

Regelung des Brandschutzes in  
Kernkraftwerken auf der Grundlage  
bauaufsichtlicher Vorschriften

**T 1259**

T 1259

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Schneider  
Fachgebiet: Baustoffkunde  
Leiter: Amtl. Prüfstelle für Beton



4.43  
Gesamthochschule  
Kassel  
Universität des Landes Hessen  
Fachbereich 14  
Bauingenieurwesen

REGELUNG DES BRANDSCHUTZES IN KERNKRAFTWERKEN  
AUF DER GRUNDLAGE BAUAUFSICHTLICHER VORSCHRIFTEN

A B S C H L U S S B E R I C H T

März 1984

(mit redaktionellen Änderungen  
vom November 1984)

im Auftrage des

Instituts für Bautechnik, Berlin

Az.: IV / 1 - 5 - 356 / 82

## VORBEMERKUNG

Das Forschungsvorhaben "Brandschutz in Kernkraftwerken" umfaßt drei Arbeitsschwerpunkte:

1. Zusammenstellung der bauaufsichtlichen Grundlagen für den Brandschutz in KKW in Form eines Positionspapiers
2. Ausarbeitung von technisch/wissenschaftlichen Erläuterungen zum Positionspapier
3. Zusammenstellung eines Katalogs möglicher Brandschutzmaßnahmen in KKW

Der vorliegende Abschlußbericht faßt die bei den einzelnen Arbeitsschwerpunkten erzielten Ergebnisse zusammen. Er ist entsprechend den Arbeitsschwerpunkten in folgende Teile gegliedert:

- A Grundlagen bauaufsichtlicher Brandschutzanforderungen für Kernkraftwerke  
(als Entwurf veröffentlicht im 3. Zwischenbericht, Mai 1983)
- B Technisch-wissenschaftliche Erläuterungen zum Grundlagenpapier  
(als Entwurf veröffentlicht im 1. und 4. Zwischenbericht)
- C Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken nach dem Stand der Technik

Teil A            GRUNDLAGEN BAUAUFSICHTLICHER BRANDSCHUTZAN-  
FORDERUNGEN FÜR KERNKRAFTWERKE

---

VORWORT

Das vorliegende Grundlagenpapier dient dazu, die Positionen der Vertreter der Bauaufsicht in Gremien des KTA zu koordinieren. Es enthält die Voraussetzungen und Grundsätze, nach denen bauaufsichtliche Anforderungen an den Brandschutz kerntechnischer Anlagen einheitlich festgelegt und die vorgesehenen Maßnahmen im Hinblick auf die Erfüllung dieser Anforderungen geprüft werden können. Sie präzisieren vor allem die Anforderungen, die zur Erreichung der allgemeinen Schutzziele in § 3 und § 17 (MBO) zu erfüllen und die gemäß § 51 (MBO) an Gebäude und Gebäudeteile von KKW als bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung zu stellen sind. Außerdem werden für Anlagenbereiche, die gemäß § 7 Atomgesetz einer atomrechtlichen Genehmigung unterliegen und für die sich Einschränkungen gegenüber Forderungen des Baurechts oder der Arbeitsschutzbestimmungen, z.B. aus Gründen des Strahlenschutzes ergeben, Ersatzmaßnahmen aufgezeigt und Kriterien für ihre Beurteilung benannt.

In den folgenden Abschnitten 2 bis 10 werden jeweils vorab die Anforderungen und Maßnahmen aufgrund des Baurechts aufgeführt. Im Anschluß daran werden diejenigen Sonderregelungen behandelt, die für den Brandschutz aufgrund von Forderungen aus dem Atomrecht erforderlich werden.

## 1. ANWENDUNGSBEREICH

Das Grundlagenpapier ist auf ortsfeste Kernkraftwerke mit Druck- oder Siedewasserreaktoren für den normalen Betrieb und die Revisionsphasen anzuwenden.

Es gilt für den Schutz sicherheitstechnisch wichtiger Anlagenteile, der sie umschließenden baulichen Anlagen und des dort tätigen Personals vor gebäudeinternen und gebäudeexternen Bränden.

### Hinweis:

Zu diesen baulichen Anlagen gehören z.B. Reaktorgebäude, Reaktorhilfsanlagegebäude, nukleares Betriebsgebäude (SWR) sowie bauliche Anlagen der Nebenkühlwasserkreisläufe, Notstands- und Notspeisegebäude (DWR), Schaltanlagegebäude, Maschinenhaus (SWR), Notstromerzeugergebäude, Rohr- und Kabelkanäle zwischen den vorgenannten Gebäuden und Gebäude zur Anlagensicherung.

## 2. GRUNDSÄTZLICHE ANFORDERUNGEN

2.1 Die Vorschriften der Bauordnung gelten auch für bauliche Anlagen von Kernkraftwerken, soweit an diese zum Schutz von Personen und Sachen keine besonderen Anforderungen (höhere Anforderungen) zu stellen sind oder Erleichterungen gestattet werden können.

- 2.2 Höhere Anforderungen sind zu stellen, wenn
- ein erhöhtes Brandrisiko vorhanden ist, z.B. größere Brandlasten, erhöhte Zündgefahr, ungünstige Lüftungsbedingungen oder erschwerte Zugänglichkeit oder
  - der Schutz von Einrichtungen des Sicherheitssystems erforderlich ist (vgl. 2.6).
- 2.3 Erleichterungen von einer Vorschrift der Bauordnung können im Einzelfall gestattet werden, wenn
- es der Einhaltung der Vorschrift offensichtlich nicht bedarf, z.B. bei geringem Brandrisiko,
  - oder
  - es aus betrieblichen Gründen erforderlich ist und die Schutzziele durch gleichwertige Ersatzmaßnahmen erreicht werden.
- 2.4 Bei höheren Anforderungen (z.B. erhöhten Brandschutzmaßnahmen oder Ersatzmaßnahmen nach den Abschnitten 2.2 oder 2.3 ) ist gemäß § 51 Abs. 1 Nrn.16 und 18 MBO sowie § 63 MBO der Nachweis zu verlangen, daß alle Schutzziele zuverlässig erreicht werden. Sofern keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen, können die Nachweise experimentell oder rechnerisch durchgeführt werden.
- 2.5 Reichen die bautechnischen Brandschutzmaßnahmen zum Personen- und Sachschutz nur unter der Voraussetzung aus, daß ein vollentwickelter Brand durch rasche Branderkennung und Brandbekämpfung verhindert wird, so ist der zeitliche Ablauf einer Branderkennung und Brandbekämpfung sowie deren Wirksamkeit nachzuweisen.
- 2.6 Sind an bautechnische Brandschutzeinrichtungen aus sicherheitstechnischen Gründen, abgeleitet aus dem Atomgesetz, erhöhte zusätzliche Anforderungen (z.B. Strahlenschutzanforderungen) zu stellen, so ist die Erfüllung ihrer Brandschutzfunktion unter Zugrundelegung verschärfter bzw. besonderer Kriterien (z.B. ausreichende Abschirmung) nachzuweisen.

- 2.7 Müssen bauliche oder betriebliche Brandschutzeinrichtungen ihre Brandschutzfunktion aus sicherheitstechnischen Gründen auch bei zusätzlichen Einwirkungen erfüllen, so ist ein entsprechender Funktionsnachweis zu verlangen. Dies gilt insbesondere für Einwirkungen infolge real zu erwartender kleinerer Erdbeben (Häufigkeit ca.  $10^{-2}/a$ )
- 2.8 Von der Nachweispflicht gemäß 2.4 bis 2.7 kann abgewichen werden, wenn die Wirksamkeit der getroffenen Brandschutzmaßnahmen unter den gegebenen Bedingungen bekannt ist.
3. BRANDVERHÜTUNGSMASSNAHMEN
- 3.1 Es sind grundsätzlich nichtbrennbare Baustoffe der Klasse A - DIN 4102 Teil 1 zu verwenden. Wenn brennbare Baustoffe verwendet werden sollen, ist nachzuweisen, daß geeignete nichtbrennbare Baustoffe nicht zur Verfügung stehen. Brennbare Baustoffe müssen mindestens schwerentflammbar sein: Klasse B1 - DIN 4102 und hinsichtlich der Rauchentwicklung der Klasse A2 - DIN 4102 T. 1 entsprechen; sie müssen bei der Ermittlung der Brandlasten berücksichtigt werden. Dekontanstriche müssen im eingebauten Zustand der Klasse A2 - DIN 4102 zuzurechnen sein.

- 3.2 Es sind weitestgehend nichtbrennbare Betriebsstoffe zu verwenden. Aus betrieblichen Gründen erforderliche brennbare Betriebsstoffe sollen soweit möglich schwer brennbar, nicht korrosiv oder toxisch wirkend und wenig qualmend sein; sie sind in Räumen mit sicherheitstechnischen Einrichtungen nur zulässig, wenn schnell und zuverlässig wirkende Löscheinrichtungen vorhanden sind.
- 3.3 Es sind weitgehend Kabel mit Isolierungen zu verwenden, die einen Brand nicht fortleiten sowie ohne Stützfeuer selbstverlöschen und beim Brand keine korrosiven Gase freisetzen. Leistungskabel müssen mit Ummantelungen aus Siliconkautschuk hergestellt sein. Kabeltrassen sind grundsätzlich durch schnell wirkende - vorzugsweise ortsfeste automatische - Löscheinrichtungen zu schützen. Auf stationäre Löschanlagen darf verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, daß ein Brand nicht fortgeleitet und das Personal nicht gefährdet wird.
- 3.4 Eine Freisetzung brennbarer Betriebsstoffe aus Behältern oder Leitungssystemen ist durch umfassende Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie Kontroll- und Schutzmaßnahmen zu verhindern.
- 3.5 Die Lagerung brennbarer Stoffe ist so vorzunehmen, daß sicherheitstechnische Anlagenteile durch einen Brand dieser Stoffe nicht gefährdet werden können.
- 3.6 Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen und zur Verhinderung einer Brandentstehung und -fortleitung sind vorzusehen und regelmäßig zu prüfen.

3.7 Durch konstruktive Auslegung ist sicherzustellen, daß die Maßnahmen nach 3.3 bis 3.6 auch bei zusätzlich zu berücksichtigenden Einwirkungen gemäß 2.7 wirksam sind. Die konstruktive Auslegung muß - soweit ausreichende Erfahrungen nicht vorliegen - aufgrund einer Berechnung oder auf der Basis von Versuchsergebnissen erfolgen.

#### 4. BRANDMELDE- UND BRANDBEKÄMPFUNGSMABNAHMEN

4.1 Anlagenbereiche, in denen brennbare Baustoffe oder Betriebsstoffe verwendet werden müssen, sind mit hinreichend zuverlässigen automatischen Brandmeldeanlagen auszustatten. Daneben sind alle Anlagenbereiche mit Druckknopfmeldern auszustatten.

4.2 Anlagenbereiche, in denen brennbare Baustoffe oder Betriebsstoffe verwendet werden und die nicht uneingeschränkt zugänglich sind, sind mit ortsfesten, hinreichend zuverlässig wirkenden, automatischen Löschanlagen zu versehen. Sofern in begründeten Fällen eine Auslösung von Hand vor Ort und von der Warte vorgesehen ist, sind die möglichen Brandauswirkungen bis zum Zeitpunkt der wirksamen Brandbekämpfung zu untersuchen.

- 4.3 Hinsichtlich der Ausrüstung mit Einrichtungen und Geräten zur manuellen Brandbekämpfung sowie der Löschwasserversorgung sind die anerkannten Regeln der Technik bzw. der Feuerwehren maßgebend.
- 4.4 Durch entsprechende Auslegung ist sicherzustellen, daß die Brandmeldeanlagen, die Löschanlagen und die Löschwasserversorgung auch bei zusätzlich zu berücksichtigenden Einwirkungen gemäß 2.7 zuverlässig funktionieren. Die Auslegung kann aufgrund einer Berechnung oder auf der Basis von Versuchsergebnissen erfolgen.

## 5. BAUTECHNISCHE BRANDSCHUTZMASSNAHMEN

- 5.1 Bauliche Maßnahmen zur Verhinderung einer Brandausbreitung auf benachbarte Gebäude, auf andere Brandabschnitte oder Redundanzen sowie zur Abschottung brennbarer Stoffe sind gemäß Bauordnung vorzusehen und entsprechend den zu erwartenden Brandauswirkungen ausreichend feuerwiderstandsfähig auszulegen.

Die ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit ist unter Berücksichtigung von räumlichen Gegebenheiten, Lüftungsbedingungen und vorhandenen Einrichtungen zur Brandbekämpfung nachzuweisen. Vereinfachte Berechnungen und vergleichende Betrachtungen sind zulässig, wenn entsprechende Erfahrungen vorliegen.

- 5.2 Auf der Grundlage des § 51 Abs. 1 Nr. 9 MBO ist zu fordern, daß Räume, Raumgruppen, Brandabschnitte und Redundanzen eine Lüftung haben müssen. Sofern eine wirksame Lüftung aus betrieblichen Gründen nicht möglich ist, sind zusätzliche Brandschutzmaßnahmen gemäß Abschnitt 6.4 erforderlich.
- 5.3 Bauteile, deren Standsicherheit oder Gebrauchsfähigkeit im Brandfall aus sicherheitstechnischen Gründen erhalten bleiben muß (z.B. Auflagerkonstruktionen sicherheitstechnischer Einrichtungen), sind analog 5.1 ausreichend feuerwiderstandsfähig auszulegen.
- 5.4 Für Bauteile, an die aus sicherheitstechnischen Gründen gemäß 2.6 erhöhte oder zusätzliche Anforderungen gestellt werden, ist die Brandschutzfunktion unter Beachtung der zusätzlichen Anforderungen durch Versuch oder Berechnung zu überprüfen.
- 5.5 Sofern Bauteile gemäß 5.1 oder 5.3 ihre brandschutztechnische Funktion auch bei zusätzlichen Einwirkungen gemäß 2.7 aufrechterhalten müssen, sind sie dafür auf der Basis von Berechnungen oder Versuchen auszuliegen.
- 5.6 Auf die in 5.1 bis 5.5 grundsätzlich geforderten Nachweise kann verzichtet werden, wenn die Brandschutzfunktion unter den gegebenen Bedingungen erfahrungsgemäß gewährleistet ist (z.B. bei geringer, nicht leichtentzündlicher Brandlast, ca. 7,5 kWh/m<sup>2</sup>).

6. MAßNAHMEN ZUM PERSONENSCHUTZ

- 6.1 In allen Anlagenbereichen sind Rettungswege gemäß den bauaufsichtlichen Vorschriften vorzusehen und zu sichern. Die Rettungswege dienen zugleich auch als Angriffswege für eine manuelle Brandbekämpfung. Notwendige Treppenräume sind entsprechend den bauaufsichtlichen Vorschriften zu lüften.
- 6.2 Bei Überschreitung der nach der Bauordnung bzw. Arbeitsstättenrichtlinie zulässigen Rettungsweglängen, insbesondere im Kontrollbereich, sind zusätzliche Maßnahmen zum Personenschutz erforderlich. Dazu gehören u.a. die Schaffung von mindestens zwei unabhängigen Rettungswegen, die Einrichtung gesicherter Stauräume vor den Schleusen sowie gesicherter Treppenräume mit separater Belüftung und die Bereitstellung von geeigneten Atemschutzgeräten.
- 6.3 Die Rettungswege sind zu kennzeichnen, sie müssen mit einer Allgemeinbeleuchtung und einer Sicherheitsbeleuchtung, mit akustischen und optischen Warneinrichtungen und Fernsprechnebenstellen ausgestattet sein. Sie sind zu belüften und entlüften, wobei die Belüftungsdauer entsprechend den zu erwartenden Brandauswirkungen und der Dauer von Rettungsmaßnahmen festzulegen ist. Die entsprechenden technischen Regeln, insbesondere der Feuerwehren sind zu beachten.
- 6.4 In Anlagenbereichen, in denen aus Strahlenschutz- oder Objektschutzgründen ein konventioneller Rauch- und Wärmeabzug nicht möglich ist, sind zusätzlich Brand-

schutzmaßnahmen vorzusehen, die eine Flucht oder Rettung von Personen und die rasche Lokalisierung und Bekämpfung eines Brandes ermöglichen. Dazu gehören u.a. die Bereitstellung einer ausreichenden Zahl geeigneter Atemschutzgeräte in Verbindung mit einer im Notfall gut sichtbaren Kennzeichnung der Rettungswege, maschinelle Rauchabzüge, mobile Entqualmungsgeräte sowie ggf. Brandmeldeeinrichtungen und Fernsehkameras in Verbindung mit ortsfesten Löschanlagen.

## 7. BETRIEBLICHE MASSNAHMEN

- 7.1 Die Wirksamkeit der Brandschutzmaßnahmen ist durch organisatorische Maßnahmen zu ergänzen. Dazu gehören u.a. die Bestellung eines Beauftragten für den Brandschutz, die Aufstellung und Unterhaltung einer Brandschutzordnung, die Unterweisung des Betriebspersonals in der Benutzung der Brandbekämpfungseinrichtungen und die regelmäßige Abhaltung von Brandschutzübungen.
- 7.2 Die Planung von Brandbekämpfungsmaßnahmen und die Brandschutzübungen sind unter Einbeziehung der öffentlichen Feuerwehr vorzunehmen.

## 8. BRANDSCHUTZ IN REVISIONSPHASEN

- 8.1 Während der Revisionsphasen sind besondere Brandschutzmaßnahmen zu fordern, die der größeren Brandgefahr durch zusätzlich in die Anlage gebrachte Brandlasten und Zündquellen und den höheren Personenschutzanforderungen Rechnung tragen. Die normale Brandverhütungsvorsorge ist entsprechend den vorzunehmenden Arbeiten zu ergänzen und zu verbessern.
- 8.2 Alle Arbeiten, die die Integrität von Brandabschnitten und Löscheinrichtungen berühren, bedürfen einer besonderen Genehmigung.
- 8.3 Für Anlagenbereiche ohne automatische Brandmeldeanlage sind Brandwachen einzuteilen, die in regelmäßigen Kontrollgängen alle Räume überwachen.
- 8.4 Es sind besondere Vorkehrungen zur Kontrolle des Transports und der Lagerung brennbarer Stoffe und möglicher Zündquellen zu treffen. Zusätzlich in die Anlage gebrachte brennbare Stoffe (z.B. Verpackungsmaterialien, Abfälle, Putzwolle) sind zu registrieren; ihre Lagerung, ihr Transport in Anlagenbereichen sowie ihre vollständige Entfernung aus der Anlage nach Abschluß der jeweiligen Arbeiten sind zu überwachen. Holz muß schwer entflammbar (Klasse B1) sein. Die Lagerung von brennbaren Stoffen in der Nähe von Sicherheitseinrichtungen ist verboten. Radioaktive brennbare Stoffe dürfen nur in Bereichen mit automatischen Löschanlagen gelagert werden.

- 8.5 Zusätzlich erforderliche brennbare Gase und Flüssigkeiten sind zu minimieren und gegen physikalische Einwirkungen (Stoß, Anprall, Kippen, Temperatur) zu schützen und zu kontrollieren.
- 8.6 Für "heiße" Arbeiten wie Schweißen, Schneiden und Schleifen ist eine zeitlich befristete Erlaubnis (z.B. 24h) und die Bereitstellung von ausgebildeten Brandwachen erforderlich. Die Lecksuche oder Feststellungen von Luftströmungen mittels offener Flamme sind grundsätzlich nicht gestattet.
- 8.7 Es sind zusätzliche Vorkehrungen zur raschen und wirksamen manuellen Brandbekämpfung in allen zu Revisionszwecken begehbaren Bereichen zu treffen (Brandbekämpfungsplan), insbesondere dort, wo mit erhöhter Brandgefahr, z.B. durch "heiße" Arbeiten oder mit Personenansammlungen zu rechnen ist. Das Betriebs- und Fremdpersonal ist in der Benutzung der Brandbekämpfungseinrichtungen zu unterweisen.
- 8.8 Für Arbeiten in Bereichen mit überlangen Rettungswegen (> 30 m) oder nur einem gesicherten Rettungsweg sind Atemschutzgeräte, die als Notausrüstung gekennzeichnet sind, auszugeben. Für Rettungsarbeiten ist zusätzlich eine ausreichende Anzahl geeigneter Atemschutzgeräte an gut zugänglicher Stelle bereitzustellen. Das Betriebs- und Fremdpersonal ist in der Benutzung der Atemschutzgeräte zu unterweisen.

8.9 Die Personenzahl im Sicherheitsbehälter ist so zu begrenzen, daß eine Flucht und Rettung des gesamten Personals gewährleistet ist (Rettungsplan). Sofern die Schleusen während der Revision nicht geöffnet bleiben, sind die Zeiten für die erforderlichen Schleusenvorgänge in den anzunehmenden Zeitraum für die Rettung (ca. 20 Minuten) mit einzubeziehen.

8.10 Vor Beginn der Revisionsarbeiten sind alle Brandmelde- und Löschanlagen der radioaktiv belasteten Bereiche hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Zusätzliche Abschirmmaterialien sind nichtbrennbar auszuführen.

8.11 Die Freisetzung von radioaktiven Aerosolen oder kontaminiertem Löschwasser infolge eines Brandes in der Revisionsphase ist zu kontrollieren und zu begrenzen.

## 9. KONTROLLEN UND PRÜFUNGEN

9.1 Die vorgesehenen Brandschutzmaßnahmen und -einrichtungen sind vor dem Einbau theoretisch zu prüfen, beim Einbau zu überwachen und vor Inbetriebnahme der Anlage abzunehmen. Nach wesentlichen Instandsetzungsarbeiten und grundsätzlich vor und nach jeder Revision sind vor Wiederinbetriebnahme Sichtprüfungen und Betriebsbereitschaftsprüfungen durchzuführen.

9.2 Die geforderten Brandschutzmaßnahmen sind grundsätzlich in wiederkehrenden Abständen zu prüfen. Die Prüfabstände sind entsprechend den technischen Regeln festzulegen, wobei die für konventionelle bauliche Anlagen geltenden Prüffristen grundsätzlich nicht überschritten werden dürfen. In Ausnahmefällen kann davon abgewichen werden (z.B. bei Verwendung von neuartigen Brandschutzsystemen).

9.3 Es soll mindestens alle 2 Jahre eine unangekündigte Kontrolle der Anlage durchgeführt werden. Dabei sind auch die getroffenen organisatorischen Maßnahmen zu überprüfen.

## 10. ERFORDERLICHE UNTERLAGEN

10.1 Zur Beurteilung des Brandschutzes sind die Bauvorlagen gemäß "Zusammenstellung der zur bauaufsichtlichen Prüfung kerntechnischer Anlagen erforderlichen Unterlagen" (Stand Mai 1982) heranzuziehen.

10.2 Auf der Grundlage der gemäß Abschnitt 4.6 der o.g. "Zusammenstellung" geforderten Unterlagen sind Nachweise über die zu erwartenden Brandauswirkungen vorzulegen. Die getroffenen Brandschutzmaßnahmen sind in den Brandschutzlisten raumweise anzugeben.

Teil B            TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE ERLÄUTERUNGEN  
                  ZUM GRUNDLAGENPAPIER

B1                ERLÄUTERUNG DER ANFORDERUNGEN

---

1.            ZIELSETZUNG

Die vorliegenden "Grundlagen" sollen den Anforderungen von Atomrecht, Baurecht und Arbeitsschutzbestimmungen Rechnung tragen. Zunächst werden deshalb die bestehenden Anforderungen aus dem Atomrecht, Baurecht und Arbeitsschutz auszugsweise dargestellt. Die bei der Durchführung der erforderlichen Maßnahmen auftretenden Probleme werden aufgezeigt. Zur Überwindung dieser Probleme werden u.a. als Ersatz konventioneller Brandschutzmaßnahmen alternative Maßnahmen ergriffen. Diese alternativen Brandschutzmaßnahmen werden in ein Gesamtsystem der Brandschutzmaßnahmen eingeordnet.

