.

In einem zweiten Schritt sind die so aus der Betriebserfahrung gewonnenen und bereits aufbereiteten Daten dann auf anerkannte Methoden und Simulationsmodelle zur probabilistischen Bewertung menschlicher Handlungen und Fehlhandlungen anzuwenden, wie THERP oder ASEP (siehe /SWA 83/) für die Verursachung der Brandereignisse oder CATS, die für die Maßnahmen nach Ereigniseintritt, also Erkennung und Meldung sowie Brandbekämpfung, nutzbar sind.

Daraus sollten sich generische Zahlenwerte für die zeitlich gestaffelte Einflussnahme des Menschen bei Brandereignissen in Kernkraftwerken generieren lassen, die dann eine Möglichkeit eröffnen, die bislang noch erheblichen Unsicherheiten bei der Bewertung des Faktors Mensch im Ereignisablauf einer PSA-Brand (siehe auch /HAI 02/ und

/HAI 02a/) unter Einbezug ergänzender anlagenspezifischer Informationen deutlich zu verringern.

4.3 Erste Erprobung anhand eines Beispiels aus der Brand-PSA für eine Referenzanlage vom Typ Konvoi

Im Folgenden wird eine erste Erprobung für die vorgeschlagene Vorgehensweise zur quantitativen Bewertung nur der manuellen Brandbekämpfung anhand eines ausgewählten Beispiels aus einer Brand-PSA für eine deutsche Referenzanlage vorgestellt.

Im Rahmen der in /HAI 02/ im Detail dokumentierten probabilistischen Analysen zu einem Brand bei einer modernen Druckwasserreaktoranlage vom Typ Konvoi wurde das Szenario eines von einem elektrischen Verteilerschrank ausgehenden Kabelbrandes in einer Redundanz innerhalb des Containments vertieft untersucht und auch in Bezug auf Branderkennung und -meldung sowie Brandbekämpfung einer Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse (siehe auch /HAI 02a/) unterzogen. Für diese Analysen wurde die anlagenspezifische Betriebserfahrung zum einen in Bezug auf aufgetretene Brandereignisse in dem betroffenen Raumbereich, des weiteren in Bezug auf die Ergebnisse der regelmäßigen Übungen und Probeeinsätze der Werksfeuerwehr sowie des für die Brandbekämpfung als sogenannte "Brandersthelfer" ausgebildeten Schichtpersonals und - last but not least - auch im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der für den ausgewählten Raumbereich zur Verfügung stehenden Brandmelde- und Brandbekämpfungseinrichtungen ausgewertet.

In /HAI 02a/ wurde unter anderem der PSA-Beitrag für ein komplexes deterministisches Rechenmodell - bestehend aus dem Code CFAST und dem brandspezifischen Ereignisablauf mit den entsprechenden Gegenmaßnahmen zur Brandbekämpfung - aus einer Klasse von Brandereignissen zusammen mit Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen ermittelt. Dazu wurde die Anwendung eines deterministischen Rechenmodells zur Berücksichtigung des Einflusses der Kenntnisunsicherheiten einer (äußeren) Monte Carlo Simulation unterzogen.

Dabei wurde der Einfluss der Brandbekämpfung auf die dynamische Entwicklung des Brandes im Brandsimulationsmodell nicht erfasst. Das in /HAI 02a/ verwendete Rechenmodell zum Brandverlauf besteht einerseits aus einem dynamischen Simulationsmodell und andererseits aus dem brandspezifischen Ereignisablauf, in welchem die

erforderlichen Gegenmaßnahmen modelliert sind. Dementsprechend wurde zunächst eine dynamische Rechnung durchgeführt, bevor anschließend die Ergebnisse dieser Rechnung im Modell der Gegenmaßnahmen genutzt werden konnten.

Die Vorgehensweise zur quantitativen Berücksichtigung der Brandbekämpfung bei der Ermittlung des PSA-Beitrages mit entsprechenden Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen ist im Einzelnen in /HAI 02a/ dargestellt. Anhang A gibt einen Überblick über den Einfluss der verschiedenen, unsicheren Parameter für die Quantifizierung von deren Einfluss.

Unter Berücksichtigung des Einflusses der verschiedenen Parameter lassen sich die Ergebnisse der Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen die Brandmeldung und Brandbekämpfung für das ausgewählte Beispielszenario grob wie folgt zusammenfassen:

Bezüglich der Brandmeldung über das automatische Brandmeldesystem können bei dem hier behandelten Beispiel insgesamt vier verschiedene Fälle (kein, ein, zwei bzw. drei automatische Brandmeldedetektoren melden) eintreten. Welcher davon bei dem angenommenen Szenario eines Kabelbrandes innerhalb einer Redundanz im Sicherheitsbehälter der Referenzanlage eintritt, ist eine aleatorische Unsicherheit. Die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten sind epistemischen Größen, die im Weiteren nicht näher behandelt werden..

Treten Störsignale (aleatorische Größe) auf, so stehen diese ab einer bestimmten Temperatur der Heißgasschicht an, können aber keinem Raumbereich zugeordnet werden.

Die Ergebnisse die Brandbekämpfung betreffend sind die Folgenden:

Eine stochastisch ungenaue Anzahl von Sekunden nach Brandbeginn trifft der Brandläufer ein. Sind bereits zu diesem Zeitpunkt Flammen außerhalb des elektrischen Verteilerschranks sichtbar, so erkennt der Rundgänger auf jeden Fall den Brand. Sind noch keine Flammen zu sehen, so besteht mit einer geringen epistemischen Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit, dass er dennoch den Brand entdeckt. Im Fall der Branderkennung beginnt er unverzüglich mit der Brandbekämpfung.