Aus dem Nachweis und der Bewertung der Brandgefährdung unter den in Kernkraftwerken gegebenen Randbedingungen ergeben sich besondere oder zusätzliche Anforderungen, z.B. bei der Auslegung von Brandschutzeinrichtungen. Es wird gezeigt, wo gegebenenfalls die konventionellen Brandschutzprüfungen aufgrund nuklearspezifischer Gesichtspunkte erweitert bzw. ergänzt werden müssen. In einer abschließenden Wertung wird kurz auf mögliche Verbesserungen des Brandschutzes in Kernkraftwerken eingegangen.

## 2. ANFORDERUNGEN AN DEN BRANDSCHUTZ IN KERNKRAFTWERKEN

### 2.1 Anforderungen aus dem Atomrecht

Nach dem "Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren" (Atomgesetz) /1/ ist nach dem Stand der Wissenschaft und Technik Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage zu treffen und der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter zu gewährleisten. Die im einzelnen dazu erforderlichen Maßnahmen können durch Rechtsverordnung bestimmt werden.

Die "Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen" (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) /2/ begrenzt in den "Schutzvorschriften" die in der Planung baulicher oder sonstiger technischer Schutzmaßnahmen in oder an einem Kernkraftwerk zugrundezulegenden Körperdosen im ungünstigsten Störfall. Maßgebend für eine ausreichende Vorsorge gegen Störfälle ist der Stand von Wissenschaft und Technik. Die Genehmigungsbehörde kann diese Vorsorge insbesondere dann als getroffen ansehen, wenn der Antragsteller bei der Auslegung der Anlage die Störfälle zugrunde gelegt hat, die den vom Bundesminister des Innern nach Anhörung der zuständigen obersten Landesbehörden im Bundesanzeiger veröffentlichten Sicherheitskriterien und Leitlinien für Kernkraftwerke entsprechen.

Zur Vorbereitung der Brandbekämpfung sind mit der für den Brandschutz zuständigen örtlichen Behörde die erforderlichen Maßnahmen zu planen. Hierbei ist insbesondere festzulegen /3/, bzw. FWDV 9/1, in welchen Bereichen die Feuerwehr im Einsatzfall

- (1) ohne besonderen Schutz vor den Gefahren radioaktiver Stoffe tätig werden kann (Gefahrengruppe I),

- (2) nur unter Verwendung einer Sonderausrüstung tätig werden kann (Gefahrengruppe II) und
- (3) nur mit einer Sonderausrüstung und unter Hinzuziehung eines Sachverständigen, der die während des Einsatzes entstehende Strahlengefährdung und die anzuwendenden Schutzmaßnahmen beurteilen kann, tätig werden kann (Gefahrengruppe III).

Im BMI-Sicherheitskriterium 2.7 "Brand- und Explosionschutz" heißt es /4/: "Es sind die erforderlichen Maßnahmen zur Verhütung von Bränden und Explosionen in der Anlage zu treffen. Die sicherheitstechnisch wichtigen Anlageteile müssen so beschaffen und angeordnet sein, daß die Erfüllung ihrer Aufgaben durch Brände und Explosionen nicht verhindert wird. Geeignete Einrichtungen zur frühzeitigen Erkennung und Bekämpfung von Bränden und Explosionsgefahren müssen vorhanden sein. Sie müssen so beschaffen sein, daß sie nicht ihrerseits bei Störungen und Schäden an ihnen oder bei Fehlbedienung die Funktionsfähigkeit sicherheitstechnisch wichtiger Anlageteile - gegebenenfalls unter Berücksichtigung von deren Redundanzen - beeinträchtigen."

Nach der Interpretation zu diesem Sicherheitskriterium /5/ wird die erforderliche Sicherheit dadurch erreicht, daß bei der Planung der Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen die Forderungen der Strahlenschutzverordnung und des Baurechts eingehalten werden. Dazu sind Analysen durchzuführen, in denen auch die Folgen möglicher Brände und der Brandbekämpfung berücksichtigt werden. An allen potentiellen Brandstellen, an denen die für eine wirksame Brandbekämpfung erforderliche Zugänglichkeit nicht gegeben ist (z.B. aufgrund von Brandfolgen oder der Höhe der zu erwartenden Strahlenbelastung), sind ortsfeste - fernbediente oder automatische - Löscheinrichtungen vorzusehen, damit das Betriebspersonal

und die Feuerwehr dort nicht zur Brandbekämpfung eingesetzt werden müssen. Die Branderkennungs- und -meldesysteme und die Löscheinrichtungen im Sicherheitsbehälter müssen so zuverlässig und wirkungsvoll sein, daß Brände auch ohne Entqualmung des Sicherheitsbehälters sicher und schnell lokalisiert und wirksam bekämpft werden können.

Die RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren /6/ enthalten unter Nr. 11 "Brandschutz" ebenfalls detaillierte Anforderungen an Brandverhütung, Branderkennung und -meldung, Rauch- und Wärmeabfuhr sowie Brandbekämpfung zur Erfüllung des Sicherheitskriteriums 2.7:

(1) Die Verwendung brennbarer Stoffe als Konstruktions-elemente oder als Betriebsstoffe ist möglichst zu vermeiden. In Bereichen, in denen die Verwendung solcher Stoffe unvermeidbar ist, sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die der Entstehung von Bränden vorbeugen und deren Ausbreitung begrenzen. Baustoffe müssen aber mindestens der Baustoffklasse B 1 (schwer entflammbar) nach DIN 4102 entsprechen. Soweit in Räumen mit sicherheitstechnischen Einrichtungen brennbare Stoffe verwendet werden, sind für diese schnell wirksame Löscheinrichtungen vorzusehen.

(2) Die einzelnen redundanten Systeme des Sicherheitssystems sind zueinander so anzuordnen, daß im Brandfall ein durch Brandhitze oder Rauchgase bedingter Ausfall der anderen redundanten Systeme ausgeschlossen werden kann. Wenn eine ausreichende räumliche Trennung nicht durchführbar ist, so sind die einzelnen redundanten Systeme mindestens mit einer Feuerwiderstandsklasse F 90 abzuschotten.

(3) Leitungen und Kabel zur Signalübertragung und Stromversorgung von Meß- und Steuereinrichtungen sind grundsätzlich getrennt von warmgehenden Rohrleitungen oder solchen, die brennbare Medien führen, zu verlegen. Bei unvermeidbaren Kreuzungen sind besondere Maßnahmen zu treffen. Leitungskabel müssen hinreichend getrennt von Signal- und Steuerkabeln verlegt werden. Die Isolation sicherheitstechnisch wichtiger Kabel muß mindestens aus schwerentflammbar Material hergestellt sein.

(4) Anlagenbezirke mit Sicherheitseinrichtungen und Kontrollbereiche sind mit einer geeigneten Instrumentierung zur Früherkennung von Bränden auszustatten. Die Einrichtungen zur Früherkennung von Bränden sind hinreichend zuverlässig (z.B. redundant) auszuführen.

(5) Die Abfuhr von Brandhitze und von Brandgasen darf weder die Funktion von Rettungswegen noch von Redundanzbereichen gefährden. Werden die raumlufttechnischen Anlagen zur Entrauchung verwendet, sind diese entsprechend den zu erwartenden thermischen Belastungen auszulegen. Gegebenenfalls sind besondere Rauch- und Wärmeabzugsanlagen vorzusehen.

(6) Bei der Auswahl und Installation der aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen sind die im Kontrollbereich vorhandenen Beschränkungen zu beachten.

(7) Die Brandschutzeinrichtungen sind regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen im Hinblick auf ihre Funktionsfähigkeit zu unterziehen. Die Prüffristen sind entsprechend dem Gefährdungspotential der Anlagen und der Anfälligkeit der Brandschutzeinrichtungen vom Gutachter festzulegen. Ein Alarmplan für Maßnahmen im Brandfall ist zu erstellen.

## 2.2 Anforderungen des Baurechts

Kernkraftwerke gehören zur Gruppe der baulichen Anlagen besonderer Art oder Nutzung, so daß ihre baurechtliche Behandlung und Beurteilung materiell nach § 51 (§ 72 alt) und formell nach § 63 (§ 88 alt) der MBO erfolgt /7/. Danach können zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen gemäß § 3, Abs. 1, im Einzelfall besondere Anforderungen gestellt werden. Diese besonderen Anforderungen beziehen sich nicht nur auf die Bauart und die erforderliche Brandschutzsicherheit der Bauteile, sondern es wird in § 51 ausdrücklich auf Brandschutzeinrichtungen und -vorkehrungen hingewiesen; die Anordnung von Treppen- und Rettungswegen ist ebenso hervorgehoben, wie das Problem der Lüftung. Die besonderen Anforderungen bedürfen gemäß Pkt. 16 in § 51 der Vorlage von Bescheinigungen über die im einzelnen durchgeführten Nachweise. Weiterhin ist unter Pkt. 18 in § 51 eine allgemeine, nutzungsabhängige Nachweispflicht für bauliche Anlagen oder Räume vorgeschrieben.

Aufgrund ihrer Sonderstellung sind Kernkraftwerke brandschutztechnisch schwierig zu beurteilen. Prinzipiell muß jedoch immer davon ausgegangen werden, daß zunächst gemäß § 3, Abs. 1 der MBO die

- allgemeinen Anforderungen  
zu erfüllen sind und darüber hinaus gemäß § 51 (§ 72 alt)
  
- besondere Anforderungen  
gestellt werden müssen, über deren Erfüllung gemäß  
§ 63 (§ 88 alt)
  
- prüffähige Nachweise  
vorzulegen sind.

Brandschutztechnische Erfahrungen, die z.B. im Wohnungsbau gewonnen wurden (DIN 4102), dürfen dabei genutzt werden, soweit die speziellen Randbedingungen dieses zulassen. Erfahrungen aus dem Industriebau (DIN 18 230) sind ebenfalls begrenzt anwendbar, vor allem in Bereichen außerhalb des Kontrollbereichs, wobei eine mögliche Wechselwirkung zwischen diesen Bereichen und dem Sicherheitsbereich mit in Betracht zu ziehen ist.

Im Hinblick auf § 17 (§ 19 alt) der MBO in Verbindung mit § 3, Abs. 1 gelten die folgenden Punkte

- Vorbeugung gegen Entstehungsbrände,
- Rettung von Menschen und Tieren,
- Durchführbarkeit wirksamer Löscharbeiten,
- Sicherstellung eines bestimmten Sachschutzes,

als allgemeine Brandschutzanforderung. Sie müssen im Einzelfall konkretisiert werden, so daß die erforderlichen Nachweise erbracht werden können.

Die Ausbildung von Rettungswegen ist im Arbeitspapier "Rettungswege" der ARGEBAU /8/ behandelt. Die darin aufgestellten Grundsätze, daß

- für jeden Raum, in dem sich Menschen aufhalten können, zwei unabhängige, möglichst entgegengesetzt führende Rettungswege vorhanden sein müssen,
- Rettungswege zur Rettung von Menschen jederzeit begehbar sein müssen,
- Rettungswege dem Angriff der Feuerwehr dienen,
- Rettungswege mit Öffnungen zu versehen sind, die der Art und Nutzung des Gebäudes entsprechen,

können uneingeschränkt auf die vorliegende Fragestellung übertragen werden.

Vergleicht man die allgemeinen (§ 3 MBO) und speziellen (§ 51 bzw. § 63 MBO) Anforderungen aus dem Baurecht, im Hinblick auf den Brandschutz in KKW, mit den Anforderungen, die sich aus dem Atomrecht (BMI-Sicherheitskriterium 2.7, RSK-Leitlinie) ergeben, so stellt man fest, daß prinzipielle Unterschiede nicht bestehen. Die strikte Erfüllung der Anforderungen aus dem Baurecht führt demnach zwangsläufig auch zur Erfüllung der BMI-Sicherheitskriterien bzw. RSK-Leitlinien.

### 2.3 Anforderungen des Arbeitsschutzes

Die Arbeitsstättenverordnung vom 20. März 1975 /9/ des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung stützt sich auf die Arbeitsschutzbestimmungen der Gewerbeordnung. Sie enthält Anforderungen an Arbeitsstätten in Industrie, Handwerk und Handel. Ergänzend sind in den Arbeitsstätten-Richtlinien /10/ detailliertere Regeln und Erfahrungen aus der Praxis zu den einzelnen §§ der Verordnung veröffentlicht.

Von besonderem Interesse für den Brandschutz in Kernkraftwerken sind der § 10 "Türen, Tore", § 13 "Schutz gegen Entstehungsbrände", § 19 "Zusätzliche Anforderungen an Rettungswege". Als Beispiel sind nachfolgend die Anforderungen der Arbeitsstätten-Richtlinien an die Lage, Anzahl, Ausführung und Abmessungen von Türen und Toren (§ 10 Abs. 1 der Verordnung) auszugsweise wiedergegeben:

"In begehbaren Räumen müssen die Türen und Tore so angeordnet sein, daß von jeder Stelle des Raumes eine bestimmte Entfernung zum nächstgelegenen Ausgang nicht überschritten

wird. Die in der Luftlinie gemessene Entfernung soll je nach Raumart höchstens 10 bis 35 m betragen. Die Ausgänge müssen unmittelbar ins Freie oder in Flure oder Treppenräume führen, die Rettungswege im Sinne des Bauordnungsrechts der Länder sind. Die Abmessungen der Türen und Tore richten sich nach der Zahl der Personen im Einzugsbereich des Ausgangs und der Nutzung des Raumes."

Zum Schutz gegen Entstehungsbrände (§ 13 der Verordnung) wird gefordert, daß je nach Brandgefährlichkeit die erforderlichen Feuerlöscheinrichtungen vorhanden sind. Nicht selbsttätige Feuerlöscheinrichtungen müssen leicht zugänglich und zu handhaben sein; selbsttätige Feuerlöscheinrichtungen, bei deren Einsatz Gefahren auftreten können, sind mit Warneinrichtungen auszurüsten.

Auch die Anforderungen aus der Arbeitsstättenverordnung lassen sich in das allgemeine Anforderungssystem aus anderen Rechtsbereichen einordnen.

### 3. RANDBEDINGUNGEN FÜR DEN BRANDSCHUTZ IN KERNKRAFTWERKEN

#### 3.1 Nuklearspezifische Randbedingungen

In Kernkraftwerken gibt es besondere brandschutztechnische Probleme, die aus dem nuklearen Betrieb herrühren. Daraus ergeben sich zwangsläufig besondere Anforderungen an den Brandschutz. Spezielle nukleare Gesichtspunkte, die den Brandschutz beeinflussen, betreffen

- die Sicherstellung des Strahlenschutzes (Rückhaltung radioaktiver Gase bzw. Brandgase und des Löschwassers),

- die Sicherstellung der Personenrettung (auch während der Revisionsphasen),
- die Sicherstellung bzw. Durchführung wirksamer Löscharbeiten im Kontrollbereich (Zugänglichkeit, Verqualmung z.B.),
- die brandschutztechnische Prüfung von Bauteilen, die gleichzeitig andere wichtige Schutzfunktionen erfüllen (Strahlenschutz z.B.).

Aus Gründen des Strahlenschutzes ist eine Rückhaltung der Brandgase solange erforderlich, bis ihr Strahlungspotential unschädlich und zulässig im Rahmen der Bestimmungen ist. Die Durchführung wirksamer Löscharbeiten ist zumindest bereichsweise stark eingeschränkt, so daß ortsfeste - vorzugsweise automatische - Löschanlagen erforderlich sind. Letzteres gilt vor allem für Bereiche mit größeren Brandlasten, die während des Betriebes nicht betreten werden dürfen.

### 3.2 Abweichungen vom konventionellen baulichen Brandschutz im KKW

Aus der Gebäudenutzung ergeben sich bei Kernkraftwerken, teilweise abweichend vom konventionellen baulichen Brandschutz, Besonderheiten, die besondere Nachweise oder Prüfungen erfordern. Dieses betrifft vor allem

- die Größe und Übersichtlichkeit der Brandabschnitte,
- die fehlende oder stark eingeschränkte Entqualmung,
- die Art und Länge der Angriffs- und Rettungswege,
- die Zugänglichkeit im Kontrollbereich,
- den Einbau von Bauteilen mit komplexen Anforderungen (z.B. simultane Brand- und Strahlenschutzanforderungen bei Rohrdurchführungen),

- die Ausbildung von Gebäude- und Wandfugen (Berücksichtigung äußerer Einwirkungen wie Flugzeugabsturz),
- den Ersatz von baulichen durch betriebliche Brandschutzmaßnahmen.

Soweit Abweichungen der oben genannten Art nachweislich aus betrieblichen Gründen notwendig sind, müssen die daraus resultierenden Anforderungen gemäß § 51 MBO zu besonderen, i.d.R. erhöhten brandschutztechnischen Maßnahmen führen. Dabei wird es im allgemeinen nicht möglich und sinnvoll sein, die konventionellen Anforderungen schlechthin zu verschärfen (z.B. F180 anstelle von F90). Oft sind zusätzliche Maßnahmen zur Brandverhütung, Branderkennung, Brandbekämpfung oder zur Rettung von Menschen wirksamer. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen kann noch durch besondere organisatorische Maßnahmen erhöht werden. Grundsätzlich sollte aber baulicher Brandschutz aufgrund dieser zusätzlichen Maßnahmen nicht abgebaut werden.

### 3.3 Voraussetzungen für den Personenschutz

Die in den Abschnitten 3.1 und 3.2 aufgeführten Besonderheiten erschweren es auch, den erforderlichen Personenschutz und die notwendige Rettung von Menschen sicherzustellen, insbesondere

- den Schutz vor Gefahrenwirkung,
- die Flucht des Betriebspersonals und der Arbeiter von Fremdfirmen,
- den Transport Verletzter aus dem Gefahrenbereich,
- den Schutz der Feuerwehrmänner.

Besonders ungünstig sind hierbei die Größe der Bauwerksabschnitte ohne ausreichende brandschutztechnische Trennungen (Brandwände), die fehlende bzw. eingeschränkte Ent-

qualmung und die Länge der Flucht- und Rettungswege. Im Kontrollbereich sind Rettungswege von über 50 m Länge vorhanden, die teilweise über verschiedene Bauebenen führen. Die Rettungswege sind im allgemeinen gleichzeitig Angriffswege für die Feuerwehr, weil der Strahlenschutz und der Schutz vor Einwirkungen Dritter nur eine begrenzte Anzahl von Öffnungen in den einzelnen Gebäuden erlauben.

Eine entsprechende organisatorische Vorbereitung von Rettungsaktionen ist somit unabdingbar Voraussetzung für die Inbetriebnahme von bestimmten Anlagenbereichen. Dazu gehören die taktische Planung und die Bereitstellung des notwendigen Geräts, welches aufgrund der im Ernstfall zu erwartenden Rettungssituation voraussichtlich erforderlich wird.

#### 3.4 Betriebliche Maßnahmen

In Kernkraftwerken spielen neben den baulichen Maßnahmen betriebliche Brandschutzmaßnahmen eine bedeutsame Rolle. Über die Wirksamkeit von solchen Brandschutzmaßnahmen liegen Erfahrungen aus dem konventionellen Bereich vor. Es sind z.B. Statistiken verfügbar, die Aussagen über die Zuverlässigkeit von Brandmeldern und Löschanlagen erlauben. Die vorliegenden Daten umfassen aber nicht die verschiedenen Schritte von der Brandentstehung bis zu vollständigen Löschung. Es gehen daraus auch nicht die Einflüsse der in Kernkraftwerken herrschenden besonderen Bedingungen (s. Abschnitt 3.1) hervor.

Über die Wirksamkeit organisatorischer Maßnahmen, die betriebliche Maßnahmen ergänzen bzw. verbessern sollen, ist ebenfalls wenig bekannt. Anhand von Untersuchungen über die größere Fehlerhäufigkeit bei menschlichen Handlungen werden im Ausland zur Branderkennung und -bekämpfung durchweg

automatische Einrichtungen eingesetzt. In der Bundesrepublik ist das Vertrauen in automatisch ablaufende Brandbekämpfungsmaßnahmen - besonders wegen der Gefahr von Fehlauflösungen - gering, so daß derzeit manuell betätigte Einrichtungen bevorzugt werden. Der Einsatz betrieblicher Maßnahmen ist erst dann als vollwertige Alternative anstelle nicht möglicher baulicher Maßnahmen anzuerkennen, wenn die Wirksamkeit dieser Maßnahmen, z.B. auch ihr zeitlicher Ablauf, nachgewiesen ist. Die derzeit geübte Praxis, in schwer zugänglichen Bereichen mit hohen Brandlastpotentialen manuell betätigte Löschanlagen zu installieren, ermöglicht es somit nicht, in baulichen Dingen Dispens zu geben; diese Anlagen erfüllen lediglich die gesetzlichen Mindestanforderungen aufgrund der gesetzlichen Ermächtigung, nach denen wirksame Löschanlagen zwingend vorgeschrieben werden. Ebenso ist die Vorhaltung einer unabhängig von der Anzahl der Blöcke auszurüstenden Werkfeuerwehr Voraussetzung zum Betrieb der Anlage und keine Begründung zur Minderung des baulichen Brandschutzes.

#### 4. BRANDSCHUTZKONZEPT MIT ALTERNATIVEN MASSNAHMEN

##### 4.1 Auslegungskonzept

Der Brandschutz bei Kernkraftwerken ist so auszulegen, daß eine Beeinträchtigung der Reaktorsicherheit durch anlageninterne Brände auszuschließen ist, daß die in der Anlage beschäftigten Personen geschützt werden und daß die zur Rettung und Brandbekämpfung eingesetzten Werkfeuerwehr und öffentlichen Feuerwehren nicht unzulässig gefährdet sind. Weiterhin ist zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung u.U. ein bestimmtes Maß an Sachschutz erforderlich, d.h. es kann darüber hinaus eine Auslegung auf weitestgehende Verfügbarkeit der Anlage geboten sein.

Der Brandschutz umfaßt folgende Einzelmaßnahmen:

- Brandverhütung,
- Branderkennung,
- Brandbekämpfung,
- bautechnischer Brandschutz,
- Personenschutz
- betrieblicher Brandschutz.

Die Einzelmaßnahmen sind nur in gewissen Grenzen austauschbar. Die Wirksamkeit der gewählten Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombination muß nachgewiesen werden; dieser Nachweis muß prüffähig sein.

Grundlage der Auslegung sind Brände in allen Brandabschnitten, in denen sich im Betrieb oder bei Revision Brandlasten befinden oder befinden können. Schutzziele sind dann z.B.

- die Gefährdung von Betriebspersonal oder Löschkraften durch die Brandauswirkungen zu verhindern,
- die Freihaltung und Passierbarkeit von Rettungswegen sicherzustellen,
- eine Brandausbreitung auf einen benachbarten Brandabschnitt zu verhindern,
- bei redundanten Sicherheitssystemen die gleichzeitige Gefährdung mehrerer Redundanzen auszuschließen (vergl. /5, 11, 13/),
- den sicheren Einschluß radioaktiven Inventars zu gewährleisten,
- eine unzulässige Beeinträchtigung der sicherheitstechnisch wichtigen Systeme des betrachteten Brandabschnittes auszuschließen.

#### 4.2 Brandverhütung

Die vorhandenen Brandlasten und Zündquellen sind raumweise zu erfassen und in Brandschutzlisten festzuhalten. Grundsätzlich ist eine Minimierung der brennbaren Bau- und Betriebsstoffe zu fordern. Allgemein werden Bauteile aus nichtbrennbaren Werkstoffen (Baustoffklasse A) verlangt. Betriebsstoffe sollen weitgehend nichtbrennbar, zumindest jedoch schwerbrennbar und wenig qualmend sein. Brennbare Betriebsstoffe sind möglichst außerhalb von Bereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Systemen zu lagern. Behälter und Leitungssysteme müssen einer umfassenden Qualitätssicherung unterliegen; zusätzliche Vorkehrungen dienen der Erkennung und Ableitung von Leckagen sowie der Abschirmung benachbarter heißer Teile. Außerdem werden bei Brandlastkonzentrationen (Ölbehälter, Kabel, ölgekühlte Transformatoren) zusätzliche bauliche Abschottungen gefordert.