Er wählt zur Brandbekämpfung zunächst ein transportables Handfeuerlöschgerät (Löschmittel: CO₂ bzw. Pulver), eine Brandbekämpfung mit Wasser über Feuerlöschschläuche und Wandhydranten wird i.a. nur dann begonnen, sofern sich mit den mobilen Löschgeräten bis dahin kein Löscherfolg einstellt. Abhängig von der zum Zeitpunkt t des Beginns der Brandbekämpfung vorherrschenden Temperatur $T(t)$ in der Heißgasschicht des Kontrollvolumens im Brandbereich, welches den Verteilerschrank als Zündquelle enthält, stellt sich der Löscherfolg nach einer zu bekannten Zeitspanne in Abhängigkeit von der Temperatur $T(t)$ und der Wahl des Löschmittels (Gas bzw. Pulver oder Wasser) ein. Der teilweise Löscherfolg, welcher sich gegebenenfalls nach einer bestimmten Dauer der Brandbekämpfung mit transportablen Feuerlöschgeräten (mit CO₂ bzw. Pulver als Löschmittel) einstellt, bleibt bei der Berechnung der anschließenden Brandbekämpfung mit Wasser unberücksichtigt.

Erfolgt eine Brandmeldung über nur einen automatischen Brandmeldedetektor, so ist dies aufgrund der technischen Gegebenheiten der Melder 1. Er meldet innerhalb von einer stochastisch unbekanntem Zeitspanne nach Brandbeginn. In diesem Fall entsendet die Warte zunächst einen Erkunder, der feststellen soll, ob es sich um einen Brand oder nur einen Fehlalarm des entsprechenden Melders handelt. Dies geschieht erneut innerhalb einer stochastisch variablen Zeitspanne nach Brandmeldung durch den Melder 1. Der Erkunder trifft nach einer unsicher bekannten Zeitspanne vor Ort ein. Treten zu diesem Zeitpunkt bereits Flammen außerhalb des elektrischen Verteilerschranks auf, so erkennt der Erkunder auf jeden Fall den Brand. Sind noch keine Flammen zu sehen, so besteht mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit, dass er den Brand entdeckt. Im Fall der Branderkennung beginnt er unverzüglich mit der Brandbekämpfung.

Ist der Rundgänger vor Ort und entdeckt den Brand vor dem Erkunder, so beginnt er mit der Brandbekämpfung. Sowohl Erkunder als auch Rundgänger verlassen den Ort wieder, wenn sie eine unsicher bekannte Zeitdauer nach ihrer Ankunft den Brandherd nicht entdeckt haben und kein weiterer Brandmelder angesprochen hat. Hat der Erkunder nach erfolgloser Suche bereits den Raum verlassen, so erkennt der Rundgänger den Brand an den Flammen außerhalb des Schrankes, sofern er erst zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Brandbeginn eintrifft. Der Rundgänger beginnt dann unverzüglich mit der Brandbekämpfung.

Treten zusätzlich zur Brandmeldung über den automatischen Brandmeldedetektor auch noch Störsignale auf, so ist dies ab der Temperatur der Heißgasschicht der Fall.

Eine weitere stochastisch variable Zeitspanne nach dem Auftreten von Störsignalen gibt die Warte die Information weiter. Ist der Erkunder über die Störsignale bereits informiert, so bleibt er vor Ort, bis er den Brandherd entdeckt hat. Er beginnt spätestens mit der Brandbekämpfung, wenn sich Flammen außerhalb des Schrankes zeigen. Wird der Erkunder über Störsignale erst dann informiert, wenn er den Raum nach erfolgloser Suche schon wieder verlassen hat, so benötigt er zusätzlich eine weitere, unbekannte Zeitspanne, um wieder vor Ort zu gelangen. Der Löschvorgang beginnt, sobald er am Ort ist und Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar sind.

Wenn zwei automatische Brandmeldedetektoren einen Brand signalisieren, sind dies aufgrund der technischen Gegebenheiten die Melder 1 und 2. Diese melden infolge eines etwa gleichen räumlichen Abstands zum elektrischen Verteilerschrank als Brandentstehungsort gleichzeitig nach einer stochastisch variablen Zeitdauer. Es werden unmittelbar Löschkkräfte entsandt und die Werksfeuerwehr alarmiert, erste Löschkkräfte treffen nach einer unsicher bekannten Zeitspanne vor Ort ein. Sind zu diesem Zeitpunkt bereits Flammen außerhalb des elektrischen Verteilerschranks feststellbar, so erkennen die Einsatzkräfte auf jeden Fall den Brand. Sind noch keine Flammen zu sehen, so besteht mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit, den Brandherd zu entdecken. Im Fall der Branderkennung wird unverzüglich mit der Brandbekämpfung begonnen.

Ist der Rundgänger zufällig vor den Löschkkräften vor Ort und entdeckt den Brand, beginnt er mit der Brandbekämpfung. Er verlässt den Ort wieder, wenn es ihm innerhalb einer bestimmten, unbekanntem Zeitspanne nach seiner Ankunft nicht möglich war, den Brandherd zu finden. Bei Brandalarm durch mindestens zwei automatische Brandmelder bleiben die Löschkkräfte, d.h. Brandersthelfer bzw. Feuerwehr, solange vor Ort, bis sie den Brandherd entdeckt haben. Die Brandbekämpfung beginnt spätestens dann, wenn sich Flammen außerhalb des Schrankes zeigen.

Treten zusätzlich zur Brandmeldung über die beiden automatischen Brandmelder auch noch Störsignale auf, entstehen diese ab Erreichen der Heißgasschichttemperatur. Diese Information über aufgetretene Störsignale gibt das Schichtpersonal auf der Warte dann nach einer stochastisch variablen Zeitspanne weiter. Sobald die Einsatzkräfte vor Ort über die Störsignale informiert sind, vergeht eine weitere, unsicher bekannte Zeit, bis diese den Brandherd schließlich auf jeden Fall entdecken.

Bei Brandalarm durch alle drei im Brandbereich installierten automatischen Brandmeldedetektoren ist das Vorgehen dem bei Brandmeldung durch nur zwei Detektoren vergleichbar mit dem Unterschied einer noch höheren Sensibilisierung der Einsatzkräfte.

Wie den in /HAI 02a/ dokumentierten Ergebnissen zu entnehmen ist, lässt sich der Einfluss der die unterschiedlichen Parameter bei Branderkennung und –bekämpfung für ein ausgewähltes Brandszenario mittels entsprechender statistischer Analysen quantifizieren. In diesem Zusammenhang lässt sich feststellen, dass die Untersuchungen zu den verschiedenen aleatorischen wie epistemischen Einflussgrößen bei dem ausgewählten Beispielszenario deutlich aufgezeigt haben, dass eine detaillierte, möglichst zeitlich genau aufgefächerte Auswertung des Verlaufs aller bislang in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren aufgetretenen, möglichst nicht nur meldepflichtigen sondern auch sonstigen Entstehungsbränden erheblich dazu beitragen kann, insbesondere die Kenntnisstandunsicherheiten bezüglich der Branderkennung und –bekämpfung zu verringern. In einigen Fällen, beispielsweise bei der Aussage, ob und wann bereits nach Auftreten einer Brandmeldung nur durch automatische Brandmelder ein Brand auch wirklich entdeckt wird, können derartige Analysen ggf. auch dazu beitragen, die stochastische Variabilität, d.h. die rein statistische Unsicherheit ebenfalls deutlich zu verringern.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

National wie international wird der Einfluss des Menschen sowohl bei der Entstehung als auch bei der Erkennung und Bekämpfung von Bränden für bedeutsam erachtet. Dies gilt insbesondere für die probabilistische Bewertung der Anlagensicherheit. Dementsprechend sollte im Rahmen des BMU-Vorhabens SR 2369, welches eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Bewertung von manuellen wie technischen Brandschutzmaßnahmen zum Ziel hatte, auch eine Bewertung von Personalhandlungen sowohl bei den Brandentstehung als auch bei der Branderkennung und -bekämpfung in deutschen Kernkraftwerken erfolgen.

Aufbauend auf Auswertungen der Betriebserfahrung aus Brandereignissen in deutschen Kernkraftwerken einerseits wie aus international bekannt gewordenen und der Fachöffentlichkeit zugänglichen, in ausländischen Kernkraftwerken aufgetretenen Brandereignissen wurde ein erster Vorschlag für eine Vorgehensweise auch zur quantitativen Bewertung der menschlichen Handlungen bei Brandereignissen in Kernkraftwerken erarbeitet.

Eine erste, recht vereinfachte Anwendung einer derartigen quantitativen Bewertung erfolgte anhand eines ausgewählten Beispiels aus einer PSA-Brand für eine deutsche Referenzanlage moderner Bauart mit Druckwasserreaktor vom Typ Konvoi. Anhand dieses Beispiels wurde aufgezeigt, wie sich vor allem bestimmte Unsicherheiten den Kenntnisstand zu sensitiven Parametern der Brandmeldung und –bekämpfung betreffend mittels statistischer Auswertungen der vorhandenen Betriebserfahrung aus deutschen wie internationalen Kernkraftwerken in Bezug auf diese Einflussfaktoren sinnvoll verringern und damit die Aussagekraft der PSA-Ergebnisse verbessern lassen.

Die Untersuchungen zeigten zum einen, dass die bislang verfügbare Datenbasis von nur 53 meldepflichtigen bzw. gemeldeten Bränden in deutschen Kernkraftwerken und größeren Prototypreaktoren deutlich zu gering ist für eine belastbare quantitative Bewertung des menschlichen Einflusses sowohl bei der Ereignisverursachung als auch im Ereignisverlauf. Für eine belastbare Datenbasis wäre es erforderlich, auch gemeldete Brandereignisse in Anlagen im Ausland wie auch entsprechend den deutschen Meldekriterien nicht meldepflichtige Brandereignisse in deutschen kerntechnischen Einrichtungen mit zu berücksichtigen.

Zum anderen ist die derzeit verfügbare Dokumentation der gemeldeten Ereignisse nur in den wenigsten Fällen hinreichend ausführlich, insbesondere was den exakten zeitlichen Ereignisablauf einschließlich der verschiedenen Zeitspannen für die Branderkennung und –meldung wie auch für die Brandbekämpfung betrifft, so dass eine quantitativ statistische Auswertung der bisher vorliegenden Informationen nicht sinnvoll ist. Derartige Informationen liegen aber im Allgemeinen bei den Betreibern deutscher Kernkraftwerke sowohl für real stattgefundenene Brandereignisse als auch für Fehlalarme, auf die ebenfalls eine Reaktion des Personals erfolgte, als anlageninterne Dokumentation durchaus vor.

Für eine quantitative Bewertung des Einflussfaktors Mensch, insbesondere bei der Brandbekämpfung, wäre es zielführend, wenn alle Detailinformationen zu den zeitlichen Abläufen stattgefundenener Brandereignisse wie auch Fehlalarme aus der betriebsseitig vorliegenden, detaillierten Anlagendokumentation deutscher Kernkraftwerke mit Zustimmung der Kraftwerksbetreiber für eine quantitative, zeitlich spezifizierte Auswertung zur Verfügung gestellt werden könnten. Damit könnte auch die Aussage-sicherheit von Ergebnissen der Brand-PSA zu einzelnen Brandereignisabläufen deutlich erhöht werden.

6 Literatur

- /BfS 00/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Auftragsschreiben Z.1.2.1 vom 11.05.2000
- /BMU 01/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Aktuelle Fassung: Juli 2001
- /DOU 88/ Dougherty, Jr., E. M., Fragola, J. R.
Human Reliability Analysis: A Systematic Engineering Approach with Nuclear Power Plant Applications, Wiley-Interscience, New York, NY (USA), 1988
- /FAK 97/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: Dezember 1996, BfS-KT 16/97, Juni 1997
- /FAK 97a/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, Stand: April 1997, BfS-KT 18/97, Juni 1997
- /FAS 01/ Fasel, H.-J., Türschmann M., Röwekamp, M.
Die Auswahl kritischer Brandbereiche bei probabilistischen Brandanalysen, Technischer Bericht, GRS-A-2835, April 2001
- /GRS 00/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Vorabinformation zu einem meldepflichtigen Brandereignis im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld am 5.5.2000; "Folgeschaden auf Grund Brand an der Hauptkühlmittelpumpe YD10 D001", Juli 2000