Die Maßnahmen zur Verhinderung einer Brandentstehung umfassen im wesentlichen Schutzvorkehrungen zur Vermeidung elektrischer Zündquellen und Reibungswärme, Abschirmung heißer Teile, Überwachung der Wicklungstemperaturen von Elektromotoren oder der Lagertemperaturen. Besondere administrative Maßnahmen müssen für Schweiß- und Schneidarbeiten, z.B. in der Revisionsphase, ergriffen werden; hierzu zählt u.a. eine zeitlich begrenzte schriftliche Arbeitserlaubnis und die Begleitung durch einen brandschutz erfahrenen Mitarbeiter. Die Bildung zündfähiger Gasgemische ist, soweit erforderlich, durch getrennte Belüftungssysteme und Konzentrationsüberwachungen zu verhindern. Anlagenspezifische Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen sind detailliert in dem Regelentwurfsvorschlag KTA 2101.3 /14/ enthalten (siehe Teil C, 2.2).

#### 4.3 Branderkennung

Die Branderkennung vor Ort ist durch geeignete Warn- und Meldeanlagen sicherzustellen. Weiterhin sind durch ein automatisches zentrales Branderkennungs- und Alarmsystem alle Bereiche mit (nennenswerten) Brandlasten ständig zu überwachen, um Brände bereits in der Entstehungsphase in der Warte zu erkennen und von dort Brandbekämpfungsmaßnahmen einleiten zu können. Regelungen über die zu überwachenden Bereiche, einzeln zu überwachende Objekte, Anforderungen an die Meldezentrale, Anzeigen vor Ort und Steuerung weiterer Funktionen sind in dem Regelentwurfsvorschlag KTA 2101.3 zu finden. Über die Art und Anordnung der geeigneten Melder und über Vorkehrungen, die eine rasche Meldung sicherstellen, ist im Einzelfall zu entscheiden. Insbesondere muß die Überprüfbarkeit der Melder und Meldeanlagen gewährleistet sein, ebenso sind Vorkehrungen gegen Fehlauflösungen zu treffen.

#### 4.4 Brandbekämpfung

Zur wirksamen Brandbekämpfung sind vorzusehen:

- stationäre Löschanlagen,
- Einrichtungen zur manuellen Brandbekämpfung,
- Betriebs- bzw. Werkfeuerwehr, öffentliche Feuerwehr,
- Löschwasserversorgung,
- Entqualmung und Wärmeabzug,
- Zufahrts- und Angriffswege.

Stationäre, vorwiegend automatische Löschanlagen sind in allen Bereichen mit größerer Brandlast oder schwieriger Brandbekämpfung vorzusehen. Gegebenenfalls sind besondere Maßnahmen gegen mögliche Folgeschäden einer Brandbekämpfung

oder Fehlauflösung (z.B. Ableitung des Löschwassers, Schutz von Sicherheitssystemen) erforderlich. Als weitgehend verwendbar werden Wasser-Löschanlagen angesehen. Gas-Löschanlagen werden vornehmlich für Räume mit empfindlichen elektrischen und elektronischen Anlagen empfohlen; dabei sind Vorkehrungen zum Schutz des Personals wichtig. Löschanlagen können auch in größerem Umfang zum Zwecke der Schadensminderung gefordert werden, sofern die öffentliche Ordnung einen bestimmten Sachschutz erforderlich macht.

Hinsichtlich der Ausrüstung mit Geräten zur manuellen Brandbekämpfung sowie zur Löschwasserversorgung sind in /14/ entsprechende Regelungen und Hinweise zu finden. Es ist eine werkseigene Feuerwehr vorzusehen, deren Stärke und Aufgabebereich sich vorzugsweise an den betrieblich vorgegebenen Randbedingungen orientieren muß. Die Planung und Durchführung der Brandbekämpfung muß durch einen Brandschutzbevollmächtigten des Betreibers in Abstimmung mit dem Leiter der öffentlichen Feuerwehr erfolgen. Die Angriffswege für die Brandbekämpfung sowie die Entqualmung außerhalb des Kontrollbereichs sind im allgemeinen entsprechend konventionellen Anforderungen vorzusehen. Anstelle der aus Strahlenschutzgründen nicht möglichen Entqualmung des Kontrollbereichs sind Alternativmaßnahmen erforderlich, deren Wirksamkeit nachzuweisen ist.

Sofern die Aktivitätsfreisetzung zuverlässig überwacht werden kann und zulässige Grenzen nicht überschreitet, kann ggf. auch eine begrenzte Entqualmung aus dem Kontrollbereich zugelassen werden. Dieses betrifft vor allem das Maschinenhaus bei Siedewasserreaktionen. International liegen entsprechende Grundsatzbeschlüsse vor /18/.

#### 4.5 Bautechnischer Brandschutz

Die Begrenzung der Brandwirkungen ist durch folgende Einzelmaßnahmen zu erreichen:

- Trennung der Gebäude durch Brandwände und/oder ausreichenden Abstand,
- Bildung von Brandabschnitten in Gebäuden durch hinreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile mit entsprechend geschlossenen Öffnungen und Durchführungen,
- Abschottung von größeren Brandlasten durch hinreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile mit entsprechend geschlossenen Öffnungen und Durchführungen,
- Trennung redundanter Systeme durch hinreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile,
- Verschluß von Lüftungsleitungen beim Durchgang durch Brandabschnittsbegrenzungen oder hinreichend feuerwiderstandsfähige Ausführung der Leitungen.

Die Anforderungen an die zur Brandeindämmung verwendeten tragenden und nichttragenden Bauteile, sowie Abschottungen, Durchführungen und Leitungen etc. sind entsprechend den zu erwartenden Brandauswirkungen festzulegen. Hierbei sind sowohl die brandschutztechnischen Randbedingungen (Art und Menge der brennbaren Stoffe, Raumgeometrie, Ventilationsbedingungen, Art der Umfassungsbauteile des Brandraumes) als auch die sicherheitstechnischen Randbedingungen (die zu schützende Sicherheitseinrichtung, nukleares Inventar) zu beachten. Für alle Räume, bei denen die Größe der Brandlast, die ungünstigen räumlichen Verhältnisse oder besonders empfindliche Einrichtungen ein Abweichen von den konventionellen Anforderungen an den baulichen Brandschutz nahelegen oder bei denen sich konventionelle bauliche Brandschutzmaßnahmen nicht realisieren lassen, sind Einzelnachweise durchzuführen. Dabei darf die Wirkung vorhandener Branderkennungs- und Brandbekämpfungseinrichtungen berücksichtigt werden.

#### 4.6 Personenschutz

Durch bauliche und technische Maßnahmen ist sicherzustellen, daß /15/

- geeignete Rettungswege vorhanden sind, die eine Rettung von Personen aus dem Gefahrenbereich erlauben,
- gesicherte Zugänge zu allen Räumen der Kraftwerksanlage vorhanden sind, die eine wirksame Brandbekämpfung ermöglichen,
- geeignete Fluchtwege den in der Anlage tätigen Personen ermöglichen, schnell und sicher ins Freie zu gelangen.

Die Wege für Angriff, Flucht und Rettung sind identisch. Einer Brandentstehung oder -weiterleitung entlang diesen Wegen, vor allem entlang einem der gesicherten Rettungswege, ist durch brandverhütende Maßnahmen (nichtbrennbare Baustoffe) vorzubeugen. Die Wege sind durch bauliche Maßnahmen, d.h. durch ausreichend feuerwiderstandsfähige Wände, Decken und Abschottungen, vor Brandeinwirkung von außen zu schützen. Grundsätzlich müssen Aufenthaltsräume mindestens einen Ausgang in einen Flur, einen gesicherten Flur, einen notwendigen Treppenraum oder direkt ins Freie haben; bei größeren Räumen ist zusätzlich ein zweiter Ausgang erforderlich. Der Weg von jeder Stelle eines Aufenthaltsraumes in einen gesicherten Bereich oder ins Freie darf höchstens 35 m, bei anderen begehbaren Räumen höchstens 50 m betragen. Die Abmessungen der Angriffs-, Flucht- und Rettungswege müssen ein Begehen mit Einheitskrankentragen erlauben. Einbauten in Rettungswegen sind nur zulässig, wenn sie für den Betrieb oder die Brandbekämpfung nachweislich erforderlich sind und das Mindestlichtraumprofil nicht einschränken.

Zur Rauchfreihaltung sind die Wege grundsätzlich mit Rauch- und Wärmeabzugsanlagen auszustatten. Wo dies aus betrieblichen Gründen nicht möglich ist, muß in den gesicherten Bereichen die Be- und Entlüftung im Brandfall wirksam bleiben.

Zusätzlich sind umluftunabhängige Atemschutzgeräte für Angriff und Rettung bzw. umluftabhängige für die Flucht bereitzuhalten. Die Angriffs-, Flucht und Rettungswege sind durch Hinweistafeln, Wand- und Bodenmarkierungen deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen. Sie sind mit einer Allgemein- und Sicherheitsbeleuchtung sowie zusätzlichen tragbaren Lampen auszustatten. Zur Kommunikation im Gefahrenfall sind entlang den Wegen Fernsprechnebenstellen in höchstens 30 m Abstand einzurichten. Die Wege sind regelmäßig auf Freihaltung, Begehbarkeit und Funktion selbstschließender Türen zu kontrollieren. Das Personal ist bei regelmäßigen Flucht-, Alarm- und Rettungsübungen in der Benutzung der Flucht- und Rettungswege sowie der erforderlichen Ausrüstung zu unterweisen.

#### 4.7 Organisatorische Maßnahmen

Die organisatorischen Maßnahmen bestehen u.a. aus:

- Benennung eines Brandschutzbeauftragten für die Planung und Koordinierung aller Brandschutzmaßnahmen,
- Qualitätssicherung bei der Planung, Verwirklichung und dem Betrieb der Brandschutzmaßnahmen,
- Erfassung aller Brandlasten und ständige Überwachung oder regelmäßige Kontrolle während Bau, Betrieb und Revision,
- Kontrolle aller Arbeiten, durch die Brandlasten und Zündquellen entstehen, einschließlich Vorkehrungen zur raschen Brandbekämpfung,
- Brandschutzausbildung und regelmäßige Übungen des Betriebspersonals und der Werkfeuerwehr, Übungen mit der öffentlichen Feuerwehr,
- Tests vor Betriebsbeginn und Wiederholungsprüfungen der Melde- und Löscheinrichtungen sowie der Schutzausrüstungen,
- Erstellen genauer Einsatzpläne für die Branderkennung, Brandbekämpfung und Rettung.

Die Maßnahmen zur Brandverhütung sowie das Verhalten im Brandfall sind in einer Brandschutzverordnung zu regeln. Hierbei sind die Regeln für die Erstellung einer Brandschutzverordnung, Teil A, B und C in DIN 14096, Teil 1 bis 3 /16/ zu beachten.

## 5. ANFORDERUNGEN AN DEN PERSONENSCHUTZ

Für den Großteil der bei Kernkraftwerken vorhandenen Gebäude, können die in den Bauordnungen und der Arbeitsstättenverordnung vorgeschriebenen vorbeugenden Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Leben und Gesundheit von Personen ohne Einschränkung zur Anwendung kommen. Im Prinzip heißt es, daß Räume, in denen sich Menschen dauernd oder vorübergehend aufhalten können und die nicht zu ebener Erde liegen, direkt oder über gesicherte Flure mit zwei notwendigen Treppen zu verbinden sind, die ins Freie oder in andere gesicherte Bereiche führen. Von jeder Stelle in dem Raum muß der gesicherte Flur, bzw. notwendige Treppenraum oder das Freie in höchstens 35 m Laufweglänge erreichbar sein. Die an notwendige Treppenräume zu stellenden Anforderungen sind in § 30 (§ 43 alt) der MBO geregelt. Von anderen begehbaren Räumen (z.B. Rohr- und Kabelkanäle) muß ein gesicherter Flur, notwendiger Treppenraum oder das Freie in höchstens 50 m Laufweglänge erreichbar sein. Überlange Flure sind mindestens alle 30 m durch selbstschließende Türen zu unterteilen (§ 33 bzw. § 43 alt MBO). Darüber hinaus sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, z.B.

- beleuchtete Fluchtwegkennzeichnungen,
- Blink- und Warnanlagen,
- Notmelder und Warnlampen,
- Fernsprechnebenstellen in den Flucht- und Rettungswegen,
- organisatorische Maßnahmen.

Im Bereich des Reaktorgebäudes, insbesondere im Containment, sind bislang die konventionellen Anforderungen an den Personenschutz nicht durchführbar gewesen. Kennzeichnend für dieses Gebäude sind

- lange Flucht- und Rettungswege > 50 m,
- innenliegende, nicht ins Freie entlüftete Treppenträume,
- erschwerte Zugänglichkeit (Schleusen),
- unübersichtliche Brandabschnitte.

Aufgrund dieser Situation sind gegenüber den konventionellen Anforderungen zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Optimale Lösungen liegen jedoch noch nicht vor. Folgende zusätzliche Maßnahmen werden u.a. bei neuen Anlagenkonzepten realisiert:

- Schaffung von drei voneinander unabhängigen Rettungswegen,
- Errichtung von gesicherten Stauräumen vor den Schleusen,
- Vergrößerung des Durchmessers der Notschleuse,
- Bereitstellung von Selbstrettern,
- Zwangsumwälzung der Luft in den innenliegenden Treppenträumen.

Nachweise über die Zweckmäßigkeit und Wirksamkeit solcher Maßnahmen sind schwierig.

## 6. DURCHFÜHRUNG VON BRANDSCHUTZTECHNISCHEN NACHWEISEN

Auf die Durchführung von brandschutztechnischen Nachweisen wird hier nur grundsätzlich eingegangen. Ein angemessenes Nachweisverfahren muß im Einzelfall festgelegt werden. Möglichkeiten für vereinfachte Nachweise werden in Teil B2 aufgezeigt.

Für diejenigen Räume des Kernkraftwerkes, bei denen aufgrund der brandschutz- und sicherheitstechnischen Randbedingungen

gemäß Abschnitt 3 eine Gefährdung durch einen Brand zu erwarten ist, sind die Auswirkungen (Temperaturerhöhung, Druckanstieg, Rauchgasausbreitung) eines möglichen Brandes als auslösendes Ereignis oder als Folgeereignis eines anderen Störfalles - zumindest näherungsweise zu ermitteln. Es muß geprüft werden, ob und in welchem Umfang diese Brandauswirkungen sicherheitstechnisch wichtige Systeme beeinflussen. Außerdem ist zu untersuchen, ob durch die Brandauswirkungen ein innerer Störfall ausgelöst werden kann, der dann mit Hilfe der gleichzeitig beeinträchtigten Sicherheitssysteme beherrscht werden muß /17/.

Wird ein anlageninterner Störfall oder eine Einwirkung von außen als auslösendes Ereignis unterstellt, ist die Möglichkeit einer Brandentstehung als Folgeereignis zu betrachten. Hierbei ist die Beeinträchtigung der zur Beherrschung dieses Brandes benötigten Einrichtungen durch den anlageninternen Störfall oder die Einwirkung von außen zu berücksichtigen. Der Grad der Beeinträchtigung hängt von der Auslegung der betreffenden Einrichtung ab; er kann als gering eingestuft werden, wenn die Einrichtung entsprechend ausgelegt ist (z.B. Erdbebenauslegung der Löschanlagen).

Eine Voraussetzung zur Bewertung des Anlagenrisikos aus Bränden ist die Quantifizierung der möglichen Brandauswirkungen. Dafür ist ein wesentliches Kriterium, ob die zum Schutz von Sicherheitssystemen herangezogenen Bauteile, einschließlich ihrer Abschlüsse, Klappen, Kabelabschottungen und Rohrdurchführungen, unter den gegebenen brandschutztechnischen Randbedingungen ihre Aufgabe erfüllen können. Bisher wird in der Regel nur die Brandschutzfunktion geprüft. Hinsichtlich weitergehender Aufgaben, z.B. Dichtigkeit oder Strahlenschutzfunktion, auch unter zusätzlichen Einwirkungen wie einem Erdbeben, fehlen derzeit klare Anforderungen.

## 7. ANFORDERUNGEN AN BAULICHE BRANDSCHUTZMASSNAHMEN IN KERNKRAFTWERKEN

### 7.1 Konventionelle Anforderungen an Baustoffe und Bauteile

Aufgrund der Vielzahl der am realen Brandgeschehen beteiligten Einflußgrößen ist die brandschutztechnische Beurteilung von Baustoffen und Bauteilen nur anhand von Modellprüfverfahren möglich. Dabei wird vorausgesetzt, daß die einzelnen Risiken durch die modellmäßige Erfassung auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt werden. Die Brennbarkeit von Baustoffen gemäß DIN 4102 Teil 1 ist prinzipiell auf die erste Phase eines Brandes (Entstehungsbrand) bezogen. Die Klassifizierung B 1 (schwerentflammbar) eines Baustoffs bedeutet somit nicht, daß dieser Stoff im Falle eines Vollbrandes nicht gut brennt. Bei der in DIN 4102 Teil 1 vorgenommenen Klassifizierung der Brennbarkeit kann man - mit Ausnahme der Baustoffe der Klasse A 1 - daher nicht mehr von einer Stoffeigenschaft schlechthin sprechen. In die Normprüfung und Beurteilung geht z.B. sehr wesentlich die geometrische Abmessung, insbesondere die Dicke, der zu prüfenden Baustoffproben ein. Auch die Art der zukünftigen Verwendung kann von ausschlaggebender Bedeutung sein. Stark wärmedämmende Untergründe verhindern beispielsweise den raschen Abfluß der Wärme. Dadurch tritt eine schnelle Aufheizung der darüber befindlichen Baustoffe ein, was eine deutliche Verschlechterung des Brandverhaltens nach sich zieht.

Die Prüfung und Beurteilung von Bauteilen gemäß DIN 4102 Teil 2 erfolgt demgegenüber nur unter Einbeziehung der Erwärmungsphase des Vollbrandes. Für die Brandprüfung ist auf internationaler Ebene eine sogenannte "Einheitstemperaturzeitkurve" (ETK) mit einer logarithmisch ansteigenden Temperaturfunktion festgelegt, die etwa beim Abbrand einer Holzbrandlast von 50 kg/m<sup>2</sup> entsteht. Die Abkühlphase des

Vollbrandes wird nicht in die Prüfung einbezogen. Die ETK ist somit nur ein unvollständiges Modell eines realen Brandes. Prüfungen nach der ETK führen deshalb auch nicht in allen Risikosituationen zwangsläufig zu auf der sicheren Seite liegenden Beurteilungen. Außerdem wird in der Brandprüfung nach DIN 4102 nur das Verhalten von Einzelbauteilen betrachtet; das Verhalten von Gesamtsystemen ist nicht Gegenstand der Norm. Diese Vorgehensweise hat bisher offenbar nur deshalb keine besonderen Probleme ergeben, weil Gesamtsysteme - verglichen mit Einzelbauteilen - durchweg ein besseres, zumindest jedoch ein gleichwertiges brandschutztechnisches Verhalten aufweisen.

Normbrandversuche sind somit auf durchschnittliche Risiken konventioneller Bauten abgestellte Modellversuche für einzelne Bauteile wie Wände, Decken und Stützen. Die Versuchsergebnisse können unter Beachtung bestimmter Regelungen auf gleiche Bauteile anderer Abmessungen übertragen werden. Die Beurteilung nach DIN 4102 erstreckt sich ausschließlich auf das zu erwartende Verhalten beim Normbrand. Für die Beurteilung der sonstigen Brauchbarkeit sind weitere Grundlagen erforderlich, z.B. andere Prüf- und Berechnungsnormen.

## 7.2 Zusatzerfordernngen aufgrund nuklearspezifischer Gesichtspunkte

In Kernkraftwerken ist aus Gründen der nuklearen Sicherheit gegenüber konventionellen Kraftwerken eine Reihe von zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen erforderlich, worauf im folgenden hingewiesen wird. Im Hinblick auf die fehlenden Entlüftungsmöglichkeiten ist die Verwendung brennbarer Bau- und Betriebsstoffe grundsätzlich einzuschränken bzw. zu verbieten. Sofern ausnahmsweise schwerentflammbare oder -brennbare Stoffe zur Anwendung kommen müssen, sollen diese so beschaffen sein,

daß sie im Falle eines Brandes möglichst wenig qualmen und keine korrosiven Brandgase entwickeln.

Strahlenschutzanforderungen an Bauteile dürfen nicht in der Weise ausgelegt werden, daß solche Bauteile durch entsprechende (Strahlenschutz-) Maßnahmen in ihrer brandschutztechnischen Funktion beeinträchtigt werden. Grundsätzlich müssen die Bauteile jeweils alle Anforderungen erfüllen. Sofern dieses nicht möglich ist, sind Spezialbauteile in Reihenschaltung anzuordnen.

Die aus Gründen der nuklearen Sicherheit geforderte Redundanztrennung liefert gute Voraussetzungen dafür, baulich getrennte Bereiche mit ausreichendem Feuerwiderstand zu schaffen. Die im Containment bisher übliche räumliche Redundanztrennung ist in diesem Sinne nicht ausreichend. Sie muß durch bauliche Trennung brandschutztechnisch verbessert werden. Feuerschutztüren im Kontrollbereich, die aufgrund des Leistungsbetriebes offen gehalten werden, sind mit zugelassenen Feststellanlagen zu versehen.

Auf die Problematik der wirksamen Brandbekämpfung in nicht begehbaren Anlagenbereichen und der schwierigen Rettungsbedingungen wurde an anderer Stelle bereits hingewiesen. Die Zusatzanforderungen, die sich daraus ergeben, sind anlagenspezifisch und somit hier nicht allgemein anzugeben.

### 7.3 Zusatzanforderungen aufgrund von besonderen Einwirkungen

Einwirkungen von außen oder von Innen spielen bei der Beurteilung der Sicherheit von Kernkraftwerken eine besondere Rolle. Im Hinblick auf brandschutztechnische Einrichtungen ergeben sich aus solchen Einwirkungen zusätzliche Anforderun-

gen und Maßnahmen. Grundsätzlich ist jeweils die Frage zu klären, welche Brandschutzeinrichtungen nach solchen Einwirkungen funktionsfähig sein oder lediglich wieder instandgesetzt werden müssen. Soweit es die Feuerlöscheinrichtungen betrifft, sind diese zumindest gegen Ereignisse wie häufigere Erdbeben auszulegen.

Können betriebstechnische Einrichtungen infolge von Einwirkungen von außen oder innen durch Verlust ihrer Integrität brennbare Stoffe im Bereich von Zündquellen freisetzen, so sind die Einrichtungen für diese Einwirkungen auszulegen, sofern der Brandschutz nicht durch andere Maßnahmen sichergestellt werden kann. Bei Einwirkungen von innen müssen die Brandschutzeinrichtungen so ausgeführt sein, daß der gegebenenfalls zu unterstellende Brand auf eine Redundanz des Sicherheitssystems begrenzt bleibt. Bei nicht redundanten Einrichtungen muß der sicherheitstechnisch notwendige Betrieb jederzeit aufrecht erhalten werden können (Notlauf von bestimmten Meßleitungen).

#### 7.4 Brandschutztechnische Prüfkriterien

Ein großer Teil der in Kernkraftwerken vorzunehmenden Baustoff- und Bauteilklassifizierungen kann auf der Grundlage von DIN 4102 und den darin enthaltenen Prüfkriterien erfolgen.

Soweit es die Beurteilung der Brennbarkeit von Stoffen betrifft, müssen ggf. zusätzliche Nachweise über

- das Abbrandverhalten von Baustoffen und Beschichtungen bei einem Vollbrand und
- die Brennbarkeit von Betriebsstoffen und Einbauten

durchgeführt werden, um hinsichtlich der zu erwartenden Brandauswirkungen eine ausreichende Beurteilungsgrundlage zu haben. Insbesondere betrifft dieses den Notlauf von bestimmten Leitungen, gemischte Kabelbelegungen (PVC- und FRNC-Kabel) und andere Fälle mit ausreichendem Stützfeuer.