- /GRS 02/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Datenbank für meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken
"VERA", Stand: März 2002
- /GRS 02a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Vorschlag für Anforderungen an probabilistische Sicherheitsanalysen der
Stufe 2, GRS-A-3053, Januar 2002
- /HAI 02/ Haider, C., et al.
Erweiterte PSA der Stufe 1 im Hinblick auf die Behandlung übergreifender
Einwirkungen und die Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten am Beispiel
einer Anlage vom Typ Konvoi, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strah-
lenschutz, BMU-2002-592, ISSN 0724-3316, 2002
- /HAI 02a/ Haider, C., et al.
Unsicherheitsanalysen zu einem Kabelbrandszenario im
Sicherheitsbehälter einer Konvoi-Anlage, GRS-A-2889, Januar 2002
- /IAE 83/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Fire in a charcoal bed of the off-gas system, IAEA Incident Reporting
System (IRS), IRS-No. 359, Wien, 1983
- /IAE 88/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Damage of an instrument transformer causes loss of offsite power to both
units, IAEA Incident Reporting System (IRS), IRS-No. 863, Wien, 1988
- /IAE 91/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Hydrogen fire following a line rupture in the reactor building annulus, IAEA
Incident Reporting System (IRS), IRS-No. 1225, Wien, 1991
- /IAE 91a/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Human reliability data collection and modelling, IAEA-TECDOC-618, Wien,
1991
- /IAE 98/ International Atomic Energy Agency (IAEA) IAEA/NEA
Incident Reporting System (IRS), Reporting Guidelines, Wien 1998

- /IAE 99/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Root cause analysis for fire events at nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1112, Wien, 1999
- /IAE 02/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Fire Experience in NPPs - Lessons Learned from Fire Experience in NPPs and Preparation of Contents and Criteria for an International Fire and Explosion Events Database, IAEA-TECDOC, IAEA/NSNI, Wien, 2002 (to be published)
- /KOT 94/ Kotthoff, K.
Internationale Bewertungsskala für bedeutsame Ereignisse in Kerntechnischen Einrichtungen, Benutzerhandbuch, GRS-111, Juni 1994
- /NOW 01/ Nowlen, S.P. et al
Risk Methods Insights Gained from Fire Incidents, NUREG/CR-6738, September 2001
- /NRC 00/ United States Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA), NUREG-1624, Rev. 1, USNRC, Mai 2000
- /OEC 02/ OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA)
OECD Fire Incidents Records Exchange (OECD FIRE), OECD Fire Coding Guidelines, OECD/NEA/CSNI, Paris, Entwurf Juni 2002
- /REA 85/ Reason, J. T., Embrey, D. E.
Human factors principles relevant to the modelling of human errors in abnormal conditions of nuclear and major hazardous installation, Human Reliability Associates, Dalton (UK), 1985
- /ROE 01/ Röwekamp, M., Oltmanns, S.
Ermittlung kernkraftwerksspezifischer Kenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in einem älteren Kernkraftwerk und einer Konvoi-Anlage, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2001-573, ISSN 0724-3316, 2001

/ROE 01a/ Röwekamp, M., Berg, H. P.

German Experience from Reportable NPP Fire Events,
Proceedings of Technical Committee Meeting on Fire Experience in NPPs
and Lessons Learned,
IAEA-711-J7-TC.1184 2001, IAEA/NSNI, Wien, 2001

/ROE 02/ Röwekamp, M., Türschmann, M.

Indikatoren zur Erkennung von Änderungen im brandschutztechnischen
Sicherheitsniveau eines Kernkraftwerks, GRS-A-3031, Juni 2002

/SWA 83/ Swain, A.D., Guttman, H.E.

Handbook of Human Reliability, Analysis with Emphasis on Nuclear Power
Applications, Final Report, NUREG/CR 1278, 1983

Anhang A: Berücksichtigung unsicherer Parameter in Bezug auf Brandmeldung und Brandbekämpfung für ein ausgewähltes Beispiel aus der Brand-PSA für eine Referenzanlage vom Typ Konvoi

In /HAI 02a/ wurde unter anderem der. Dazu wurde die Anwendung eines deterministischen Rechenmodells zur Berücksichtigung des Einflusses der Kenntnisunsicherheiten einer (äußeren) Monte Carlo Simulation unterzogen.

Dabei wurde der Einfluss der Brandbekämpfung auf die dynamische Entwicklung des Brandes im Brandsimulationsmodell nicht erfasst. Das in /HAI 02a/ verwendete Rechenmodell zum Brandverlauf besteht einerseits aus einem dynamischen Simulationsmodell und andererseits aus dem brandspezifischen Ereignisablauf, in welchem die erforderlichen Gegenmaßnahmen modelliert sind. Dementsprechend wurde zunächst eine dynamische Rechnung durchgeführt, bevor anschließend die Ergebnisse dieser Rechnung im Modell der Gegenmaßnahmen genutzt werden konnten.

Bei den Aktivitäten zur Ermittlung des PSA-Beitrags für einen brandspezifischen Ereignisablauf mit den entsprechenden Gegenmaßnahmen zur Brandbekämpfung zusammen mit Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen wurde (siehe HAI 02a/) davon ausgegangen, dass die wesentlichen Unsicherheiten bei der Ermittlung der dynamischen Brandentwicklung im Fall eines Kabelbrandes von epistemischer Natur, also Kenntnisstandunsicherheiten, sind. Somit unterlag die Dynamikrechnung allein epistemischen Unsicherheiten, zumal die Auswirkungen der Löschmaßnahmen, wie in /HAI 02a/ erläutert, nicht in die Dynamikmodellierung einbezogen wurden.

Zu stochastischer Variabilität kommt es aufgrund des zufälligen Geschehens in den Bereichen der Branderkennung und -meldung sowie der Brandbekämpfung. Der Ablauf der Ereignisse in diesen Bereichen wurde mittels eines separaten Rechenmodells, dem sogenannten Gegenmaßnahmenmodell, simuliert. Dieses Modell der Gegenmaßnahmen wird derzeit noch weiterentwickelt und ist in /HAI 02/ detailliert zusammen mit den dabei identifizierten stochastischen Einflüssen und Kenntnisstandunsicherheiten beschrieben.

Im Folgenden wird auf die Berücksichtigung unsicherer Parameter bei der Brandmeldung und Brandbekämpfung für einen derartigen Brandverlauf eingegangen.

Hinsichtlich der Brandmeldung gibt es mehrere unsichere Parameter. Mit einer stochastischen, sogenannten "aleatorischen" Unsicherheit sind dabei unter anderem die folgenden Größen behaftet:

Zum einen handelt es sich um die Ansprechzeit der Brandmelder, sobald Rauch zu ihnen aufgestiegen ist. Die stochastische Variabilität dieser Zeitspanne wird durch eine Gleichverteilung ausgedrückt, bei welcher Minimum und Maximum (beides epistemische Größen, also Unsicherheiten bezüglich des Kenntnisstandes) ungenau bekannt sind. In diese Größe geht keine menschliche Handlung ein.

Die Zeitspanne zwischen Brandbeginn und dem Ansprechen der vor Ort installierten automatischen Brandmeldedetektoren ist ebenfalls mit einer aleatorischen Unsicherheit behaftet. Diese Zeitspanne beinhaltet keinerlei menschlichen Einfluss. Die Verteilung, welche die stochastische Variabilität dieser Zeitspanne modelliert, setzt sich zusammen aus einem konstanten aber ungenau bekannten Anteil, nämlich der Zeit, die vergeht, bis Brandgase zu den Brandmeldern aufgestiegen sind, und der Verteilung der stochastisch variablen Zeitspanne, die danach bis zum Ansprechen des jeweiligen Melders vergeht.

Das Auftreten von durch den Brand verursachten Störsignalen in der Warte wird ebenfalls als stochastisches Ereignis aufgefasst. Das bedeutet, es kommt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (epistemische Größe) zu Störsignalen, mit der Komplementärwahrscheinlichkeit (epistemische Größe) bleiben diese Störsignale aus.

Ein sogenannter Brandläufer, also ein Rundgänger, kommt etwa alle drei Stunden mit einer Abweichung von bis zu etwa 20 Minuten durch den betrachteten Raumbereich. Die Zeit nach Brandbeginn, zu welcher der Rundgänger eintrifft, ist eine menschlich beeinflusste aleatorische Größe. Ihre stochastische Variabilität wird mittels einer Gleichverteilung zwischen 0 und einem ungenau bekannten Maximum, welches erfahrungsgemäß (entsprechend den Auswertungen der deutschen Betriebserfahrung) zwischen 9.600 und 12.000 Sekunden liegt, modelliert.

Bei Auslösung eines automatischen Brandmeldedetektors ist die Brandmeldung durch Personal zu verifizieren, welches von der Warte vor Ort entsandt wird (d.h. durch einen

Erkunder). Die Zeit, welche das Wartpersonal benötigt, um auf einen Alarm durch nur einen automatischen Brandmeldedetektor zu reagieren (z.B. um den Erkunder zu entsenden, der prüfen soll, ob es sich um einen Brand oder nur um einen Fehlalarm des automatischen Brandmelders handelt), ist eine aleatorische Größe. Minimum und Maximum des Bereichs der stochastischen Variabilität sind ungenau bekannt und werden dementsprechend als Kenntnisunsicherheiten behandelt. Zwischen Minimum und Maximum wird jede mögliche Zeitspanne als gleich häufig vertreten beurteilt.

Die Zeit nach der Meldung durch nur einen automatischen Brandmelder, zu der ein Erkunder entsandt wird, ist ebenfalls eine aleatorische Größe. Sie setzt sich zusammen aus der Reaktionszeit des Personals in der Warte auf eine Brandmeldung durch nur einen automatischen Brandmeldedetektor (aleatorische Größe) und einer ungenau bekannten Verzögerungszeit der Warte bis zur Entsendung eines Erkunders (ungenau bekannte, epistemische Größe). Die mögliche stochastische Variabilität dieser Verzögerungszeit des Wartpersonals wird als vernachlässigbar beurteilt im Vergleich zur grundsätzlichen Unsicherheit über diese Zeit. Sie wird deshalb als Kenntnisunsicherheit behandelt.

Das Ereignis, dass der Rundgänger den Brand erkennt, wenn weder ein automatischer Brandmeldedetektor meldet noch Flammen erkennbar sind, ist zufällig. Die Wahrscheinlichkeit für die Branderkennung ist eine epistemische Größe mit einem Wert zwischen 0 und 0.25. Mit der entsprechenden Komplementärwahrscheinlichkeit erkennt der Rundgänger den Brand nicht.

Auch das Ereignis, dass der Brand entweder vom Rundgänger oder vom Erkunder erkannt wird, wenn ein automatischer Brandmelder meldet und noch keine Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar sind, ist eine aleatorische Größe. Die Wahrscheinlichkeit für die Branderkennung ist ungenau bekannt (epistemische Größe zwischen 0.25 und 0.75). Mit der Komplementärwahrscheinlichkeit wird der Brand nicht erkannt. Die Auswertung der deutschen Betriebserfahrung aus meldepflichtigen Brandereignissen in Kernkraftwerken und Prototypreaktoren gibt leider keine weiteren Aufschlüsse für diesen Fall, da keines der gemeldeten Ereignisse auf das Beispiel übertragbar ist. Hierzu müsste zumindest eine größere Anzahl von Bränden an elektrischen Einrichtungen genauer untersucht werden. Festzustellen bleibt aber, dass die wenigen Brände an elektrischen Einrichtungen, die nicht direkt von selbst wieder erloschen, begrenzt auf die Komponente selbst oder sogar nur auf ein Bauteil, nach einer automatischen Brandmeldung alle erkannt und auch erfolgreich bekämpft wurden.

Weitere Aufschlüsse sollte ggf. die betreiberseitig vorhandene, anlageninterne Dokumentation geben können.