Im Hinblick auf die Prüfung und Beurteilung der Verqualmung fehlen bewährte Prüfrichtlinien. Aufgrund vorliegender Erfahrungen kann jedoch gesagt werden, daß geschlossene Systeme, selbst nach Verbrennung kleinster Mengen, total verqualmt sind. Bei mechanischer Entqualmung sind nennenswerte Erfolge erst dann zu erwarten, wenn im Raum ein 25 bis 50facher Luftwechsel pro Stunde erreicht wird. Auf diesem Gebiet sind gegenwärtig viele Fragen weitgehend ungeklärt.

Die Bauteilprüfungen nach DIN 4102 gehen immer von einem bestimmten Vollbrand aus und beziehen sich ausschließlich auf das Verhalten beim Brand. Für die Beurteilung der sonstigen Brauchbarkeit sind zusätzliche Prüfungen und Nachweise erforderlich. Bei der Bewertung der Aussagefähigkeit von Normprüfungen nach DIN 4102 sind deshalb ggf. folgende Einschränkungen in Rechnung zu stellen:

- die Abkühlphase des Brandes wurde nicht erfaßt,
- die Klassifizierungen F90, T90 usw. gehen indirekt von einer begrenzten Brandbelastung aus (Wohnungsbau. 20 bis 50 kg/m<sup>2</sup> Holzgleichwert),
- die Dichtigkeit der Bauteile (Raumdichtigkeit) wird nur im Hinblick auf entzündliche Gase beurteilt (Gasdichtigkeit u.ä. wird in der Prüfung nicht erfaßt),
- die zulässigen Temperaturerhöhungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite gehen von einer konventionellen Entzündungswahrscheinlichkeit auf dieser Seite aus,
- die Druckverteilung im Prüfofen ist aufgrund von Brand-erfahrungen in kleinen Räumen festgelegt.

## 8. FOLGERUNGEN FÜR DIE VERBESSERUNG DES BRANDSCHUTZES

In den vorliegenden Erläuterungen wurden die bestehenden Anforderungen an den Brandschutz in Kernkraftwerken aus atomrechtlicher, baurechtlicher und arbeitsrechtlicher Sicht zusammengefaßt und verglichen. Es hat sich gezeigt, daß in den Anforderungen vom Grundsatz her Interessenkonflikte nicht bestehen. Daher kann aus bauaufsichtlicher Sicht grundsätzlich die gleichzeitige Erfüllung dieser Anforderungen verlangt werden. Im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren kann dies dadurch erfolgen, daß die in Abschnitt 2 genannten Anforderungen uneingeschränkt beachtet und Maßnahmen nach Abschnitt 4 zu deren Erfüllung vorgesehen werden. Derzeit übliche Brandschutzmaßnahmen in Kernkraftwerken nach dem derzeitigen Stand der Regeln und Richtlinien sind im Abschnitt C beschrieben.

In Abschnitt 3 wurden die besonderen Randbedingungen für den Brandschutz in Kernkraftwerken diskutiert. Diese sind naturgemäß in bautechnischen Regelvorschriften bzw. Normen zu berücksichtigen. Daher ist bauaufsichtlich zu fordern, daß insbesondere den Einschränkungen der Brandbekämpfung und den erhöhten Anforderungen an den Personenschutz aufgrund des Strahlenschutzes Rechnung getragen wird, daß Erleichterungen gegenüber dem konventionellen Brandschutz und Erschwernisse beim Personenschutz nachweisbar durch alternative Maßnahmen kompensiert werden und daß Verschärfungen gegenüber dem konventionellen Brandschutz bei erhöhten Brandlastpotentialen oder weitergehenden Schutzfunktionen vorgesehen werden. Als Mittel zur Beurteilung eines ausreichenden Brandschutzes sind prüffähige Nachweise gemäß Abschnitt 6 zu verlangen (siehe auch Teil B2 des Berichts).

An Brandschutzeinrichtungen in Kernkraftwerken sind über das bei konventionellen Bauten übliche Maß hinaus Zusatzanforderungen zu stellen, die in Abschnitt 7 begründet sind. Hierbei sind insbesondere ein bereichsweise höherer Brandwiderstand als "feuerbeständig", die gleichzeitige Erfüllung von Brandschutz- und Strahlenschutzfunktionen sowie der ausreichende Brandwiderstand während oder nach Einwirkungen von innen und von außen sicherzustellen.

Es sind entsprechend erweiterte Prüfkriterien festzulegen, nach denen Baustoffe, Bauteile und Betriebsstoffe für Kernkraftwerke zu prüfen sind. Weitgehend kann auf bestehende Prüfverfahren (z.B. DIN 4102) zurückgegriffen werden, für bestimmte Bauteile und Baustoffe sind die Prüfkriterien partiell zu ergänzen und gesonderte Eignungsprüfungen festzulegen.

Zur Prüfung des Brandschutzes im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sind die brandschutztechnischen und sicherheitstechnischen Randbedingungen in allen Räumen des Kernkraftwerkes zu erfassen. Diese Angaben sind Grundlagen für die Durchführung und Prüfung von Brandschutznachweisen sowie für die Festlegung eventueller Zusatzanforderungen an Brandschutzeinrichtungen.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein Konzept für den Brandschutz von Kernkraftwerken erläutert, das den Anforderungen des Baurechts unter Berücksichtigung von Atomrecht und Arbeitsschutzbestimmungen Rechnung tragen soll. Ausgehend von den allgemeinen Anforderungen werden die kernkraftwerksspezifischen Randbedingungen für den Brandschutz aufgezeigt und Methoden

diskutiert, mit denen nach dem heutigen Stand der Technik der gesetzlich vorgeschriebene Brandschutz erreicht werden kann. Bei Abweichungen von dem im konventionellen Bereich bewährten Brandschutz muß der ausreichende Schutzzumfang gesondert nachgewiesen werden. Hierbei sind erweiterte Schutzfunktionen zu beachten, die sich z.B. aus erhöhten Brandlastpotentialen, aus Strahlenschutzgründen oder aufgrund besonderer Einwirkungen ergeben.

#### 10. LITERATURHINWEISE

- /1/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 1976 (BGBl. I S. 3053).
  
- /2/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I S. 2905) unter Berücksichtigung der Berichtigungen vom 21. Januar 1977 (BGBl. I S. 184) und 1. Februar 1977 (BGBl. I S. 269).
  
- /3/ Richtlinien für den Einsatz von Feuerwehren an strahlengefährdeten Einsatzstellen. Bek. des Bayer. Staatsm. d. Innern vom 14. November 1979 Nr. ID1-3082-12/4 (MABl. S. 694) in der Fassung der Bek. vom 27. Mai 1980 Nr. ID1-3041-6/238 (MABl. S. 278).

- /4/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, verabschiedet im Länderausschuß für Atomkernenergie am 12. Oktober 1977. Bek. des Bundesministers des Innern vom 21. Oktober 1977.
  
- /5/ Interpretation zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Kriterium 2.7: "Brand- und Explosionsschutz" - Vorrang von Strahlenschutz oder Brand- und Explosionsschutz, besonders im Hinblick auf die Verqualmung des Sicherheitsbehälters. (Stand: 28. November 1979). (GMBL Br. 5 vom 02. Februar 1980).
  
- /6/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren. 2. Ausgabe, 24. Januar 1979.
  
- /7/ Musterbauordnung 81, Institut für Bautechnik, Berlin, Dezember 1981.
  
- /8/ Arbeitspapiere "Rettungswege" der ARGEBAU, Stand März 1977. Wiesbaden, Sept. 1977.
  
- /9/ Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV) vom 20. März 1975. Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung.
  
- /10/ Arbeitsstätten-Richtlinien. Ausgabe April 1976. Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung.

- /11/ Arbeitsgemeinschaft Brandschutz in Kernkraftwerken.  
Bestandsaufnahme brandschutztechnischer Gegebenheiten, Maßnahmen und Bestimmungen in Kernkraftwerken. Abschlußbericht zum BMI-Vorhaben SR 144, September 1981.
  
- /12/ Hosser, D. und Schneider, U.: Bestandsaufnahme des Brandschutzes in Kernkraftwerken.  
VGB-Kraftwerkstechnik, Heft 6/1982.
  
- /13/ KTA 2101.1: Brand- und Explosionsschutz in Kernkraftwerken; Teil 1: Grundsätze.  
Regelentwurfsvorlage Januar 1984
  
- /14/ KTA 2101.3: Brand- und Explosionsschutz in Kernkraftwerken; Teil 3: Brand- und Explosionsschutz an maschinen- und elektrotechnischen Anlagen.  
Regelentwurfsvorlage (Entwurf), Stand 25.04.1983
  
- /15/ KTA 2102: Rettungswege in Kernkraftwerken. Regelentwurfsvorlage April 1982 (Entwurf)
  
- /16/ DIN 14096: Regeln für die Erstellung der Brandschutzordnung; Teil 1 bis 3.  
Normenentwürfe.
  
- /17/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Verlag TÜV Rheinland, 1979.
  
- /18/ International Atomic Energy Association (IAEA):  
Fire Protection in Nuclear Power Plants - A Safety Guide. Safety Series No. 50-SG-D2, Wies, 1979.

B 2            NACHWEISMÖGLICHKEITEN   FÜR   DEN   BAULICHEN  
BRANDSCHUTZ

1.    ZIELSETZUNG

Im folgenden werden die verschiedenen Bestandteile eines theoretischen Auslegungskonzeptes für den baulichen Brandschutz in Kernkraftwerken zusammenfassend dargestellt, und zwar

- die erforderlichen Angaben über die maßgebenden brandschutztechnischen und sicherheitstechnischen Einflüsse (gemäß KTA 2101.1),
- Grundlagen für die Beurteilung der zu erwartenden Brandwirkungen bei vorgegebener brandschutztechnischer Ausgangssituation,
- ein Sicherheitskonzept zur Festlegung des erforderlichen baulichen Brandschutzes in KKW unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Branderkennung und -bekämpfung (erster Entwurf),
- ein Nachweiskonzept für den baulichen Brandschutz in KKW, das vereinfachte brandschutztechnische Verfahren sowie die Verwendung von Bemessungshilfen für übliche Fälle vorsieht (erster Entwurf).

Darüber hinaus wird im Teil B3 nach dem derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik ein Nachweisverfahren zur brandschutztechnischen Auslegung von Bauteilen in Anlagenbereichen mit Zwangsventilation skizziert und die Möglichkeit zur Erstellung einfach verwendbarer Bemessungshilfen erläutert.

Selbstverständlich können neben dem in diesem Teil behandelten Nachweisverfahren auch die bisher in der Praxis üblichen Beurteilungsmethoden für den Brandschutz angewendet werden:

- empirisch, sofern ausreichende Erfahrung bei vergleichbaren Randbedingungen vorliegen,
- aufgrund von Brandversuchen, sofern die natürlichen Brandbedingungen hinreichend erfaßt werden.

## 2. ERFORDERLICHE ANGABEN

- (1) Zur Beurteilung des Brandschutzes sind alle Bedingungen zu erfassen, die für die Entstehung, Ausbreitung und für die Wirkungen von Bränden in den betrachteten Anlagenbereichen von Bedeutung sind.
- (2) Im einzelnen sind raumweise oder für Raumbereiche zusammenzustellen bzw. zu beschreiben:
  - Raumgröße, -geometrie und -öffnungen,
  - Angaben über die Baustoffe der Umfassungswände und Einbauten,
  - permanente Brandlasten und "wandernde" Brandlasten,
  - permanente Zündquellen und "bewegliche" Zündquellen,
  - bauliche Brandschutzmaßnahmen mit Brauchbarkeitsnachweisen,
  - Brandmeldeanlagen mit Auslegung und Brauchbarkeitsnachweis
  - Feuerlöscheinrichtungen mit Auslegung und Brauchbarkeitsnachweis,

- Lüftungstechnische Anlagen mit Schemata, Steuerungskonzept, Lüftungsraten und Abschaltkonzept,
- Rauch- und Wärmeabzugseinrichtungen mit Auslegung und Brauchbarkeitsnachweis,
- möglicherweise von einem Brand betroffene Anlagenteile mit sicherheitstechnischer Bewertung.

- (3) In Anlagenbereichen, in denen ein Brand in Kombination mit einem angenommenen Ereignis zu betrachten ist, sind die aus dem angenommenen Ereignis resultierenden zusätzlichen Anforderungen (z.B. zuverlässige Redundanztrennung, begrenzte Temperaturerhöhung auf der Rückseite) oder zusätzlichen Einwirkungen (z.B. erhöhter Druck, Strahlkräfte) zu definieren.
- (4) Es sind diejenigen baulichen Brandschutzmaßnahmen zu benennen, deren Brandschutzfunktion auch nach einem real zu erwartenden Erdbeben (Auftrittshäufigkeit ca.  $10^{-2}/a$ ) gewährleistet sein muß.

### 3. BEURTEILUNG DER BRANDWIRKUNGEN

- (1) Bei der Beurteilung der Brandwirkungen sind u.a. folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:
- Raumgröße und -geometrie
  - Brandlasten und Zündquellen
  - Möglichkeiten der Brandmeldung und Brandbekämpfung
  - bau- und anlagentechnische Gegebenheiten.

- (2) Als mögliche Brandwirkungen sind zu betrachten:
- Temperaturentwicklung im Brandraum
  - Temperaturerhöhung außerhalb des Brandraumes
  - Rauchentwicklung und Verqualmung
  - Druckaufbau in geschlossenen Räumen.
- (3) Bauteile, deren Brandschutzfunktion im wesentlichen von der erreichten Temperatur abhängt, können anhand einer äquivalenten Normbranddauer  $t_a$  beurteilt werden, welche die vorhandenen Brandlasten mit ihren Abbrandeigenschaften, die Ventilationsbedingungen im Brandraum sowie die Wärmeaufnahme durch die Umfassungsstrukturen berücksichtigt. Einzelheiten hierzu sind im Teil B3, Abschnitt 1, erläutert.
- (4) Sofern der zeitliche Ablauf der Temperaturerhöhung von Bedeutung ist (z.B. zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit einer stationären Löschanlage bei manueller Auslösung vor Ort), kann der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum in Abhängigkeit von der Brandlast und den Ventilationsbedingungen rechnerisch ermittelt werden. (Eine Zusammenstellung typischer Anwendungsfälle in Form von Diagrammen ist geplant.)
- (5) Wenn die Rauchentwicklung die Möglichkeiten einer wirksamen manuellen Brandbekämpfung maßgeblich bestimmt, kann die Verqualmung mit den im Teil B3, Abschnitt 1.4, erläuterten Verfahren näherungsweise abgeschätzt werden.

(6) Der Druckaufbau in einem abgeschlossenen Brandraum infolge eines Brandes kann unter Berücksichtigung folgender Faktoren abgeschätzt werden:

- Berechnung der Änderung der inneren Energie im betrachteten Volumen bei Annahme einer isochoren Zustandsänderung und unter Berücksichtigung der Enthalpiezuflüsse und -abflüsse,
- Berechnung der zugeführten Verbrennungsenergie,
- Berechnung der durch Wärmeleitung und -absorption abgeführten Wärmeenergie.

Sofern sich hierbei kritische Verhältnisse ergeben, z.B. Umkehr des erforderlichen Druckgefälles, kann eine genauere Berechnung unter Berücksichtigung zusätzlicher Einflüsse (z.B. Kennlinien der am Lüftungssystem angeschlossenen Ventilatoren) erforderlich werden.

#### 4. FESTLEGUNG DES ERFORDERLICHEN BRANDSCHUTZES

(1) Für die Auslegung der baulichen Brandschutzmaßnahmen gegen die nach Abschnitt 3 ermittelten Brandwirkungen ist der erforderliche Schutzzumfang nach folgenden Kriterien festzulegen:

- mittlere Auftretensrate von Bränden in vergleichbaren Anlagenbereichen
- für das Versagen der Brandschutzmaßnahme maßgebender Grenzzustand
- Art und Zuverlässigkeit der Branderkennung und Brandbekämpfung.

- (2) Bei baulichen Brandschutzmaßnahmen sind
- Grenzzustände der Tragfähigkeit und
  - Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit
- zu betrachten.

Grenzzustände der Tragfähigkeit betreffen im wesentlichen die Standsicherheit von Bauteilen unter Gebrauchslast bei gleichzeitiger Brandbeanspruchung. Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit umfassen die Kriterien Raumabschluß, Temperaturbegrenzung auf der brandabgewandten Seite, Funktionsfähigkeit (z.B. von Abschlüssen oder Feuerschutzklappen).

- (3) Ein Grenzzustand der Tragfähigkeit darf infolge von Brand nur mit einer hinreichend kleinen Wahrscheinlichkeit ( $\approx 10^{-6}/a$ ) erreicht werden, ein Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit ( $\approx 10^{-3}/a$ ).
- (4) Die mittlere Auftretensrate von Bränden in verschiedenen Anlagenbereichen kann, sofern keine speziellen Angaben vorliegen, der Zusammenstellung im Teil B3, Abschnitt 2, entnommen werden.
- (5) Die Gefahr einer Brandausbreitung mit größeren Brandwirkungen ist unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Branderkennung und Brandbekämpfung (z.B. automatische Löschanlage, manuelle Brandbekämpfung bei sehr guter Zugänglichkeit) zu bewerten. Richtwerte für die Zuverlässigkeit verschiedener Einrichtungen sind ebenfalls im Teil B3, Abschnitt 2, angegeben.

- (6) Aufgrund der gemäß Absatz (3) bis (5) bewerteten Bedingungen ergeben sich die bei der Auslegung der baulichen Brandschutzmaßnahmen einzubehaltenden Sicherheitsfaktoren (Einzelheiten zur Ermittlung siehe Teil B3, Abschnitt 2).

## 5. NACHWEIS DES AUSREICHENDEN BRANDSCHUTZES

- (1) Grundsätzlich ist raumweise nachzuweisen, daß die baulichen Brandschutzmaßnahmen gegen die gemäß Abschnitt 3 ermittelten Brandwirkungen mit der nach Abschnitt 4 erforderlichen Zuverlässigkeit ausgelegt sind.
- (2) Die Feuerwiderstandsdauer von qualifizierten Bauteilen, ggf. unter Beachtung der nach Abschnitt 2, Absatz (3) und (4) erforderlichen zusätzlichen oder verschärften Kriterien oder zusätzlichen Einwirkungen, muß mindestens der mit dem Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  gemäß Abschnitt 4, Absatz (6) erhöhten äquivalenten Branddauer  $t_{\text{a}}$  entsprechen. Für die bei Kernkraftwerken üblichen Brandlasten und Ventilationsverhältnisse sind die erforderlichen Feuerwiderstandsdauern für unterschiedliche Brandbekämpfungsmaßnahmen den Tafeln im Teil B3 (in Vorbereitung) zu entnehmen.
- (3) Sofern eine rasch wirksame Brandbekämpfung bei der Bemessung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer in Rechnung gestellt wurde, ist der zu erwartende zeitliche Ablauf der Brandbekämpfung und deren Wirksamkeit aufgrund von Erfahrungen oder anhand einer Berechnung darzustellen.

- (4) Sind verschärfte Gebrauchsfähigkeitskriterien (z.B. Raumabschluß, Temperatur auf der brandabgewandten Seite) für die Bemessung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer entscheidend, so darf der erforderliche Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  nach Abschnitt 4, Absatz (6), vereinfachend mit dem Faktor 0,5 reduziert werden, sofern dann nicht ein Tragfähigkeitskriterium auslegungsbestimmend wird.
- (5) Sind für Bauteile mit Brandschutzfunktion zusätzliche Einwirkungen infolge Erdbeben gemäß Abschnitt 2, Absatz (4), zu unterstellen, so ist für die Auslegung ein zeitliches Nacheinander der Einwirkungen aus Erdbeben und Brand zugrunde zu legen.
- (6) Sofern gemäß Abschnitt 3, Absatz (5) und (6) die Rauchentwicklung und der Druckaufbau im Brandraum von Bedeutung sind, können mit Hilfe von Näherungsmethoden die zu erwartende Zeitdauer für eine Verqualmung bis in Bodennähe bzw. der zu erwartende stationäre Druckanstieg ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge abgeschätzt werden.

## 1. VEREINFACHTES BRANDSCHUTZTECHNISCHES NACHWEISVERFAHREN

### 1.1 Allgemeines

Das nachfolgend erläuterte vereinfachte brandschutztechnische Nachweisverfahren mit Hilfe einer äquivalenten Branddauer  $t_a$  basiert auf den Arbeiten von Bub et al. "Eine Auslegungssystematik für den baulichen Brandschutz", E. Schmidt Verlag, Berlin, 1983. Zur Anwendung bei Kernkraftwerken sind dazu einige Ergänzungen erforderlich. Dazu gehören vor allem die

- Berücksichtigung einer Zwangsventilation,
- Erfassung des Abbrandverhaltens der wesentlichen Brandlasten bei den in KKW herrschenden Bedingungen,
- Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsbeiwertes auf der Grundlage von Teil B2, Abschnitt 4.

Anstelle des Ventilationsfaktors  $w$  wie er z.B. in DIN 18230 definiert ist, wird eine äquivalente Ventilationsrate  $W$  in kg/s definiert. Auf die Berücksichtigung des Abbrandfaktors  $m$  nach DIN 18230 wird verzichtet. Stattdessen werden die realen Abbrandraten auf der Basis großmaßstäblicher Brandversuche für überwiegend Kabelbrandlasten und überwiegend Ölbrandlasten (in kg/s) angesetzt.

Der Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  wurde gemäß Abschnitt 2.5 neu hergeleitet. Eine Tabelle mit vorläufigen Werten ist dort angegeben.

## 1.2 Äquivalente Ventilationsrate

In der äquivalenten Ventilationsrate  $W$  werden eventuell vorhandene natürliche Ventilationsöffnungen  $A_w$  und die Leistung einer Zwangsventilation (in kg/s) zusammengefaßt. Ist keine natürliche Öffnung (z.B. Fenster, offene Tür, Ritzen) vorhanden, so entspricht  $W$  der Luftwechselrate  $W_0$  der Zwangsventilation (in kg Luft/s). Bei den in KKW üblichen Verhältnissen (geringe Luftwechselraten) kann bei Vorhandensein einer natürlichen Öffnung die Wirkung der Zwangsventilation näherungsweise vernachlässigt werden. Ansonsten ist  $W_0$  mit einer äquivalenten Luftwechselrate für die natürliche Öffnung zusammenzufassen; näherungsweise gilt hierfür:

$$W = W_0 + f \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

mit

$A_w$  = natürliche Öffnung(en) in  $\text{m}^2$

$h_w$  = Höhe der Öffnung in m

$f$  = Koeffizient in  $\text{kg/s m}^{5/2}$

Mit den Ventilationsverhältnissen ändert sich auch das Abbrandverhalten der Brandlasten. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- ventilationsgesteuerter Abbrand  
bei Luftmangel
- brandlastgesteuerter Abbrand  
bei Luftüberschuß.

Aufgrund erster experimenteller Untersuchungen mit Kabel- und Ölbrandlasten bei variierten Ventilationsbedingungen wurden die in Bild 1.1 dargestellten mittleren Abbrandraten in kg/s ermittelt.

### 1.3 Äquivalente Normbranddauer

Die äquivalente Normbranddauer  $t_{\ddot{a}}$  ist definiert als diejenige Zeitdauer eines Normbrandes nach DIN 4102, Teil 2, nach der die gleichen Brandwirkungen (z.B. Temperatur) in einem Vergleichsbauteil im Brandraum erreicht werden wie bei dem natürlichen Brandverlauf.