Bei Brandmeldung durch zwei automatisch auslösende Brandmeldedetektoren wird Personal zur Brandbekämpfung (sogenannte Brandersthelfer, d.h. für erste Brandbekämpfungsmaßnahmen geschultes Schichtpersonal) vor Ort entsandt, zusätzlich wird die Werksfeuerwehr alarmiert. Diese Größe bezeichnet das zufällige Ereignis, dass der Brand vom Rundgänger oder diesen Löschkraften erkannt wird, wenn bereits zwei automatische Brandmeldedetektoren melden, aber noch keine Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar sind. Die Wahrscheinlichkeit für die Branderkennung in diesem Fall ist erneut eine epistemische Größe (zwischen 0.25 und 0.75). Mit der Komplementärwahrscheinlichkeit wird der Brand nicht erkannt. Hinsichtlich der Erkenntnisse aus der bisherigen Auswertung der deutschen Betriebserfahrung gilt das bereits oben Gesagte, weitere Aufschlüsse sind unter Umständen aus der Anlagen dokumentation zu ziehen.

Das zufällige Ereignis, dass der Brand vom Rundgänger oder den Löschkraften erkannt wird, wenn bereits drei Melder reagieren, aber noch keine Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar sind, hat eine ungenau bekannte Wahrscheinlichkeit zwischen 0.5 und 1. Mit der Komplementärwahrscheinlichkeit wird der Brand nicht erkannt.

Die Zeit nach dem Auftreten von Störsignalen, zu der Rundgänger und Erkunder oder die Löschkraften zusätzlich zu einer Brandmeldung durch die automatischen Brandmeldedetektoren von der Warte aus über Störsignale informiert werden, wird ebenfalls als aleatorische Größe betrachtet. Sie wird in Bezug gesetzt zur Zeit nach der Meldung durch nur einen automatischen Brandmelder, zu welcher der Erkunder informiert und entsandt wird. Bei zusätzlich zur Meldung durch die Brandmelder auftretenden Störsignalen wird erwartet, dass die Warte entsprechende Informationen schneller weiterleitet, und zwar um einen ungenau bekannten Faktor zwischen 0.5 und 0.75. Hierzu gibt es Vorgaben in den Betriebshandbüchern, zusätzliche Erkenntnisse aus den meldepflichtigen deutschen Brandereignissen waren nicht zu gewinnen.

Bei den nachfolgend auszugsweise aus /HAI 02a/ aufgeführten und erläuterten epistemischen Parametern (bezeichnet als B1 bis B8) handelt es sich um als potenziell wichtig identifizierte Größen hinsichtlich der Kenntnisstandunsicherheit in Bezug auf

die mit menschlichem Einfluss behaftete Brandmeldung und die – in diesem Beispiel rein manuelle - Brandbekämpfung.

Die Parameter B12 bis B14 sind jeweils die ungenau bekannten Wahrscheinlichkeiten für die stochastischen Ereignisse der Branderkennung, wenn noch keine Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar sind und kein, ein, zwei, bzw. drei automatische Brandmeldedetektoren melden. Der Kenntnisstand zu diesen Größen wird durch eine Gleichverteilung probabilistisch ausgedrückt (über (0, 0.25), (0.25, 0.75), (0.25, 0.75), bzw. (0.5, 1)). Zwischen den letzteren beiden Parametern (B13, B14) besteht eine Kenntnisstandabhängigkeit. Hohe (bzw. niedrige) Werte für B13 gehen tendenziell einher mit hohen (bzw. niedrigen) Werten für B14. Diese Abhängigkeit wird probabilistisch ausgedrückt mit einem Wert von 0.85 für den Korrelationskoeffizienten.

Bei dem epistemischen Parameter B21 handelt es sich um das ungenau bekannte Maximum der stochastisch variierenden Zeit nach Brandbeginn, zu welcher der Brandläufer durch den Raum kommt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand aus der anlagenspezifischen als auch der bisher generisch ausgewerteten deutschen Betriebs- erfahrung bewegt sich das Maximum in einem Intervall zwischen 9.600 und 12.000 Sekunden. Jeder Wert ist dabei in gleichem Maße möglich, was durch eine Gleichverteilung über dieses Intervall probabilistisch ausgedrückt wird. Eine engere Eingrenzung dieser Zeitspanne durch Auswertung der anlagenspezifischen Dokumentation und von generischen Informationen über Abweichungen von Durchschnittswerten für derartige Rundgänge infolge von dabei durchgeführten Sofortmaßnahmen könnte die Kenntnis- unsicherheit zu diesem Parameter deutlich verringern.

B22 und B23 sind die Endpunkte des Bereichs der stochastischen Variabilität der Reaktionszeit des Wartenpersonals auf die automatische Brandmeldung durch nur einen Brandmelder. Der derzeit vorhandene Kenntnisstand zum minimalen Wert der Reaktionszeit, der sich aus anlagenspezifischen Aussagen wie überaus grob generisch ausgewerteten Trainingsergebnissen ergibt, wird durch eine Gleichverteilung über dem Intervall (30 s, 60 s) und zum maximalen Wert durch eine Gleichverteilung über dem Intervall (60 s, 120 s) probabilistisch ausgedrückt. Außerdem wird eine vollständige positive Abhängigkeit zwischen B22 und B23 spezifiziert, d.h. für B23 wird in diesem Fall immer der doppelte Wert von B22 gewählt. Ob und inwieweit sich der Kenntnis- stand zu diesen drei Parametern erhöhen lässt, hängt sicherlich davon ab, wie aussa- gekräftig die verfügbare Dokumentation aus Brandereignissen oder simulierten Ein- sätzen zu derartigen Reaktionszeiten ist.

Bei dem Parameter B24 handelt es sich um die Verzögerungszeit bis zur Entsendung eines Erkunders nach der Reaktionszeit des Wartenpersonals auf eine Brandmeldung durch Ansprechen von nur einem automatischen Brandmeldedetektor. Hierzu wird der Kenntnisstand durch eine Histogrammverteilung zwischen 30 und 120 Sekunden probabilistisch ausgedrückt. Über den Intervallen (30 s, 60 s) und (90 s, 120 s) beträgt die Wahrscheinlichkeit der Histogrammverteilung jeweils 0.05 und über dem Intervall (60 s, 90 s) hat sie den Wert 0.9. Der derzeitige Kenntnisstand beruht, ebenso wie für die Parameter B22 bis B24, auf Aussagen des entsprechend verantwortlichen Anlagenpersonals sowie Dokumentationen von Probeeinsätzen und Fehlalarmen in deutschen Anlagen. Inwieweit sich die Kenntnisunsicherheit für diese Größe verringern lässt, hängt wiederum von der Qualität der verfügbaren Dokumentation ab.

Die mögliche stochastische Variabilität der Zeit, die der Erkunder bzw. die ersten Löschkräfte benötigen, um vor Ort zu gelangen, wird als vernachlässigbar beurteilt im Vergleich zur grundsätzlichen Unsicherheit über diese Zeit. Sie wird deshalb als epistemische Größe (B25) behandelt. Der Kenntnisstand zu B25 wird durch eine Gleichverteilung über dem Intervall (180 s, 300 s) probabilistisch ausgedrückt. Die grundsätzliche Kenntnisunsicherheit über die Zeit, die das vor Ort entsandte Personal benötigt, bis es an den Brandort gelangt, lässt sich sicherlich bereits etwas besser eingrenzen, wenn man die gesamte deutsche Betriebserfahrung aus kerntechnischen Anlagen berücksichtigt. Bereits die Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken und Prototypreaktoren (siehe Abschnitt 2.2) ergibt erste Indizien für die Zeitspannen, innerhalb derer Personal zur Brandbekämpfung vor Ort war. Bei den drei im Reaktorgebäude stattgefundenen der insgesamt 24 manuell bekämpften Brandereignisse benötigten die Einsatzkräfte zwischen wenigen Sekunden und fünf Minuten, bis sie am Brandort waren (im ersten Fall war der Brand menschlich verursacht und entdeckt, bis zum Einsatz des Löschgerätes vergingen nur wenige Sekunden). Bei den vier weiteren Entstehungsbränden, bei denen eine Brandbekämpfung nicht erforderlich war, war entweder direkt Personal vor Ort (2 Fälle) oder innerhalb von drei bis fünf Minuten am Brandort. Sollten sich diese Trends aus der weiteren nationalen wie internationalen Betriebserfahrung von Kernkraftwerken bestätigen, ließe sich die epistemische Unsicherheit weiter verringern und ggf. eine deutlich genauere Unsicherheitsverteilung für bestimmte Zeitintervalle dazu angeben.

Die Zeit, die Erkunder oder Rundgänger vor Ort bleiben, um den Brandherd zu finden, wenn nur ein automatischer Brandmelder angesprochen hat, wird als epistemische

Größe (B26) betrachtet, da die grundsätzliche Kenntnisstandunsicherheit über diese Zeit die mögliche stochastische Variabilität überwiegt. Eine Gleichverteilung über dem Intervall (180 s, 300 s) quantifiziert den Kenntnisstand zu diesem Parameter. Aus der Auswertung der meldepflichtigen deutschen Brandereignisse liegen hierzu derzeit keine detaillierteren Informationen vor. Vielmehr ergeben die Erkenntnisse aus Befragungen von anlagenzugehörigen wie externen Einsatzkräften zur Brandbekämpfung sowie Vorgaben der Betriebshandbücher zu derartigen Situationen, dass im Falle des Nichtansprechens weiterer Brandmelder (entsprechend einer Zeitspanne von ungefähr 60 bis 300 Sekunden je nach räumlicher Anordnung und Typ der Brandmeldedetektoren, von ungefähr 60 bis 300 Sekunden) das Personal mindestens etwa drei bis fünf Minuten vor Ort verbleibt, um einen möglichen Brandherd zu verifizieren. Diese Erfahrungen werden auch in dem einen, in Abschnitt 2.4 näher erläuterten, nicht meldepflichtigen Brandereignis widerspiegelt. Eine Auswertung der betreiberseitig vorliegenden, detaillierten Anlagendokumentation sollte für alle Brandereignisse und Fehlalarme in deutschen Kernkraftwerken mit Zustimmung der Kernkraftwerksbetreiber möglich sein.

Die Zeit nach dem Auftreten von Störsignalen, zu welcher Rundgänger und Erkunder oder auch Löschkkräfte über zusätzliche Störsignale von der Warte aus informiert werden, wird als aleatorische Größe betrachtet. Sie wird in Bezug gesetzt zur Zeit nach der Meldung durch nur einen Brandmelder, zu welcher der Erkunder informiert wird. Bei zusätzlich auftretenden Störsignalen wird erwartet, dass die Warte entsprechende Informationen schneller weiterleitet, und zwar um den ungenau bekannten Faktor B27. Jeder Wert zwischen 0.5 und 0.75 ist dabei in gleichem Maße für B27 möglich (Gleichverteilung). Derzeit ist aus der Auswertung der gemeldeten Brandereignisse in deutschen Anlagen nicht zeitlich abzulesen, wie groß der Einfluss von Störsignalen auf die o.g. stochastische Größe der Informationsweiterleitungszeit ist, da solche Ereignisse kaum auftraten. Es gilt aber auch hier das für B26 Gesagte: Eine zeitspezifizierte Auswertung der betreiberseitig vorliegenden, detaillierten Anlagendokumentation sollte mit Zustimmung der Kernkraftwerksbetreiber möglich sein.