Ausgehend von der Brandlast  $q$  im Brandraum, bezogen auf die Raumbooberfläche  $A_0$  und der Ventilationsrate  $W$ , ebenfalls bezogen auf  $A_0$  kann die äquivalente Normbranddauer  $t_{\ddot{a}}$  für (überwiegend) Kabel- und Ölbrandlasten aus Bild 1.2 abgelesen werden. \*)

---

\*) Bild 1.2 ist eine schematische Darstellung der zu erwartenden Rechenergebnisse.

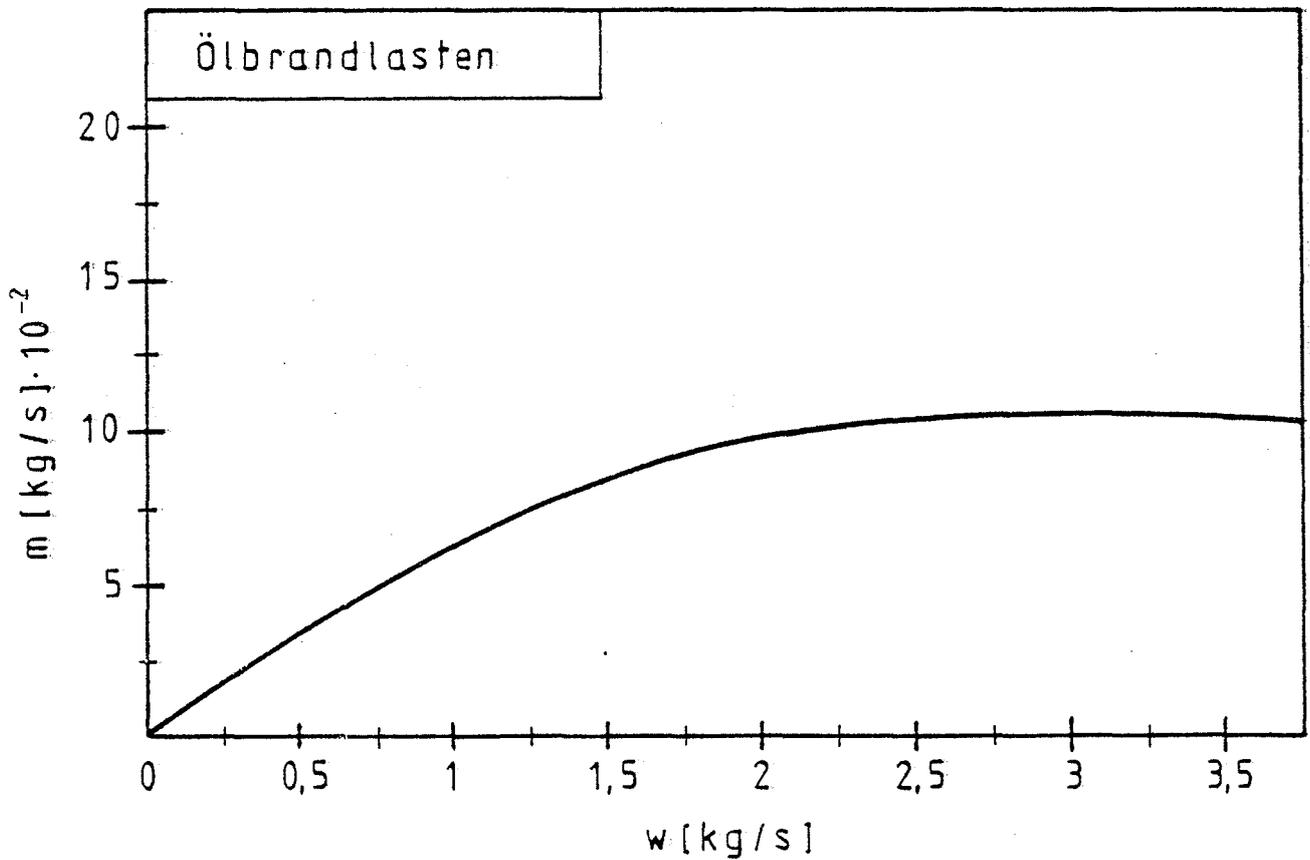
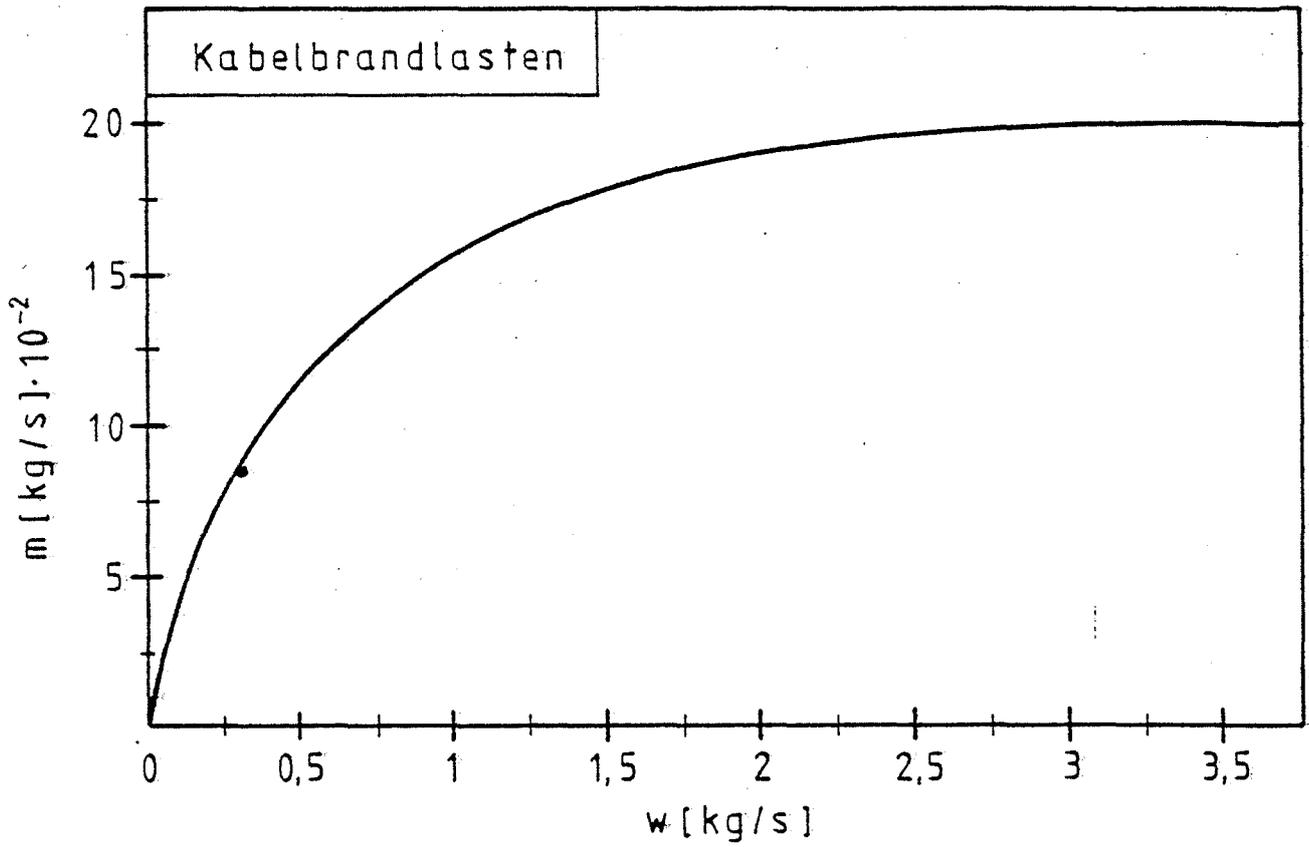


Bild 1.1 Abbrandraten von Kabel- und Ölbrandlasten in Abhängigkeit der Ventilation (schematisch)

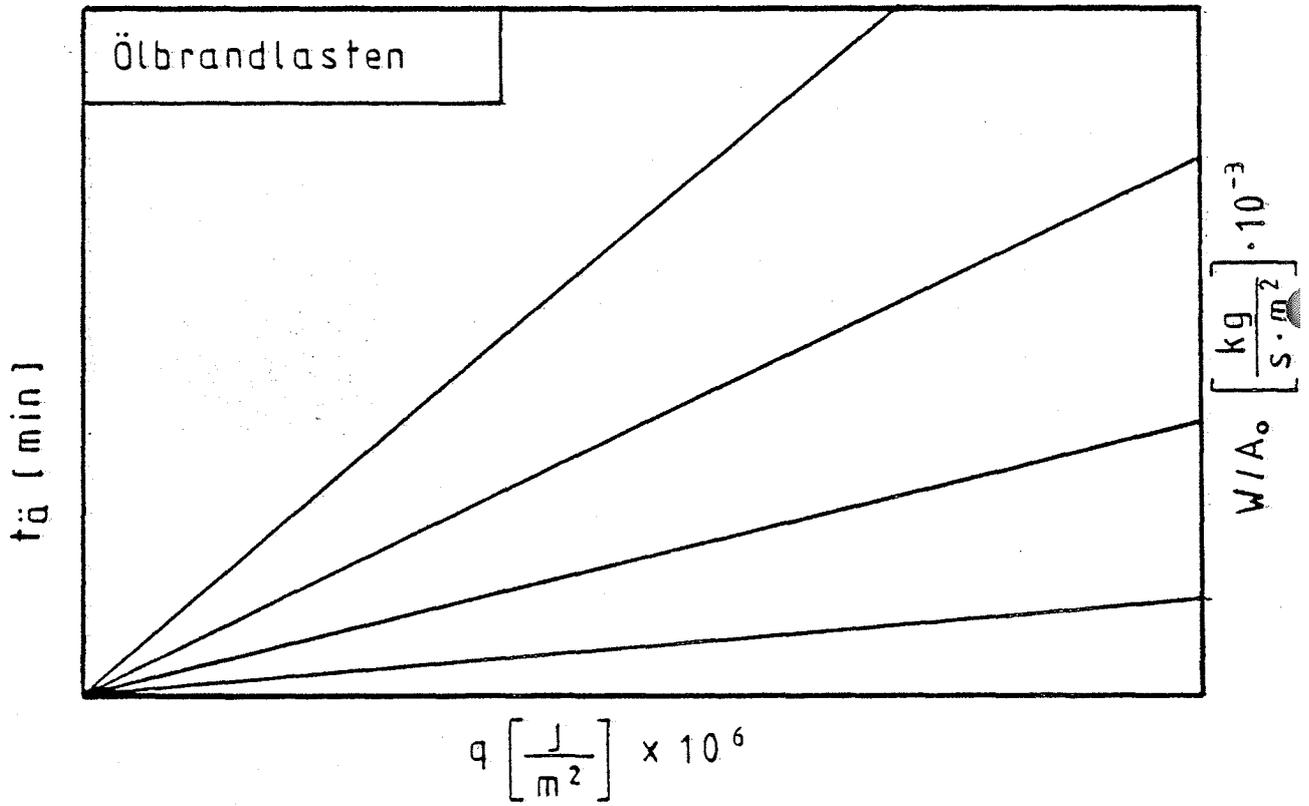
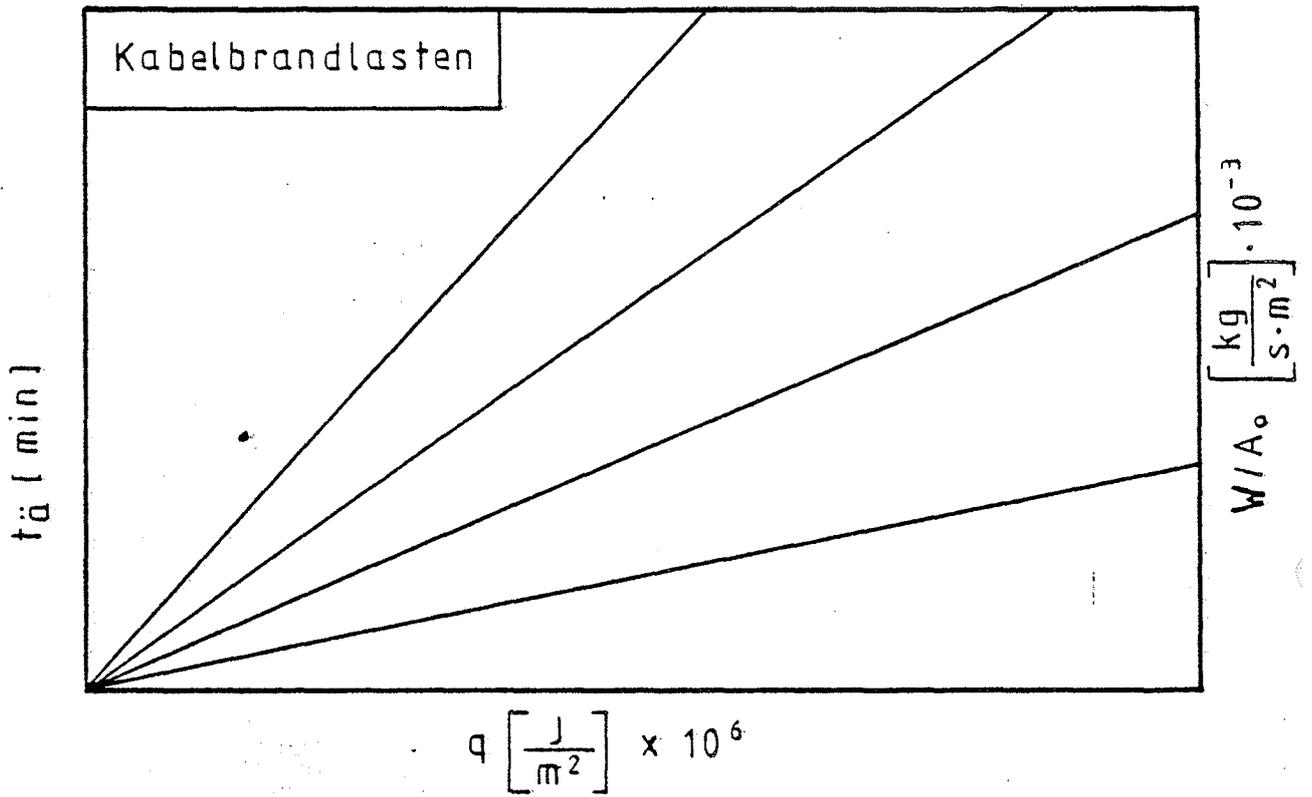


Bild 1.2 Äquivalente Branddauer  $t_{\ddot{a}}$  für Kabel- und Ölbrandlasten (schematisch)

#### 1.4 Rauchentwicklung und Verqualmung

Die Berechnung der Rauchentwicklung und Verqualmung von Gebäuden ist bislang nur näherungsweise möglich. Vor allem wurde über die meßtechnische Erfassung der Rauchdichte bislang international keine Einigkeit erzielt. Unabhängig davon werden in der Praxis verschiedene Rauchabzugs- und Verqualmungsmodelle angewandt. Allgemein wird dabei von folgenden Methoden ausgegangen:

- Bemessung des erforderlichen Rauchabzugs nach den Richtlinien der Sachversicherer,
- Bemessung des erforderlichen Rauchabzugs nach der DIN 18232,
- Berechnung und Bemessung der Verqualmung und des Rauchabzugs nach der Wärmebilanztheorie,
- Berechnung und Bemessung der Verqualmung und des Rauchabzugs nach der Rauchentwicklungs- und Verqualmungstheorie.

Im folgenden wird eine Methode vorgeschlagen, die sich auf die letztgenannte Möglichkeit bezieht.

Der Zusammenhang zwischen optischer Rauchdichte und der Sichtweite in einem verqualmten Gebäude ist auf Bild 1.3 dargestellt. Die Zusammenstellung beruht auf Daten von /1, 2 und 3/ und kann als Näherungsbeziehung wie folgt formuliert werden:

$$\log V_{is} = - 0.7108 \log D/L + 0.2892$$

oder

$$V = 1.9463 \cdot (D/L)^{-0.7108}$$

darin ist

- $V_{is}$  die Sichtweite in m und
- $D/L$  die optische Rauchdichte in  $m^{-1}$  (z.B. gemäß ASTM Test E-662 oder verwandten Meßverfahren).

Bei einer optischen Rauchdichte von  $5.0 m^{-1}$  beträgt die Sichtweite etwa 0.6 m, bei  $0.25 m^{-1}$  dagegen rund 5.0 m. Die optische Rauchdichte  $D/L$  läßt sich aus der spezifischen optischen Rauchdichte  $D_s$  oder der spezifischen optischen Massenrauchdichte  $D_m$  bestimmen. Es gelten folgende Beziehungen:

$$D_s = (D/L) \cdot V/A \quad (\text{dimensionslos})$$

darin ist

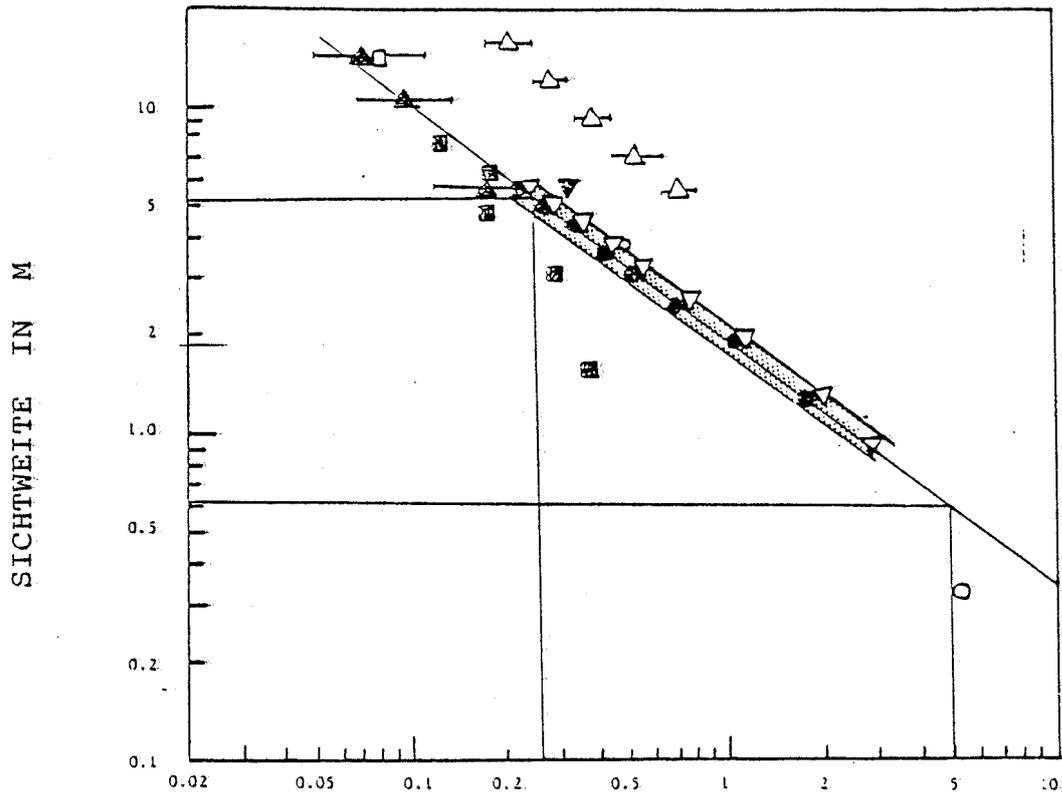
- $V$  das verqualmte Volumen in  $m^3$  mit der optischen Rauchdichte  $D/L$  und
- $A$  Oberfläche in  $m^2$  des brennenden oder nur qualmenden Materials

$$D_m = (D/L) \cdot V/\Delta m \quad (m^2/kg)$$

worin

- $\Delta m$  den Masseverlust wiedergibt, der bei dem vorliegenden Material entsteht, wenn ein Wärmestrom  $\dot{q} \cdot A$  (W) für  $\Delta t$  (s) ansteht und die Pyrolysis- bzw. Verdampfungswärme  $H_v$  (J/kg) verbraucht wird:

$$\Delta m = \dot{q} \cdot \Delta t \cdot A / H_v$$



D/L OPTISCHE RAUCHDICHTE IN M<sup>-1</sup>

Bild 1.3: SICHTWEITE ALS FUNKTION DER RAUCHDICHTE NACH /1, 2 U. 3/

Für einige typische Materialien sind Werte von  $H_V$ ,  $D_S$  und  $D_m$  in der Tabelle 1.1 angegeben.

Tabelle 1.1: Werte der spezifischen optischen Rauchdichte und Massenrauchdichte einiger typischer Materialien

Material	$H_V$ (J/kg)	$D_S$ (l)	$D_m$ (m <sup>2</sup> /kg)
Holz	6000	108 - 287	220 - 280
Polyurethan	1520	-	200 - 500
PVC	-	220 - 320	-
Polypropylen	2030	100 - 200	400
Polystyrol	1760	230 - 660	800
ABS	-	390 - 660	520
Neoprene	-	-	340 - 550
Gipsplatten	-	23 - 37	-

Der Wertebereich von  $D_S$  liegt üblicherweise zwischen 10 und 660, wohingegen die  $D_m$ -Werte zwischen 200 und 800 angesiedelt sind. Materialien die stark qualmen zeigen üblicherweise auch große Gewichtsverluste. Hierbei ist zu beachten, daß z.B. Baustoffe die Feuchtigkeit absorbieren u.U. falsch bewertet werden.

Sofern die Brandausbreitung  $v_g$  (m/min) in einem vorgegebenen Brandraum und die zugehörige spezifische Rauchdichte des brennenden Materials bekannt sind, läßt sich der zugehörige Zeitraum  $t_q$  bis zur Verqualmung berechnen, wenn man die erforderliche Sichtweite gemäß Bild 1.3 begrenzt:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{D_s}{(D/L)} \cdot \dot{A}(t)$$

$$V = \frac{D_s}{(D/L)} \cdot \int_0^{t_Q} \dot{A}(t) \cdot dt$$

Bei einer Breite B der Flammenfront erhält man daraus:

$$t_Q = \frac{V \cdot (D/L)}{D_s \cdot B \cdot v_g}$$

Für die spezifische optische Massenrauchdichte erhält man aufgrund ähnlicher Überlegungen:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{D_m}{(D/L)} \cdot \frac{\dot{q} \cdot A(t)}{H_V}$$

$$V = \frac{D_m}{(D/L)} \cdot \int_0^{t_Q} \frac{\dot{q} \cdot A(t)}{H_V} \cdot dt$$

Für den einfachen Sonderfall, daß die Wärmestromdichte und Verdampfungswärme konstant sind und der Brandherd A sich nicht ausbreitet, gilt:

$$t_Q = \frac{V \cdot (D/L) \cdot H_V}{D_m \cdot \dot{q} \cdot A}$$

In beiden Fällen läßt sich  $t_Q$  als ein Zeitraum definieren, der bis zur Verqualmung zur Verfügung steht in dem z.B. Flucht-, Lösch- und Rettungsmaßnahmen unbehindert durchführbar sind. Üblicherweise beträgt dieser Zeitraum nur

wenige Minuten, wie sich anhand einfacher Beispiele leicht zeigen läßt.