Sofern Erkunder oder Brandläufer den Brandherd nach der Zeit B26 nicht entdeckt haben, verlassen diese wieder den Raum. Die epistemische Größe B28 bezeichnet die Zeit, die der Erkunder benötigt, um ein zweites Mal vor Ort zu gelangen, wenn zusätzlich zur Brandmeldung durch einen Melder Störsignale erst dann auftreten, nachdem dieser den Raum bereits verlassen hat. Der Kenntnisstand zu B28 wird durch eine

Gleichverteilung über dem Intervall (120 s, 300 s) probabilistisch ausgedrückt. Gegenüber dieser Kenntnisstandunsicherheit wird eine stochastische Variabilität als vernachlässigbar angesehen. In diese Größe gehen erneut die gleichen Erkenntnisse wie für B26, nur mit dem Unterschied, dass das Personal im günstigsten Fall etwa 60 s weniger Zeit benötigt, zurück vor Ort zu gelangen, da es sich noch nicht wieder entsprechend weit entfernt hat. Erkenntnisse aus den meldepflichtigen deutschen Brandereignissen liegen dazu derzeit nicht vor, die internationalen Erfahrungen und Aussagen des Anlagenpersonals der Referenzanlage bestätigen diese Annahme jedoch. Ansonsten gilt das für B25 Gesagte.

Wenn bereits zwei automatische Brandmelder angesprochen haben, werden unverzüglich Löschkräfte zur Erstbekämpfung eines Entstehungsbrandes vor Ort entsandt. Diese bleiben zunächst so lange vor Ort, wie die Brandmeldungen durch die automatischen Brandmeldedetektoren anstehen. Sie bekämpfen den Brand spätestens ab dem Zeitpunkt, ab welchem Flammen außerhalb des Schrankes erkennbar werden. Treten zusätzlich zu der Brandmeldung über die Brandmeldeanlage auch noch Störsignale auf, so wird angenommen, dass die Löschkräfte nach einer Verzögerungszeit von B29 s den Brandherd auf jeden Fall entdecken. Diese Verzögerungszeit wird als epistemische Größe behandelt. Eine Gleichverteilung über dem Intervall (30 s, 60 s) dient als Ausdruck der probabilistischen Kenntnisstandunsicherheit. Aufgrund der zu geringen und zu wenig dokumentierten Datenbasis ergeben sich leider bislang keine gesicherteren Erkenntnisse aus der ausgewerteten deutschen Betriebserfahrung. Aus der betreiberseitigen Anlagendokumentation sollten sich aber relativ präzise Zeitspannen gewinnen lassen.

Die Zeitspanne, bis zu welcher sich der Löscherfolg einstellt, wird als abhängig von der zu Beginn der Brandbekämpfung herrschenden Temperatur der Heißgasschicht beurteilt. B30 ist eine vom Löschmittel unabhängige Verzögerungszeit, welche bis zu einer bestimmten kritischen Temperatur für zutreffend gehalten wird. Diese kritische Temperatur ist ungenau bekannt, und der Kenntnisstand hierzu wird unter B31 angegeben. Zunächst wird ein Entstehungsbrand mit Handfeuerlöschgeräten (in dem ausgewählten Raumbereich des Beispiels mit dem Löschmittel CO₂ bzw. Pulver) bekämpft. Wenn die Zeit für eine Brandbekämpfung mit transportablen Feuerlöschgeräten 900 Sekunden überschreitet, ist davon auszugehen, dass nicht mehr ausreichend Löschmittel vorhanden ist bzw. dessen Wirksamkeit deutlich herabgesetzt ist. Ab diesem Zeitpunkt wird spätestens mit einer Brandbekämpfung mit Wasser über die vorhandenen Wand-

hydranten und Feuerlöschschläuche begonnen. Für alle Löschmittel (CO₂, Pulver und Wasser) steigt die Verzögerungszeit ausgehend von B30, ab B31 über der Temperatur linear an. Die Steigung ist jeweils durch B30, B31 und die Verzögerungszeit bei 400 °C (B32+B30 für CO₂ bzw. Pulver und B33+B30 für Wasser) angegeben. Zu diesen vier epistemischen Größen wird der Kenntnisstand jeweils durch eine Gleichverteilung über den Intervallen (90 s, 180 s) für B30, (80 °C, 130 °C) für B31, (3000 s, 4800 s) für B32 und (480 s, 720 s) für B33 probabilistisch modelliert (siehe auch Abbildung A-1). Die Auswertung der meldepflichtigen Brandereignisse als auch einiger international bekannt gewordener Brände in Kernkraftwerken ergibt dazu erste Anhaltspunkte, weitere Daten über Löschdauer und Effizienz der verschiedenen Arten von transportablen Feuerlöschgeräten wurden Angaben der Hersteller sowie Testergebnissen von Prüfungen durch Feuerwehren bzw. VdS (Verband der Schadensversicherer) entnommen.

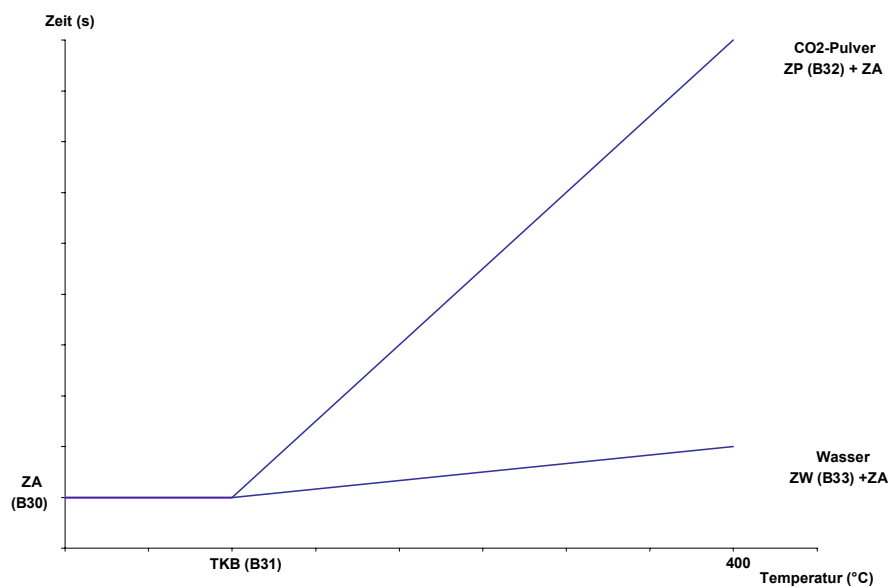


Abb. A-1: Erforderliche Zeit zur Brandbekämpfung in Abhängigkeit von Temperatur der Heißgasschicht und Löschmittel