1. Beispiel: PVC-Brand mit entwickelter Flamme

$$V_{is} = 5.0 \text{ m} , \quad D_s = 250, \quad V = 400 \text{ m}^3$$

$$v_g = 0.1 \text{ m/min}, \quad B = 1.0 \text{ m},$$

$$\text{nach Bild 1.3} \rightarrow D/L = 0.25$$

$$t_Q = \frac{400 \cdot 0.25}{250 \cdot 1.0 \cdot 0.1} = \underline{4.0 \text{ min}}$$

2. Beispiel: Polyurethanschaum mit nichtleuchtender Flamme

$$V_{is} = 5.0 \text{ m}, \quad D_m = 500, \quad V = 400 \text{ m}^3$$

$$\dot{q} = 0.5 \text{ W/cm}^2, \quad A = 10^4 \text{ cm}^2, \quad H_V = 1.5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$\text{nach Bild 1.3} \rightarrow D/L = 0.25$$

$$t_Q = \frac{400 \cdot 0.25 \cdot 1.5 \cdot 10^6}{500 \cdot 0.5 \cdot 10^4} = \underline{60 \text{ s}}$$

Für den Fall, daß sich der Brandherd A linear mit der Geschwindigkeit  $v_g$  vergrößert, gilt:

$$t_Q = \left( \frac{2 \cdot V \cdot (D/L) \cdot H_V}{D_m \cdot \dot{q} \cdot B \cdot v_g} \right)^{1/2}$$

Die zugehörige Fluchtzeit ergibt sich dann zu ( $v_g = 10 \text{ cm/60s}$ )

$$t_Q = \left( \frac{2 \cdot 400 \cdot 0.25 \cdot 1.5 \cdot 10^6 \cdot 60}{500 \cdot 0.5 \cdot 10^2 \cdot 10} \right)^{1/2} = \underline{\underline{268 \text{ s}}}$$

Die vorstehenden Berechnungen beziehen sich auf Räume ohne Rauchabzug. Sofern ein Rauchabzug  $\dot{V}_{ab}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) berücksichtigt werden soll, kann von folgender allgemeiner Formel ausgegangen werden:

$$\int_0^V \cdot dV = \int_0^{t_Q} \frac{D_m}{(D/L)} \cdot \dot{q} \cdot A/H_v \cdot dt - \int_0^{t_Q} \dot{V}_{ab} \cdot dt$$

/1/ Jin, T.: Proc. 4th Joint Panel Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety. Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokio, Februar 1979.

/2/ Rasbash, D.J.: Trans. J. Plastics Inst., 55, Januar 1967.

/3/ Lopez, E.L.: J. Fire Flammability, 6, pp 405, 1975.

2. SICHERHEITSANFORDERUNG FÜR DEN BAULICHEN BRANDSCHUTZ IN KERNKRAFTWERKEN

2.1 Brandeintrittshäufigkeiten

Auf der Basis verschiedener Auswertungen von 58 Brandereignissen in 77 amerikanischen Kernkraftwerken (50 DWR + 27 SWR) mit insgesamt 372 Reaktorbetriebsjahren (bis 1978) sind die in Tabelle 2.1 angegebenen mittleren Brandeintrittshäufigkeiten für ausgewählte Raumbereiche und 95%-Vertrauensgrenzen ermittelt worden unter Berücksichtigung statistischer Unsicherheiten infolge der begrenzten Datenmenge.

Tabelle 2.1: Brandeintrittshäufigkeiten für ausgewählte Raumbereiche (vorläufige Werte)

Raum oder Raumbereich	Ereignisse pro Raumjahre	mittlere Häufigkeit pro Jahr ( $\lambda_1$ )	95%-Vertrauensgrenze
Dieselgeneratorräume	10/593,0	$2 \cdot 10^{-2}$	$(6 \cdot 10^{-2})$
Kabelverteilungsräume	2/301,3	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Containment	5/337,0	$1 \cdot 10^{-2}$	$(3 \cdot 10^{-2})$
Warte	1/288,5	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Hilfsanlagegebäude	10/303,3	$4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Maschinenhaus	9/295,3	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$

Bei brandschutztechnisch (mit ausreichender Zuverlässigkeit gem. Teil B2, Abschnitt 5) abgetrennten Bereichen innerhalb der angegebenen Gebäude und Raumbereiche dürfen die Brandeintrittshäufigkeiten ggf. im Verhältnis Teilfläche zu Gesamtfläche reduziert werden. Nicht erfaßte Raumbereiche sind den angegebenen Bereichen nach Brandlast und Zündquellen sinnvoll zuzuordnen.

## 2.2 Zuverlässigkeit der Brandbekämpfung

Aufgrund von Erfahrungen im konventionellen Brandschutz sowie speziellen Betriebserfahrungen bei amerikanischen Kernkraftwerken kann die Wahrscheinlichkeit für das Versagen der rechtzeitigen Bekämpfung eines aufgetretenen Brandes vor einem Feuerübersprung mit möglicher Brandausbreitung in benachbarte Raumbereiche nach Tabelle 2.2 angenommen werden.

Tabelle 2.2: Versagenswahrscheinlichkeit unterschiedlicher Brandbekämpfungsarten (vorläufige Werte)

Art der Brandbekämpfung	Versagenswahrscheinlichkeit $p_2 \cdot p_3$ der rechtzeitigen Brandbekämpfung	
	ständig anwesendes Personal oder geeign. autom. Meldeanl.	gelegentl. anwesendes Personal bei Fehlen einer autom. Meldeanl.
manuell durch Betriebsfeuerwehr oder Personal Eingreifzeit > 20 min	1,0	1,0
wie vor, jedoch Eingreifzeit $\leq$ 20 min	0,5	0,7
wie vor, jedoch Eingreifzeit $\leq$ 10 min	0,5	0,7
station.Löschanlage manuell ausgelöst nach spätestens 10 min	0,2	0,3
station.Löschanlage Auslösung automatisch	0,02	-

$p_2$ : Wahrscheinlichkeit, daß es zu einem Feuerübersprung kommt wenn keine Brandbekämpfung stattfindet.

$p_3$ : Wahrscheinlichkeit, daß unter Berücksichtigung manuell oder automatisch wirksamwerdender Löschmaßnahmen das Feuer gelöscht wird.

### 2.3 Häufigkeit von Vollbränden

Aus den mittleren Brandeintrittshäufigkeiten  $\lambda_1$  gemäß Abschnitt 2.1 und den Versagenswahrscheinlichkeiten der Brandbekämpfungsmaßnahmen  $p_2 \cdot p_3$  nach Abschnitt 2.2 folgt die mittlere Häufigkeit von Vollbränden  $\lambda_b$  (Postflashover-Bränden) in den verschiedenen Raumbereichen in Abhängigkeit der Brandbekämpfungsmaßnahmen

$$\lambda_b = \lambda_1 \cdot p_2 \cdot p_3.$$

In Tabelle 2.3 sind diese mittleren Häufigkeiten von Vollbränden je Jahr zusammengestellt, wobei eine zuverlässige und rasche Brandmeldung entweder durch ständig anwesendes Personal oder eine automatische Brandmeldeanlage vorausgesetzt ist.

Tabelle 2.3 Mittlere Häufigkeit von Vollbränden  $\lambda_b$  (vorläufige Werte)

Raum, Raumbereich	Art der Brandbekämpfung				
	manuell			Löschanlage	
	> 20 min	≤ 20 min	≤ 10 min	manuell ausgel. ≤ 10 min	automatisch
Dieselgenerator-räume	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Kabelverteilungs-räume	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Containment	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Warte	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Hilfsanlagen-gebäude	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$
Maschinenhaus	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$

#### 2.4 Zulässige Versagenswahrscheinlichkeit der passiven Brandschutzmaßnahmen

Die bedingte Versagenswahrscheinlichkeit  $p_{fb}$  von Bauteilen mit Brandschutzfunktion bei einem Vollbrand im betrachteten Raum(bereich) errechnet sich näherungsweise aus der zulässigen Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  infolge Brand gemäß Abschnitt 4 des Teils B2 und der mittleren Häufigkeit von Vollbränden  $\lambda_b$

$$p_{fb} = \frac{p_f}{\lambda_b}$$

Es ergeben sich unterschiedliche Werte für Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchsfähigkeit. Die bedingten Versagenswahrscheinlichkeiten können auch durch den Sicherheitsindex  $\beta_b$  ausgedrückt werden, wobei mit der Funktion  $\Phi$  der Standardnormalverteilung gilt

$$p_{fb} = \Phi(-\beta_b)$$

#### 2.5 Sicherheitsbeiwert für Auslegung mit Hilfe der äquivalenten Branddauer

Mit dem Sicherheitsindex  $\beta_b$  kann nach den "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für den baulichen Brandschutz" in einfacher Weise der erforderliche Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  ermittelt werden, wobei hier zunächst die Variationskoeffizienten von äquivalenter Branddauer  $V_{t\ddot{a}} = 0,25$  und Feuerwiderstanddauer  $V_{tF} = 0,2$  näherungsweise wie für Industriegebäude angenommen werden.

$$\gamma = \exp \left\{ (-\alpha_{t_{\ddot{a}}} \cdot \beta_b - k_{t_{\ddot{a}}}) \cdot \ln(V_{t_{\ddot{a}}}^2 + 1) + (\alpha_{t_F} \cdot \beta_b + k_{t_F}) \cdot \ln(V_{t_F}^2 + 1) \right\}$$

Die Zahlenwerte für  $\alpha_{t_{\ddot{a}}}$ ,  $\alpha_{t_F}$ ,  $k_{t_{\ddot{a}}}$  werden ebenfalls zunächst in Anlehnung an die o.g. Grundlagen vorgeschlagen.

$$\begin{aligned} \alpha_{t_{\ddot{a}}} &= -0,78 & k_{t_{\ddot{a}}} &= 1,282 \\ \alpha_{t_F} &= 0,62 & k_{t_F} &= -1,282 \end{aligned}$$

Die Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  sind auf der Grundlage von Tabelle 2.3 für Grenzzustände der Tragfähigkeit ( $p_f = 10^{-6}/a$ ) und Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit ( $p_f = 10^{-3}/a$ ) in Tabelle 2.4 angegeben. Die in Klammern gesetzten  $\gamma$ -Werte beziehen sich auf die Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit.

Tabelle 2.4 Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  für die brandschutztechnische Auslegung mit Hilfe der äquivalenten Branddauer (vorläufige Werte)

Raum(bereich)	Art der Brandbekämpfung				
	manuell			Löschanlage	
	>20 min	≤20 min	≤10 min	manuell ≤10 min	automatisch
Dieselgenerator- räume	1,93 (0,95)	2,82 (0,85)	1,60 (0,57)	1,50 (0,57)	1,37 (0,57)
Kabelvertei- lungsräume Containment	1,82 (0,85)	1,73 (0,74)	1,50 (0,57)	1,40 (0,57)	1,27 (0,57)
Warte	1,65 (0,65)	1,59 (0,57)	1,33 (0,57)	1,23 (0,57)	1,10 (0,57)

### 3. BEMESSUNGSHILFEN FÜR DIE BRANDSCHUTZTECHNISCHE AUSLEGUNG \*)

In diesem Teil werden für die häufigsten Raumtypen, Ventilationsraten und Brandbekämpfungsmaßnahmen die zulässigen Brandlasten (Kabel- oder Ölbrandlasten)  $q$  bezogen auf die Grundfläche  $A$  bei Verwendung qualifizierter Bauteile unterschiedlicher Feuerwiderstandsklassen  $F$  angegeben. Hierbei gelten (Beispiele möglicher Tabellen).

- Tafel 3.1 für vorwiegend Kabelbrandlasten in kleinen bis mittelgroßen Räumen
- 3.2 dto., jedoch in großen Räumen
- 3.3 dto., jedoch in schachtartigen Räumen
- 3.4 für vorwiegend Ölbrandlasten in kleinen bis mittelgroßen Räumen
- 3.5 dto., jedoch in großen Räumen
- 3.6 dto., jedoch in schachtartigen Räumen

Hinsichtlich der Ventilationsverhältnisse sind folgende Fälle berücksichtigt (vorläufige Werte):

---

\*) Dieser Abschnitt konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens nur angedacht werden. Die bereitgestellten knappen Mittel reichten bei weitem nicht aus, um den zu erwartenden Rechenaufwand abzuwickeln.

- |  |                    |
|--|--------------------|
| a) Zwangsventilation   | $W \leq 0,25$ kg/s |
| b)                   "   | $W \leq 0,5$ "     |
| c) Zwangsventilation +<br>geringe nat. Venti-<br>lation                  | $W \leq 2,0$ "     |
| d) vorwiegend natür-<br>liche Ventilation<br>durch Tür oder<br>ähnliches | $W > 2,0$ "        |

Tafel 3.1 Zulässige Brandlasten (überwiegend Kabelbrandlasten) in kleinen bis mittelgroßen Brandräumen ( $A \leq 500 \text{ m}^2$ ,  $A_0/A = 4 \div 10$ ,  $q$  in  $\text{kWh/m}^2$ )

	Ventila- tionsrate	zul. $q$ ( $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ ) bei Feuerwiderstandsklasse					
		F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Brandbekämpfung	$W$ ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )	zul.q	zul.q	zul.q	zul.q	zul.q	zul.q
Betriebsfeuerwehr Eingreifzeit > 20 min	a) b) c) d)						
Betriebsfeuerwehr Eingreifzeit $\leq 20$ min							
Betriebsfeuerwehr Eingreifzeit $\leq 10$ min							
station. Löschan- lage, Auslösung manuell spätestens nach 10 min							
station. Löschan- lage, Auslösung automatisch							

Teil C BRANDSCHUTZMASSNAHMEN IN KERNKRAFTWERKEN NACH  
DEM STAND DER TECHNIK

---

1. ZIELSETZUNG

Der vorliegende Teil C des Abschlußberichtes befaßt sich - entsprechend dem dritten Arbeitsschwerpunkt - mit den Kernkraftwerksspezifischen Brandschutzmaßnahmen, wie sie nach dem derzeitigen Stand der Technik ausgeführt oder für in der Planung befindliche Anlagen vorgesehen werden. Allgemeine Brandschutzmaßnahmen entsprechend den einschlägigen Normen und Richtlinien werden nicht näher erörtert.

Entsprechend der Untergliederung in Teil A werden die folgenden Maßnahmen unterschieden

- Brandverhütung
- Branderkennung
- Brandbekämpfung
- baulicher Brandschutz
- Personenschutz
- Organisatorische Maßnahmen
- Brandschutz in Revisionsphasen
- Kontrollen und Prüfungen.

In Abschnitt 2 werden diese Maßnahmen für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland behandelt. Hierbei wird unterschieden zwischen den neuesten Entwürfen der KTA-Regeln 2101 und 2102 sowie den Richtlinien der Sachversicherer.

Abschnitt 3 enthält Maßnahmen, die nach den neuesten Brandschutzregelungen für Kernkraftwerke in den USA erforderlich sind und solche, die von internationalen Gremien für Kernkraftwerke empfohlen werden. Nicht behandelt werden die Gesichtspunkte "Brandschutz in Revisionsphasen" und "Kontrollen und Prüfungen", weil für sie nationale Regelungen gelten.

Abschnitt 4 wertet die Brandschutzmaßnahmen im Hinblick darauf, ob sie den in den Teilen A und B erörterten bauaufsichtlichen Anforderungen an den Brandschutz in Kernkraftwerken hinreichend Rechnung tragen. Abschließend werden in Abschnitt 5 Literaturhinweise zu den verwendeten Regelungen gegeben.

## 2. STAND DER BRANDSCHUTZMASSNAHMEN IN DER BUNDESREPUBLIK

### 2.1 Übersicht

Den Brandschutzmaßnahmen in deutschen Kernkraftwerken kommt seit einigen Jahren ein hoher Stellenwert zu. Die kernkraftspezifischen Probleme des Brandschutzes wurden erkannt und schlagen sich in mehr oder weniger gravierenden Abweichungen von den konventionellen Brandschutzmaßnahmen nieder /1/.

Die rasche Entwicklung auf diesem Gebiet hat dazu geführt, daß der derzeitige Stand der Technik nicht mehr allein an den bereits im Betrieb befindlichen Anlagen gemessen werden kann. Es wird daher für sinnvoller erachtet, die nachfolgenden Erörterungen einmal auf den neuesten Regelentwürfen von KTA 2101.1 /2/, KTA 2101.3 und KTA 2102 /4/ aufzubauen, die

von Fachleuten aller beteiligten Gruppierungen (Betreiber und Hersteller, Genehmigungsbehörden und Gutachter, Wissenschaftler) als zur Zeit realisierbarer Kompromiß getragen werden, und zum anderen die VdS-Richtlinien für den Brandschutz in Kernkraftwerken /5/ zu betrachten, nach denen die entsprechenden Risiken versichert werden. Die dort vorgeschriebenen Maßnahmen kommen auch weitestgehend bei den in der Genehmigung befindlichen neuen Kernkraftwerken der sogen. "Baulinie 80" zur Anwendung.

## 2.2 KTA - Regeln

### Brandverhütung

In KTA 2101.1 /2/ sind Brandverhütungsmaßnahmen nur vom Grundsatz geregelt, insbesondere

- Minimierung und Kapselung von Brandlasten
- Vermeidung voraussehbarer Zündquellen im Bereich offener brennbarer Stoffe
- Verhinderung eines Brandes im Bereich druckführender Behälter und Komponenten
- Auslegungen von Einrichtungen, die bei Verlust ihrer Integrität brennbare Stoffe freisetzen oder von Einrichtungen, die eine Entzündung ermöglichen, gegen Einwirkungen von außen
- grundsätzliche Verwendung nichtbrennbarer Baustoffe der Klasse A nach DIN 4102 T. 1 /6/ oder Nachweis, daß geeignete nichtbrennbare Stoffe nicht zur Verfügung stehen
- bei brennbaren Stoffen grundsätzlich Schwerentflammbarkeit gemäß Klasse B1 DIN 4102 T. 1 und Rauchentwicklung gemäß Klasse A2 gefordert, bei Dekontantstrichen und Kaltwasserisolierungen Klasse B2 gemäß DIN 4102 T. 1, sofern Brandfortleitung durch technische Maßnahmen unterbunden wird

- grundsätzliche Verwendung nichtbrennbarer Betriebsstoffe, ausgenommen aus betrieblichen Gründen unvermeidbare brennbare Stoffe
- Verwendung schwerentflammbarer Steuerflüssigkeiten
- grundsätzliche Verwendung von halogenfreien Sonderkabeln im Sicherheitsbehälter, ausgenommen bei besonderen elektrischen oder mechanischen Anforderungen.

Detaillierte Brandverhütungsmaßnahmen an maschinen- und elektrotechnischen Anlagen werden in KTA 2101.3 /3/ vorgeschrieben. Einige wesentliche Aussagen seien hier zusammengefaßt:

- Für Rohrleitungen, Behälter, Apparate und Armaturen, die brennbare Stoffe enthalten oder sicherheitstechnisch wichtig sind, sind grundsätzlich nichtbrennbare Werkstoffe zu verwenden; bei unvermeidbaren brennbaren Werkstoffen ist eine Brandausbreitung durch andere Maßnahmen zu verhindern.
- Die Freisetzung brennbarer Stoffe sollte durch Auswahl nichtbrennbarer, nichtspröder Werkstoffe, Verwendung druckgeprüfter nahtloser Rohre, Vermeidung von Verschraubungen, Flanschverbindungen mit Vor- und Rücksprung, Ausführung mit Doppel- oder Schutzrohr sowie durch Auslegung, konstruktive Ausführung und Qualitätssicherung weitgehend ausgeschlossen werden.
- Eventuellen Lecks ist durch gezielte Lecklagererkennung und -ableitung, Isolierung benachbarter heißer Teile und ggf. durch stationäre Löschanlagen zu begegnen.
- Zum Schutz des Reaktorsicherheitsbehälters sind größere Brandlasten in unmittelbarer Nähe der Wandung sowie im Bereich von Kabel-, Rohr- und Lüftungskanaldurchführungen zu vermeiden. Schleusenbereiche sind grundsätzlich von Brandlasten freizuhalten; für Schleusenantriebe sind mindestens schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten zu verwenden.

- grundsätzliche Verwendung nichtbrennbarer Betriebsstoffe, ausgenommen aus betrieblichen Gründen unvermeidbare brennbare Stoffe
- Verwendung schwerentflammbarer Steuerflüssigkeiten
- grundsätzliche Verwendung von halogenfreien Sonderkabeln im Sicherheitsbehälter, ausgenommen bei besonderen elektrischen oder mechanischen Anforderungen.

Detaillierte Brandverhütungsmaßnahmen an maschinen- und elektrotechnischen Anlagen werden in KTA 2101.3 /3/ vorgeschrieben. Einige wesentliche Aussagen seien hier zusammengefaßt:

- Für Rohrleitungen, Behälter, Apparate und Armaturen, die brennbare Stoffe enthalten oder sicherheitstechnisch wichtig sind, sind grundsätzlich nichtbrennbare Werkstoffe zu verwenden; bei unvermeidbaren brennbaren Werkstoffen ist eine Brandausbreitung durch andere Maßnahmen zu verhindern.
- Die Freisetzung brennbarer Stoffe sollte durch Auswahl nichtbrennbarer, nichtspröder Werkstoffe, Verwendung druckgeprüfter nahtloser Rohre, Vermeidung von Verschraubungen, Flanschverbindungen mit Vor- und Rücksprung, Ausführung mit Doppel- oder Schutzrohr sowie durch Auslegung, konstruktive Ausführung und Qualitätssicherung weitgehend ausgeschlossen werden.
- Eventuellen Lecks ist durch gezielte Lecklagererkennung und -ableitung, Isolierung benachbarter heißer Teile und ggf. durch stationäre Löschanlagen zu begegnen.
- Zum Schutz des Reaktorsicherheitsbehälters sind größere Brandlasten in unmittelbarer Nähe der Wandung sowie im Bereich von Kabel-, Rohr- und Lüftungskanaldurchführungen zu vermeiden. Schleusenbereiche sind grundsätzlich von Brandlasten freizuhalten; für Schleusenantriebe sind mindestens schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten zu verwenden.

- Im Bereich der Hauptkühlmittelpumpen sind die Ölbehälter mit Niveauüberwachung, Auffangwanne und Lecklagenanzeige zu versehen; unterhalb der Pumpen sind Ölauffangeinrichtungen einzubauen. Pumpenlager und Lageröl sind zu überwachen. In ähnlicher Weise sind andere sicherheitstechnisch wichtige oder brennbare Stoffe führende Pumpen, Gebläse oder Verdichter sowie Turbinen zu überwachen. Bei Turbinen sind außerdem schwerentflammbare Steuerflüssigkeiten zu verwenden und Reglergestelle mit Abstand vom Turbosatz aufzustellen.
- Bei Notstromerzeugungsanlagen mit Diesellaggregaten sind Leckagen in Auffangbehälter abzuleiten und anzuzeigen. Das Auftreffen von Kraftstoff auf heiße Teile ist durch Doppelrohre, Abdeckungen u.ä. zu verhindern; Abgasstutzen und Turboladergehäuse sind zu kühlen. Für Kraftstoff, Schmier- und Lageröl sind die oben angegebenen Leckagekontrollen vorzusehen.
- Dämmstoffe, Verkleidungen und Beschichtungen müssen aus nichtbrennbaren Rohmaterialien gefertigt sein und im eingebauten Zustand einen möglichst geringen brennbaren Anteil haben. Sie sind durch Hartmantel, Folien u.ä. gegen Eindringen von Öl zu schützen. Beschichtungen sollen mindestens schwerentflammbar nach DIN 4102 T. 1 /6/ sein.
- Radioaktive Abfälle dürfen nicht mit anderen brennbaren Abfällen verarbeitet, gesammelt oder gelagert werden.
- Hinsichtlich der Brandverhütung bei elektrotechnischen Betriebseinrichtungen gelten die VDE-Anforderungen. Bei größeren Hochspannungsmotoren ist eine Überwachung der Wicklungstemperaturen, der Lagertemperatur und des Lageröls erforderlich.

- Bei Turbogeneratoren wird die Isolierstoffklasse B und die Überwachung hinsichtlich Kühlkreislauf, Dichtölkreislauf sowie Lageröl gefordert. Kabel und Leitungen sind grundsätzlich getrennt von warmgehenden oder brennbaren Medien führenden Rohrleitungen zu verlegen. Bereichsweise wird der Einsatz sogen. FRNC-Kabel vorgesehen und ggf. vorgeschrieben.

In KTA 2102 /4/ werden folgende speziellen Brandverhütungsmaßnahmen für Rettungswege gefordert:

Fußböden, Verkleidungen, Dämmstoffe sowie Füllstoffe für Dehnfugen in gesicherten Fluren müssen aus nichtbrennbaren Stoffen bestehen. Treppen müssen aus nichtbrennbaren Stoffen bestehen. Einbauten und sonstige Gegenstände, die dem Betrieb oder der Brandbekämpfung dienen, müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen gemäß DIN 4102 T. 1 /6/ bestehen. Elektrische Leitungen und Kabel müssen flammenwidrig umhüllt sein.

### Branderkennung

Zur Branderkennung werden in KTA 2101.2 /2/ folgende Maßnahmen vom Grundsatz her vorgeschrieben:

- automatische Brandmeldeanlagen in Bereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen
- Auslegung der Brandmeldeanlage ggf. auch gegen Einwirkungen von innen und außen, sofern im Brandfall eine Brandbekämpfung aus sicherheitstechnischen Gründen notwendig ist
- Anordnung der Anzeige- und Bedienungseinrichtungen im Wartebereich sowie mindestens einer Sammelmeldung der Brandmeldeanlagen im Sichtbereich des Wartepersonals

- Bereithalten von Plänen und Anweisungen für das Verhalten bei Brandmeldungen und Störungen der Brandmeldeanlagen im Wartebereich.

Sehr detailliert sind wiederum die Anforderungen in KTA 2101.3 /3/. Ziel ist es, durch automatische Brandmelder, Fernsehübertragung, Gasspürgeräte u.ä. Brände in der Entstehungsphase zu entdecken und zu melden. Mit automatischen Brandmeldeanlagen sind Raumbereiche zu überwachen, in denen folgende Gesichtspunkte erfüllt sind:

- Brandlast
- Brandverhalten (Flammenausbreitung, Rauchentwicklung)
- sicherheitstechnische Bedeutung von Komponenten
- Personenschutz
- Auslösekriterien für Brandschutzklappen, Feuerschutzabschlüsse und ortsfeste Löschanlagen.

Hierzu zählen insbesondere Räume für Prozeßrechner, Elektronikschränke, Rangierverteiler, Zählertafeln, Schutzschränke, Meßumformer, Schaltanlagen, die Zentrale der Fernsprechanlagen sowie

Haupt- und Nebenräume mit brennbaren Stoffen (Papier, Zeichnungen, Flüssigkeiten usw.), Kabelkeller, Kabelkanäle, Kabelschächte, Kabelmassierungen, Gleich- und Wechseleinrichterräume, Wartebereiche hinter der Bedienungsfront, Transformatorräume, Batterieräume, und

Räume für maschinentechnische Komponenten, die brennbare Stoffe enthalten oder in deren Nähe brennbare Stoffe gelagert sind, wie z.B.: Reaktorsicherheitsbehälter, Bereich der Hauptkühlmittelpumpen und Ölbehälterräume und Räume für Notstromerzeugungsanlagen mit Dieselaggregaten, sowie das Brennelementtrockenlager.

Die Brandmeldeanlagen sind in Anlagenbezirken mit Sicherheitseinrichtungen und in Kontrollbereichen hinreichend zuverlässig (z.B. redundant) unter Berücksichtigung der VDE-Bestimmungen auszuführen. Sie müssen betriebsbewährt oder nachweislich geeignet sein und aus miteinander verträglichen Bestandteilen bestehen. Die Richtlinien des VdS für automatische Brandmeldeanlagen sind zu berücksichtigen.

Brandmelder sind so zu Meldergruppen zusammenzufassen, daß die Lage des Brandherdes sofort erkennbar ist. Eine Meldergruppe soll sich nicht über mehrere F 90-A-abgetrennte Bereiche und in der Regel nicht über mehrere Geschosse erstrecken. Für Zwischenböden, Zwischendecken sowie Klima- und Lüftungsanlagen sind eigene Meldergruppen zu bilden; Druckknopfmelder sind in eigenen Meldergruppen mit max. 10 Meldern zusammenzufassen. Bei Brandabschnitten mit mehreren Lüftungsbereichen muß je Lüftungsbereich eine Meldergruppe vorhanden sein. Bei Räumen mit ortsfesten Löschanlagen und erschwerter Brandfeststellung vor Ort sind jedem Löschbereich zwei Meldergruppen zuzuordnen, von denen jede ausreichende Überwachung sicherstellt. Zur Überwachung des Lagers für unbestrahlte Brennelemente ist eine Meldergruppe mit mindestens zwei Brandmeldern vorzusehen, die unterschiedliche Brandkenngrößen erfassen.

Die Anzeigen- und Bedienungseinrichtungen der Brandmeldezentralen sind in oder in der Nähe der Warte zu installieren, bei einer Brandmeldezentrale in der Notsteuerstelle auch dort. Bei Anordnung von Brandmeldezentrale und Anzeigen- und Bedienungseinrichtungen in getrennten Räumen sind die Verbindungsleitungen zu überwachen. Brandmeldungen müssen in Sichtbereichen des Wartenpersonals angezeigt werden, ebenso Sammelmeldungen der Brandmeldeanlagen. Sind Individualanzeigen von Meldern nicht einsehbar, müssen leicht einsehbare Parallelanzeigen vorgesehen werden.

Die Melder sind so anzuordnen, daß sie die Brandkenngrößen auch unter Einfluß örtlicher Störungen erkennen lassen. Zur Brandfrüherkennung sind vorwiegend Ionisations-Rauchmelder mit veränderbarer Empfindlichkeit einzusetzen. Zur Überwachung von Kabelwegen sind optische Rauchmelder und Ionisations-Rauchmelder (in einer gemeinsamen Meldergruppe) gemischt anzuordnen. Vor und nach Filterbänken für Aktivkohle sind Rauchmelder und Temperaturwächter zu installieren. Wo mit hoher Wärmeentwicklung oder offener Flamme zu rechnen ist, dürfen Flammenmelder oder Thermodifferential-/Maximalmelder verwendet werden. Im Kontrollbereich müssen die Melder mit der maximalen Ortsdosisleistung verträglich sein.

Die Brandmeldeanlage ist standort- und einbauortspezifisch erdbebensicher auszulegen (derzeitiger Vorschlag: gegen Sicherheitserdbeben). Der Funktionsnachweis für die Brandmeldezentrale und die einzelnen Brandmeldertypen ist zu erbringen. Zur Auswahl der geeigneten Melder sind die Einsatzbedingungen des bestimmungsgemäßen Betriebes für die einzelnen Gebäudeteile anzugeben. Zusätzliche Anforderungen bei Störfällen mit Umgebungsbedingungen sind zu beachten. Die Eignung unter den jeweiligen Einsatzbedingungen ist durch Typenprüfung nachzuweisen.

In KTA 2102 /4/ werden keine weitergehenden Anforderungen bezüglich Branderkennung gestellt.

### Brandbekämpfung

In KTA 2101.1 /2/ sind folgende grundsätzlichen Regelungen zur Brandbekämpfung enthalten:

- Vorsehen ausreichender Flächen zur Vorbereitung des Einsatzes der Feuerwehr nach DIN 14090 /7/ sowie Sicherstel-

- lung von Zufahrten, Zugängen und Angriffswegen
- Einbau ortsfester Feuerlöschanlagen in Räumen mit wesentlichen Brandlasten, unzureichender Rauch- und Wärmeabfuhr oder hoher Ortsdosisleistung
- automatische Auslösung der Löschanlagen, wenn keine schnelle fernbediente oder örtlich manuelle Auslösung sichergestellt ist
- Auslegung der Feuerlöschanlagen so, daß sie weder bei Anforderung noch bei Störung oder Fehlbedienung sicherheitstechnisch wichtige Systeme beeinträchtigen, ggf. Auslegung auch für Einwirkungen von innen und außen, falls eine Brandbekämpfung im Brandfall sicherheitstechnisch notwendig ist
- Vorkehrungen zur Ableitung von Löschwasser, aus dem Kontrollbereich nur kontrolliert
- Errichten eines vom Brauchwassernetz unabhängigen Löschwassersystems nach den einschlägigen Vorschriften, z.B. DIN 14210 /8/ und DIN 14220 /9/ mit Einspeisung durch Feuerlöschpumpen oder Hochbehälter
- Verlegen einer unterteilbaren Löschwasser-Ringleitung, aus der auch bei Bruch an beliebiger Stelle jedes Gebäude ausreichend mit Löschwasser versorgt werden kann
- Anordnung von Überflurhydranten in der Nähe von Gebäudeeingängen und auf dem Gelände in  $\leq 60$  m Abstand
- Ausrüstung der Gebäude mit nassen Steigleitungen (ausgenommen natriumführende Systeme) und Wandhydranten, von denen jeder Brandherd mit einem Löschwasserstrahl erreicht werden kann
- Vorsehen redundanter, notstromgesicherter Feuerlöschpumpen und eines Druckhaltesystems
- baulicher Schutz oder räumliche Trennung von Feuerlöschpumpen, Hochbehälter oder Einspeiseleitung, so daß stets 100% der erforderlichen Fördermenge sichergestellt sind
- automatische Zuschaltung von Feuerlöschpumpen oder Hochbehältern bei Druckabfall im Löschwassersystem
- Einrichtung einer betrieblichen Feuerwehr mit Ausrüstung mindestens entsprechend der feuerwehrtechnischen und zu-

- sätzlichen technischen Beladung eines Löschgruppenfahrzeuges LF 16-TS gemäß DIN 14530 T. 8 /10/ sowie zusätzlich Löschmittel, Schläuchen, Beleuchtungsgeräten, Atemschutzgeräten für Langzeiteinsatz gemäß FwDV 7 /11/ und Strahlenschutzrüstung gemäß FwDV 9/2 /12/
- Stärke der betrieblichen Feuerwehr, so daß mindestens eine Mannschaft von 9 Personen (1/8 nach FwDV 4 /13/) verfügbar ist, wovon 2 Truppführer und 2 Truppmänner anwesend sein müssen
  - Leiter und Gruppenführer der betrieblichen Feuerwehr mindestens mit den Kenntnissen von Leiter und Gruppenführer einer Werkfeuerwehr
  - Alarmierung von im Brandschutz ausgebildetem Personal und öffentlichen Feuerwehren von der Warte aus auf Anweisung des Schichtleiters
  - Aufstellung von Feuerwehrplänen gemäß DIN 14095 T.1 /14/ zur Orientierung im Brandfall mit mindestens je 1 Exemplar auf der Warte, bei der Hauptpforte, bei der betrieblichen Feuerwehr und bei Brandschutzbeauftragten
  - Aufstellen von Feuerlöschern gemäß ASR (Arbeitsstätten-Richtlinie) 13/1.2 /15/ entlang der Rettungswege im Abstand  $\leq 40$  m.

Weitergehende Anforderungen in KTA 2101.3 /3/ betreffen vor allem

- Komponentenspezifische Brandbekämpfungsmaßnahmen
- Details zur Löschwasserversorgung
- Auswahl, Steuerung und Auslegung von Löscheinrichtungen
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen als Voraussetzung für eine wirksame Brandbekämpfung

Wesentlich erscheinen vor allem folgende Regelungen:

Der Löschwasserbedarf ist für die größte stationäre Löscheinrichtung und zusätzlich 1600 l/min über Hydranten festzulegen.

Es sind mindestens 3 notstromgesicherte Feuerlöschpumpen (3 x 50% Förderleistung) sowie ein Druckhaltersystem vorzusehen. Die Pumpen sind räumlich zu trennen oder so zu schützen, daß versagensauslösende Ereignisse nur eine Pumpe betreffen. Die Pumpen müssen bei Druckabfall automatisch zuschalten und außerdem von der Warte aus überwacht und bedient werden können.

Gebäude mit sicherheitstechnisch wichtigen Anlagen sind durch 2 räumlich getrennte Einspeisungen an die Kraftwerks-Ringleitung anzuschließen.

Für Bereiche, in denen Flüssigkeitsbrände auftreten können, sind Wandhydranten zusätzlich mit Schaumlöscheinrichtungen, Schaummittelextrakt, Zumischer und Schaumrohr für Schwer- oder Mittelschaum auszustatten.

Der Querschnitt der Ringleitung ist so zu bemessen, daß bei dem festgelegten Löschwasserbedarf ein Fließdruck von  $\geq 7$  bar an jeder Seite und an jeder Entnahmestelle bei Nennmenge im Fließdruck von  $\geq 2,5$  bar eingehalten wird. Die Ringleitung ist für PN/6 in mindestens DN 200 auszulegen.

Feuerlöschanlagen mit betriebsbewährten oder nachweislich geeigneten Bauteilen und Komponenten sind vorzusehen bei

- großen Brandlasten und
- erschwerter Zugänglichkeit oder
- leichter Entflammbarkeit oder
- unzureichender Rauch- und Wärmeabfuhr
- sowie bei normalen Brandlasten und
- sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen.

Als Löschanlagen werden je nach Löschbereich empfohlen

- Sprinkleranlagen als Naßanlagen oder vorgesteuerte Trockenanlagen
- Sprühwasser-Löschanlagen
- Gas-Löschanlagen als CO<sub>2</sub>- oder Halon-Löschanlagen
- Schaumlöschanlagen als Schwer- oder Leichtschaumanlagen.

Die Löschanlagen sind nach den entsprechenden VdS-Richtlinien unter Berücksichtigung von DIN-Normen auszuführen.

Für Löschanlagen sind Einrichtungen für Handauslösung vor Ort (sichere Auslösestelle) und ggf. Fernauslösung von der Warte einzubauen. Bei automatischer Auslösung sind Vorkehrungen gegen Fehlauflösungen zu treffen. Die erfolgte Auslösung ist auf der Warte anzuzeigen. Sämtliche Gebäude sind mit mobilen Feuerlöschern gemäß ASR 13/1,2 /15/ auszustatten, die möglichst mit Wandhydranten und Druckknopfmeldern zu Feuerlöschstationen zusammenzufassen sind.

Maschinelle Rauch- und Wärmeabzüge dürfen im Brandfall nur dann betrieben werden, wenn Frischluftzufuhr und Rauchgasabfuhr ins Freie sichergestellt sind. Zur Auslösung einer Umschaltung von Mischluft- oder Umluftbetrieb auf Frischluftbetrieb sind Rauchmeldeeinrichtungen an geeigneter Stelle einzubauen. In notwendigen Fluren und Treppenräumen ist eine automatische Inbetriebnahme maschineller Rauch- und Wärmeabzüge durch Branderkennungseinrichtungen sicherzustellen.

KTA 2102 /4/ enthält keine weitergehenden Regelungen zur Brandbekämpfung.

### Baulicher Brandschutz

In KTA 2101.1 /2/ werden folgende bauliche Brandschutzmaßnahmen behandelt:

- Bildung von Brandabschnitten und mindestens feuerbeständig abgetrennten Bereichen
- Schutz von druckführenden Behältern und Komponenten gegen Brandeinwirkung

- Trennung von redundanten Einrichtungen des Sicherheitssystems, so daß ein Brand auf eine Redundanz beschränkt bleibt.

Im einzelnen wird vorgeschrieben:

Die einzelnen baulichen Anlagen des Kernkraftwerks sind durch ausreichende Abstände oder durch ausreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile voneinander zu trennen. Innerhalb der Gebäude sind Brandabschnitte zu bilden, wobei systemtechnische Erfordernisse zu berücksichtigen sind. Bei Überschreitung vorgeschriebener Brandabschnittsgrößen oder unvollständiger Erfüllung von Brandschutzforderungen an Bauteile ist der erforderliche Brandschutz durch Ersatzmaßnahmen, z.B. bauliche Abtrennung von Brandlasten, objektbezogene Brandmeldung und ortsfeste Löschanlagen, sicherzustellen.

Wände und Decken von Brandabschnitten müssen ausreichend feuerwiderstandsfähig sein, wobei die Wände mindestens Brandwände nach DIN 4102 T.3 /6/, die Decken mindestens F90-A nach DIN 4102 T. 2 /6/ und die Abschlüsse von Öffnungen mindestens T 90 nach DIN 4102 T.5 /6/ sein müssen. Lüftungs- und Rohrleitungen, die Brandabschnitte oder brandschutztechnisch abgetrennte Bereiche überbrücken, müssen den brandschutztechnischen Anforderungen der abtrennenden Bauteile entsprechen. Durchbrüche für Kabel und Leitungen in abtrennenden Bauteilen sind gegen Rauchübertragung abzuschotten. Bei durchlüfteten Rohr- und Kabelkanälen mit brandschutztechnisch getrennten Abschnitten sind Brandschutzklappen oder Feuerschutzabschlüsse mit gleicher Brandschutzqualifikation wie die abtrennenden Bauteile zu verwenden.

Redundante Einrichtungen des Sicherheitssystems sind entweder durch ausreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile /6/ (mindestens F90-A nach DIN 4102 T.2 ) oder durch räumliche Trennung oder durch Kapselung von brennbaren Stoffen so zu

schützen, daß ein brandbedingter Ausfall mehrerer Redundanzen ausgeschlossen werden kann. Sofern eine brandschutztechnische Trennung zur Sicherstellung der im Brandfall erforderlichen Funktionsfähigkeit von Sicherheitseinrichtungen notwendig ist, sind die Standsicherheit der abtrennenden Wände und Decken sowie die im Einzelfall erforderliche Funktionsfähigkeit von Abschlüssen unter Berücksichtigung der Brandwirkungen sowie ggf. zusätzlicher sicherheitstechnischer Anforderungen nachzuweisen.

Für wesentliche Brandlasten (Kabelmassierungen, Öllagerung) sollen ausreichend feuerwiderstandsfähig abgetrennte Bereiche (mindestens F 90 A) vorgesehen werden.

Die Lüftungsanlagen von brandschutztechnisch getrennten Einrichtungen sind so auszuführen, daß bei einem Brand in einem Raumbereich die Einrichtungen des anderen Raumbereichs funktionsfähig bleiben. Bei brandschutztechnisch getrennten Bereichen sind auch die Trennungen in den Lüftungsanlagen sicherzustellen. Brandschutzklappen, die eine Rauchverschleppung verhindern sollen, müssen zusätzlich zur thermischen Auslösung auch in Verbindung mit einer Brandmeldeanlage automatisch oder vor Ort oder von der Warte aus von Hand ausgelöst werden können.

In KTA 2101.3 /3/ werden die allgemeinen Anforderungen der KTA 2101.1 /2/ komponenten-spezifisch weiter präzisiert. Erwähnenswert erscheinen folgende Regelungen:

Wenn zur Trennung von redundanten Einrichtungen des Sicherheitssystems keine Brandwände in Verbindung mit feuerbeständigen Decken vorhanden sind, ist der Nachweis zu führen, daß durch Ersatzmaßnahmen die Funktionsfähigkeit der Systeme unter Zugrundlegung der möglichen Brandwirkungen erhalten bleibt.

Die Integrität des Sicherheitsbehälters im Brandfall (Temperatur- und Druckerhöhung) ist nachzuweisen. Hierzu sind die lokalen und globalen Auswirkungen zu berücksichtigen. Solche Nachweise dürfen entfallen, wenn durch konstruktive Maßnahmen Brandbeanspruchungen ausgeschlossen werden können. Um eine Brandausbreitung durch Wärmeübergang auf brennbare Stoffe auf der anderen Seite des Sicherheitsbehälters zu vermeiden, sind geeignete Vorkehrungen wie z.B. Abstand, feuerbeständige Zwischenschichten, stationäre Löschanlagen, vorzusehen; als max. zulässiger lokaler Grenzwert bei Vorhandensein von brennbaren Stoffen ist 220°C auf der dem Feuer abgekehrten Seite anzunehmen.

Die einzelnen Stränge der Notstromdieselanlage sind voneinander durch Brandwände in Verbindung mit feuerbeständigen Decken zu trennen. Bei Vorhandensein von Dachlüftern und brennbaren Dämmstoffen sind die Brandwände mindestens 30 cm über Dach zu führen; der Abstand ungeschützter Öffnungen muß mindestens 5 cm betragen.

Transformatoren mit brennbarer Isolierflüssigkeit sind innerhalb von Gebäuden durch Brandwände F90 und gleichwertige Decken (F 90 A) von angrenzenden Räumen abzutrennen. Außerhalb von Gebäuden sind benachbarte Transformatoren durch Brandwände F90 mit 1,0 m oberem und 1,5 m seitlichem Überstand zu trennen.

Schaltanlagen und Leittechnik-Schränke von redundanten Sicherheitseinrichtungen müssen sich jeweils in getrennten Brandabschnitten befinden. Durch die Anordnung der Schaltanlage innerhalb eines Raumes oder durch Kühlung ist ein Funktionsausfall durch Übertragung von Brandwärme aus benachbarten Brandabschnitten zu verhindern.

Warte einschließlich Aufzeichnungs-, Dokumentations- und Aufenthaltsbereich und zugehöriger Kabelboden müssen in einem

eigenen Brandabschnitt untergebracht sein. Die Decke zwischen Warte und Kabelboden ist in F90 auszuführen; die Kabeldurchtrittstellen müssen mindestens F30 sein.

Die Batterieanlagen von redundanten Sicherheitseinrichtungen müssen sich in getrennten Brandabschnitten befinden. Die Gleichrichter und zugehörigen Schaltanlagen sind feuerbeständig von den Batterien zu trennen.

In Bezug auf die Rettungswege finden sich in KTA 2102 /4/ folgende Anforderungen an den baulichen Brandschutz:

Die gesicherten Flure und notwendigen Treppenräume sind durch bauliche Maßnahmen vor Brandeinwirkungen zu schützen. Die Wände und Decken der gesicherten Flure sowie die Türen in begehbare Räume müssen feuerbeständig sein. Die Wände und Decken notwendiger Treppenräume müssen feuerbeständig, die Wände in Gebäuden mit mehr als zwei Vollgeschossen so dick wie Brandwände sein. Öffnungen in diesen Wänden müssen mit Feuerschutzabschlüssen in feuerbeständiger Bauart versehen sein.

### Personenschutz

Die erforderlichen technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Personenschutz werden abdeckend in KTA 2102 /4/ behandelt. Sie dienen gleichzeitig der Schaffung gesicherter Angriffswege für die Brandbekämpfung.

Aufenthaltsräume und andere begehbare Räume müssen mindestens einen Ausgang in einen Flur, einen gesicherten Flur in einen notwendigen Treppenraum oder direkt ins Freie haben. Bei einer Grundfläche  $\geq 180 \text{ m}^2$  ist zusätzlich ein möglichst entgegenge-

setzt liegender Ausgang erforderlich, der über andere Räume in einen benachbarten Brandabschnitt führen darf. Begehbare Rohr- und Kabelkanäle von max. 100 m Länge müssen mindestens zwei Ausgänge oder Ausstiege ins Freie oder in benachbarte Brandabschnitte besitzen; bei längeren Kanälen sind Festlegungen im Einzelfall zu treffen. Die Fluchtweglänge von jeder Stelle eines Aufenthaltsraumes bis zu einem gesicherten Flur, notwendigen Treppenraum oder ins Freie darf höchstens 35 m betragen, bei anderen begehbaren Räumen höchstens 50 m.

Fluchtwege in begehbaren Räumen müssen grundsätzlich eine lichte Breite von  $\geq 1,10$  m und eine lichte Höhe von  $\geq 2,0$  m haben. In nur gelegentlich zur Bedienung oder Überwachung begangenen Abschnitten soll  $0,40 \times 1,80$  m, an Engstellen eine Höhe von  $1,40$  m nicht unterschritten werden. In begehbaren Rohr- und Kabelkanälen ist ein Mindestlichtraumprofil von  $0,80$  m x  $2,00$  m einzuhalten. Rettungswege in gesicherten Fluren sind mindestens  $1,50 \times 2,20$  m auszuführen. Die nutzbare Laufbreite von Treppen in Flucht- und Rettungswegen muß mindestens  $1,10$  m, die Podestbreite mindestens  $1,30$  m sein. Für die Auslegung von Wegbiegungen ist der Krankentransport mittels Einheitskrankentragen gemäß DIN 13024 (s.u.) zugrunde zulegen.

Türen und Ausstiegsklappen im Verlauf von Flucht- und Rettungswegen müssen in Fluchtrichtung in voller Breite geöffnet werden können; sie müssen auch eine Rettung von außen zulassen. Wenn sie der Anlagensicherung unterliegen, müssen sie von außen zu öffnen sein. Bei Türen und Ausstiegsklappen ist ein Mindestlichtraumprofil von  $0,60$  m x  $0,80$  m einzuhalten.

Die baulichen Brandschutzmaßnahmen an gesicherten Fluren und notwendigen Treppenträumen werden bereits oben behandelt.

In gesicherten Rettungswegen sind Einbauten und sonstige Gegenstände, die weder dem Betrieb noch der Brandbekämpfung dienen, unzulässig. Einbauten, die dem Betrieb und der Brandbekämpfung dienen, dürfen das Mindestlichtraumprofil nicht einschränken.

Zur Rauchfreihaltung der Rettungswege sind grundsätzlich mechanische oder durch Konvektion wirkende Rauch- und Wärmeabzugsanlagen einzubauen. In notwendigen Treppenräumen müssen grundsätzlich zwei Steuerstellen mit Stellungsanzeige vorhanden sein, eine davon am Ausgang ins Freie. Gesicherte Flure, die länger als 40 m sind, müssen durch selbst- und dichtschießende Türen in Abschnitte von etwa gleicher Länge  $\leq 30$  m unterteilt werden.

Rettungswege müssen einfach, deutlich und dauerhaft mit Hinweistafeln gemäß Unfallverhütungsvorschrift VBG 125 /16/ und DIN 4844 T. 2 /17/ gekennzeichnet sein. Die Kennzeichnung muß eindeutig in die Fluchtrichtung mit einem möglichst kurzen Weg in gesicherte Bereiche weisen. Sämtliche Flucht- und Rettungswege müssen mit einer Allgemeinbeleuchtung und einer unterbrechungsfreien Sicherheitsbeleuchtung gemäß § 7 ArbStättV /18/ ausgerüstet sein. Zur Orientierung sind zusätzlich Bodenmarkierungen sowie Orientierungstafeln an den Geschoßzugängen anzubringen.

Zur Information der Warte und Einleitung von Rettungsvorgängen sind Fernsprechnebenstellen in Aufenthaltsräumen, an Auslösestationen für Löschanlagen, in gesicherten Fluren und notwendigen Treppenräumen zu installieren, im Reaktorgebäude zusätzlich in Personenschleusen, Schleusenvorräumen, im Bereich der unteren Zugänge zu geschützten Treppenräumen sowie auf jeder Ebene in ca. 30 m Abstand.

Im Reaktorsicherheitsbehälter sind Schleusen nach KTA 3402 /19/ bei DWR 1300 MW mindestens 3 mit Schleusenvorräumen im

Reaktorsicherheitsbehälter einzubauen. Die Größe dieser Schleusen muß mindestens den Transport eines Verletzten mittels Einheits-Krankentrage nach DIN 13024 (7/68) zulassen. Mindestens zwei geschützte Treppenräume sind gleichmäßig über den Umfang verteilt anzuordnen und an je einen Schleusenvorraum anzuschließen. Die ungesicherten Rettungswege von der untersten Ebene sind an mindestens einen der geschützten Treppenräume anzuschließen und mit der Ebene der größeren Personenschleuse durch einen zweiten ungesicherten Rettungsweg zu verbinden. Im Revisionsfall, bei kaltem und drucklosem Reaktor, ist die Verriegelung der Schleusentüren von Personenschleusen aufzuheben. Alle Schleuseninnen- und Schleusenaußentüren der Personenschleusen sind im geöffneten Zustand zu halten.

Die Weglänge darf im Reaktorsicherheitsbehälter von beliebiger Stelle zu einem geschützten Treppenraum oder Schleusenvorraum höchstens 50 m Laufweglänge betragen. Die geschützten Treppenräume und Schleusenvorräume müssen eine Be- und Entlüftung erhalten, die nach dem Fluchtalarm bei Brand mindestens 15 Minuten wirksam bleibt. Zu Fluchtzwecken sind umluftunabhängige Atemschutzgeräte für die im Normalbetrieb im Sicherheitsbehälter maximal anwesenden Personen vorzusehen.

#### Organisatorische Maßnahmen

Folgende organisatorische Maßnahmen zur Sicherstellung des erforderlichen Brand- und Personenschutzes werden in KTA 2101.1 /2/ geregelt:

- Benennung eines Brandschutzbeauftragten, der der Betriebsleitung in einer dem Sicherheitsingenieur vergleichbaren Stellung zugeordnet ist und verantwortlich ist für
- Vorkehrungen zur Einhaltung der Brandverhütungsmaßnahmen
- Aufsicht über die betriebliche Feuerwehr
- Instandhaltung aller anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen
- regelmäßige Durchführung von Brandschutzübungen
- Zusammenarbeit mit den öffentlichen Feuerwehren
- Aufstellung und regelmäßige Überprüfung von Alarm- und Einsatzplänen
- Freihaltung von Rettungswegen und Flächen für die Feuerwehr
- Anweisung zur Brandverhütung, Brandbekämpfung sowie zum Verhalten im Brandfall.

Darüber hinaus werden in KTA 2102 /4/ spezielle organisatorische Maßnahmen zur Sicherstellung von Flucht und Rettung im Brandfall gefordert:

Das Betriebspersonal ist bei Neueinstellung und in mindestens jährlicher Wiederholung über die Alarmierung und Benutzung von Rettungswegen, Fernsprechnebenstellen, Krankentragen und Atemschutzgeräten zu unterweisen. In mindestens halbjährigen Abständen sind Räumungs-Alarmübungen durchzuführen. Fremdpersonal muß in gleichem Umfang unterrichtet werden, sofern seine Tätigkeit nicht unter Aufsicht einer anlagenkundigen Person ausgeführt wird.

Die Begehbarkeit der Rettungswege und die Funktion selbsttätig schießender Türen sind in maximal monatlichen Abständen, bei Revision täglich zu kontrollieren. Bei Gefahrenfällen muß eine zuverlässige Personenzählung sichergestellt werden.

### Brandschutz in Revisionsphasen

Die speziell auf die Revisionsphase bezogenen Brandschutzmaßnahmen werden in KTA 2101.1 /2/ nur sehr global gestreift.

Die baulichen und betrieblichen Brandschutzmaßnahmen sind darauf zu prüfen, ob sie im Hinblick auf die geänderten Betriebsverhältnisse während dieses Anlagenzustandes (abgeschalteter Reaktor, eventuelle zusätzliche oder in der Lage veränderte brennbare Stoffe, eventuelle Zündquellen bei Instandsetzungsarbeiten, erhöhter Personalbestand bei Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten) geändert oder ergänzt werden müssen.

Die üblicherweise während der Revisionsphase zusätzlich vorhandenen Brandlasten sind bei der Auswahl bautechnischer Brandschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Eventuell notwendig werdende Maßnahmen (insbesondere betriebliche Brandschutzmaßnahmen wie Brandwachen, Bereithalten von zusätzlichen Löschgeräten und Beschränkung zusätzlich eingebrachter Brandlasten) sind im Einzelfall festzulegen.

Die zusätzlichen Anforderungen der KTA 2102 /4/ im Hinblick auf den Personenschutz in der Revisionsphase wurden bereits im vorhergehenden Unterpunkt mitbehandelt; sie betreffen das Offenhalten der Schleusentüren des Sicherheitsbehälters (mit zeitweiser Einschränkung aus Strahlenschutzgründen bei der Handhabung von Brennelementen) sowie die tägliche Kontrolle der Rettungswege auf Begehbarkeit.

## Kontrollen und Prüfungen

In KTA 2101.1 /2/ werden unterschieden:

- Prüfungen vor Genehmigung zur Errichtung  
Hierzu gehören Brauchbarkeits-, Wirksamkeits- und Betriebssicherheitsprüfungen für Baustoffe, Bauteile, Anlagen und Einrichtungen, die dem Brandschutz dienen.
- Bauüberwachung  
Sie umfaßt die Überwachung der Herstellung von Baustoffen, Bauteilen, Anlagen und Einrichtungen, die baubegleitende Brauchbarkeitsüberwachung sowie die Übereinstimmung mit den geprüften Unterlagen.
- Prüfungen vor der ersten Inbetriebnahme  
Prüfung der genannten Baustoffe, Bauteile, Anlagen und Einrichtungen vor der ersten Inbetriebnahme des KKW auf Brauchbarkeit, Wirksamkeit und Betriebssicherheit sowie Prüfung auf Vollständigkeit der Brandschutzmaßnahmen, Wiederholung nach wesentlichen Instandsetzungsarbeiten und Änderungen.
- Wiederkehrende Prüfungen  
Wiederkehrende Prüfung der Anlagen, Einrichtung und Maßnahmen zum Brandschutz in angegebenen Mindestprüffristen mit Beseitigung aufgetretener Mängel und Protokollierung der Prüfergebnisse.

In KTA 2101.3 /3/ werden wahrscheinlich keine weitergehenden Anforderungen aufgenommen.

KTA 2102 /4/ regelt die bereits unter dem Gesichtspunkt "Personenschutz" aufgeführten mindestens monatlichen, in Re-

visionsphasen täglichen Kontrollen der Rettungswege auf Begehbarkeit und Funktionsfähigkeit selbsttätig schließender Türen.

### 2.3 VdS-Richtlinien

Die Richtlinien sind eine Kurzfassung der "Internationalen Richtlinien für den Brandschutz in Kernkraftwerken" der Nationalen Pools und Vereinigungen für die Versicherung von Kernrisiken (siehe Abschnitt 3.5) unter besonderer Beachtung der deutschen Verhältnisse.

Die Brandschutzmaßnahmen entsprechend den Erfordernissen eines umfassenden Versicherungsschutzes. Sie gehen daher über den Schutz der sicherheitstechnisch wichtigen Anlagen hinaus, um hohe Sachschäden und Betriebsunterbrechungen zu vermeiden. Besonderes Gewicht wird dabei einer automatischen Branderkennung und Brandbekämpfung beigemessen.

#### Brandverhütung

Um die Menge an brennbaren Stoffen gering zu halten, wird die Verwendung nichtbrennbarer oder schwerentflammbarer Betriebsstoffe empfohlen. Unvermeidbare brennbare Betriebsstoffe sind besonders zu sichern durch:

- bauliche Abtrennung von Ölbehältern und Schutz gegen Explosionseinwirkungen
- Aufstellen von H<sub>2</sub>-Vorratsbehältern und Füllsystem an brandschutztechnisch geschützter Stelle in einem belüfteten Lagerraum mit Vorrichtungen zur Leckageüberwachung, Auslaufsicherung und Verhinderung von Explosionen

- Schweißen von Leitungssystemen für brennbare Flüssigkeiten und Gase oder besondere Sicherung von Verschraubungen
- Verwendung von geprüften, nahtlosen Rohren mit Abnahmezeugnis für Drucksysteme und brandsichere Verlegung getrennt von anderen Leitungen
- Doppelrohrsysteme (oder vergleichbar sichere) für Steuerkreisläufe mit nicht schwerentflammbaren Hydraulikflüssigkeiten und besondere Sicherung von Dichtungen
- Leckageüberwachung der Lager von Dampfturbinen, Generatoren, größeren Motoren und Pumpen sowie des Steuersystems
- Leckageabgrenzung bei Vorräten an brennbaren Flüssigkeiten und Gasen
- Auffangen und Ableiten von Ölen, bei größeren Mengen in feuerbeständig abgetrennte Behälter.

Gebäude sind aus nichtbrennbaren Baustoffen nach / 6/ zu erstellen. Abgehängte Decken, Zwischenböden, Wandverkleidungen und ihre Befestigungen sowie Dämmstoffe sollen nichtbrennbar sein. Lüftungs- und Klimakanäle und freiverlegte Abflußrohre sollen aus nichtbrennbarem Material hergestellt werden. Fußböden sollen nichtbrennbar sein oder aus schwerentflammbarem unmittelbar auf den Beton oder Stein verlegten Material bestehen. Die Verwendung von Kunststoffen ist in Bereichen mit korrosionsgefährdeten Instrumenten und Einrichtungen zu beschränken; Einbauten sind aus nichtbrennbarem Material zu errichten.

#### Branderkennung

Brandmeldeanlagen müssen vom Verband der Sachversicherer anerkannt sein. Für Früherkennung eignen sich im allgemeinen Rauchmelder. Entsprechend den besonderen Betriebsgefahren können auch Wärme- oder Flammenmelder eingesetzt werden. Zur Vermeidung von Fehlalarmen bzw. Fehlauslösungen von Löschan-

lagen empfiehlt es sich, die Melder im Zwei-Schleifen-System anzuordnen.

Eine Raumüberwachung ist insbesondere für folgende Bereiche vorzusehen:

- Kabelkanäle, -schächte und -böden
- Rangierverteiler
- Schalt- und Notwarte
- EDV- und Instrumentenräume
- Schalt- und Relaisräume
- wichtige oder feuergefährdete, während des Betriebes nicht begehbare Räume.

Für eine Objektüberwachung kommen in Betracht:

- Turbogruppe und Ölversorgung
- Speisewasserpumpen
- Schalt- und Elektronikschränke
- Hilfskessel
- Notstrom-Dieselanlage
- Umformergruppen
- Filterkammern
- Abluftschächte.

Die Alarmmeldung muß an einer ständig besetzten Stelle einlaufen, z.B. zentrale Warte. Mindestens die Sammelmeldung muß auf dem Schaltpult angezeigt werden.

Über die Brandmeldeanlagen können verschiedene Funktionen gesteuert werden, wie z.B.

- Löschanlagen und Löschwasserversorgungspumpen
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen
- Klima- und Belüftungsanlage
- Brandschutzschieber

- Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen
- Filterabschlußklappen
- Einrichtungen zur zeitfolgerichtigen Registrierung von Meldungen der Brandschutzanlagen
- Alarmübermittlungsapparat mit Überwachungsanzeige für selektive, vorbereitete Alarmierung von eigenen Lösch- und Hilfskräften, Pförtner oder von fremden Feuerwehren usw.

Die ferngesteuerten Einrichtungen müssen auch von Hand an den Einsatzorten von sicherer Stelle aus bedienbar sein. Die Funktionen sind auf dem Tableau mit anzuzeigen.

An Fluchtwegen und an besonders gefährdeten Anlageteilen sind zusätzliche Druckknopf-Feuermelder anzubringen.

### Brandbekämpfung

Das Löschwasserversorgungssystem ist so auszulegen, daß es unabhängig von der normalen Stromversorgung wirksam ist. Die Wasserversorgung muß aus einer unerschöpflichen und frostsicheren Quelle erfolgen. Sofern dies nicht möglich ist, ist mindestens eine Wasserlieferung von 3200 l/min über eine Zeitdauer von 90 min anderweitig sicherzustellen.

Auf dem Gelände ist um die Gebäude ein Löschwasser-Ringsystem mit mindestens 150 mm Nennweite (DN 150) zu errichten. Im Abstand von 60 bis 80 m sind Überflurhydranten vorzusehen.

In den Gebäuden sind zusätzlich Wandhydranten mit angeschlossenen Schläuchen und Mehrzweckstrahlrohren nach DIN 14 461 so zu installieren, daß jeder Punkt des Betriebes mit mindestens einem Strahlrohr erreicht werden kann. Die Wandhydranten sind so anzuordnen, daß sie im Brandfall sicher erreicht werden können. Günstig sind formbeständige Schläuche. Die

Pumpen sind so anzulegen, daß am Ringsystem ein Mindestfließdruck von 7 bar, an höchster Entnahmestelle am Strahlrohr noch ein Druck von 2,5 bar gewährleistet ist.

Amtlich zugelassene und den besonderen Betriebsgefahren entsprechende Feuerlöscher müssen in ausreichender Anzahl an gut sichtbarer und stets leicht zugänglicher Stelle angebracht sein. Die "Sicherheitsregeln für die Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern" - Form 2001 (Sachverband) - sind zu beachten.

Die besonders gefährdeten und brandbelasteten Bereiche sind durch vom Verband der Sachversicherer anerkannte Löschanlagen zu schützen. Als Löschanlagen kommen infrage:

- Sprinkleranlage als Naß- oder vorgesteuerte Trockenanlage
- Sprühwasser-Löschanlage
- CO<sub>2</sub>-Löschanlage.

Solange nicht die örtlichen Verhältnisse eine andere Wahl des Löschsyste.ms erforderlich machen, sind die Objekte wie folgt zu schützen:

- Sprinkleranlage als Naßanlage für Bereiche unter der Turbogruppe, Gebäude mit ungeschützten Tragwerken aus Stahl, Lagerräume und Werkstätten, Zwischendeckbereiche, sofern brennbare Stoffe in erheblichen Mengen vorhanden sind
- Sprinkleranlage als vorgesteuerte Trockenanlage für Warten, EDV-Räumen (auch Prozeßrechner), sofern kein CO<sub>2</sub>-Raumschutz vorhanden ist, Anlagen, die für die Sicherheit wichtig sind, wie Räume für Notkühlpumpen, Notstromdieselaggregate usw., wobei die Luftzufuhr für die Diesel nicht aus dem Raum angesogen, sondern über geschlossene Leitungen von außen zugeführt werden muß
- Sprühwasser-Löschanlagen für Kabelkanäle, -schächte und -böden, Turbinenöl-Aufbereitungsraum, Räume für Ölbehälter,

hydraulisch gesteuerte Ventile in Dampfleitungen, wie Schnellschluß-, Steuer-, Umleit- und Entnahmeventile, einschließlich der benachbarten Druckleitungen (sofern brennbares Hydrauliköl verwendet wird), die Turbinen- und Generator-Lager, die dampfturbinengetriebenen Schmierölpumpen, ölgefüllte Transformatoren (die Leistungs-, Eigenbedarfs-, Hilfs- und Notstrom-Transformatoren), die durch Dampfturbinen angetriebenen Pumpen des Kernnotkühlsystems, die dampfgetriebenen Pumpen und Gebläse.

Bei der Bemessung der Bodenabläufe und Pumpensümpfe in Räumen mit Sprinkleranlagen oder Sprühwasser-Löschanlagen ist die mögliche Löschwassermenge zu berücksichtigen.

- CO<sub>2</sub>-Löschanlage als Raumschutz für Kabelböden, sofern eine Sprinklerung nicht möglich ist, bzw. als Objektschutz für Notstrom-Dieselanlage, primäre Kühlmittelpumpen bzw. Kühlgasgebläse einschl. Antriebe, Umformergruppen, Schalt-schränke.

Klima- und Belüftungsanlagen sollen vor oder spätestens mit dem Ausströmen des Löschmittels abgeschaltet werden.

Entsprechend der Betriebsgröße und den örtlichen Gegebenheiten ist eine Werkfeuerwehr einzurichten. Ausrüstung und Ausbildung sind entsprechend den Grundsätzen für Werkfeuerwehren sicherzustellen (siehe Landesgesetze über den Feuer-schutz).

Alarmpläne und Feuerwehreinsatzpläne sind aufzustellen und mit der zuständigen öffentlichen Feuerwehr abzustimmen.

Zur Abfuhr von Brandrauch und Wärme, insbesondere der korrosiven Brandgase, sind in den Dächern der Brandabschnitte Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) vorzusehen. Die Bemessung der aerodynamisch freien Fläche ergibt sich aus den "Richtlinien für Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, Planung und

Einbau" - (s.u.) - . Bei automatischen Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln dürfen die RWA nur von Hand betätigt werden.

Räume, bei denen der Einbau einer RWA nicht möglich ist, wie Rangierverteiler, und nicht durch Sprühwasser-Löschanlagen geschützte Kabelkanäle und -böden sind mit mechanischen Entqualmungseinrichtungen auszustatten. Die Anforderungen an die Auslösung und Funktionsbereitschaft müssen im Brandfall denen einer RWA entsprechen.

#### Baulicher Brandschutz

Die Gebäude sollen eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten haben (F 90 nach DIN 4102 1/6/).

Die tragende Konstruktion unterhalb des Maschinenhausflurs ist in F 180 zu erstellen. Kraftwerksanlagen sind in Brandabschnitte zu unterteilen.

Durch einen Abstand von mindestens 15 m untereinander und von anderen Gebäuden oder durch Brandwände der Feuerwiderstandsklasse F 180 sind folgende Gebäude voneinander zu trennen:

- Reaktorgebäude
- Maschinenhaus
- Betriebsgebäude
- Hilfsanlagengebäude
- Aufbereitungsgebäude

Durch Brandwände F 180 sind mindestens folgende Betriebsbereiche abzutrennen:

- jeder Turbosatz bis 600 MW unterhalb des Maschinenhausflures

- jeder Turbosatz über je 600 MW vollständig
- die Schmierölaufbereitungsräume mit Förder-, Verteil- und Regeneriereinrichtung und etwaige Zwischentanks
- die Haupttanks der Schmierölversorgung (Turbinenölbehälter)
- die Notstromversorgung und die Notwarte
- die Treibstofflagerräume (Hilfsanlagenräume)
- die Systeme, die aus Sicherheitsgründen redundant ausgeführt sein müssen; diese müssen auch gegen Explosion aus dem Betrieb geschützt werden.

Innerhalb der Betriebsgebäude sind folgende Bereiche durch Wände und Decken mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten (F 90 nach DIN 4102) abzutrennen:

- Warten
- EDV -Raum
- Instrumentenraum
- Elektroschaltraum
- Relaisraum
- Rangierverteiler
- Eigenbedarfsanlage
- Gas- und kleinere Ölversorgungsanlagen
- Kabelkanäle, -schächte und -böden
- Hilfskessel, ausgenommen Elektrokessel.

Aus Sicherheitsgründen redundant ausgeführte Systeme sind durch Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten (F 90 nach DIN 4102) voneinander abzutrennen oder so weit voneinander entfernt zu installieren, daß im Brandfall die Funktionsfähigkeit der Gesamtanlage erhalten bleibt. Steuer- und Nachrichtenkabel sind von Leistungskabeln durch Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten (F 90 nach DIN 4102) getrennt zu verlegen. Große Elektroräume, wie Elektronik- und Rangierverteileräume sind mit F 90-Wänden zu unterteilen.

Kabelkanäle sind in kleinere Brandabschnitte von etwa 60 m Länge durch F 90-Bauteile zu unterteilen. Abgehende Kanäle und Schächte sind in gleicher Weise abzutrennen. An den Enden soll eine Abschottung vorgenommen werden.

Kabelbündel (Steuer-, Nachrichten- und Leistungskabel) dürfen nicht in einem gemeinsamen Kanal oder Schacht mit Öl-, Gas- oder Dampfleitungen verlegt werden. Freiliegende Kabelbündel in Gebäuden sind gegen betriebsbedingt mögliche Gefährdungen zu schützen. Für die Feuerwehr sind leicht erreichbare Zugänge zu den Kabelanlagen zu schaffen.

Durchgänge in Brandwänden der Feuerwiderstandsklasse F 180 sind durch Brandschutztüren der gleichen Feuerwiderstandsdauer oder durch Schleusen mit zwei hintereinander liegenden T 90-Türen zu schützen.

Kabeldurchbrüche durch Decken und Wände mit einer nach diesen Richtlinien erforderlichen Feuerwiderstandsklasse sind mit bauaufsichtlich zugelassenen Abschottungen der gleichen Feuerwiderstandsklasse zu sichern. Bei Kabeldurchtritten sind die Kabelpritschen nicht als durchgehende Träger auszubilden. Im übrigen sind die "Richtlinien für den Brandschutz bei freiliegenden Kabelbündeln innerhalb von Gebäuden sowie in Kabelkanälen und -schächten - Form 2013 Sachverband-" zu beachten.

Durchbrüche für Rohrleitungen in den nach diesen Richtlinien erforderlichen Wänden und Decken sind bis an die Rohrwandung mit Beton zu verfüllen. Rohre, die ihre Eigenbeweglichkeit behalten müssen, sind in Mantelrohre mit beidseitigem Überstand von je 0,5 m zu verlegen. Der Ringraum ist mit Asbestwolle oder dergleichen zu verstopfen.

Lüftungsleitungen und Klimakanäle sind im Bereich von Brandwänden und sonstigen Wänden und Decken der Feuerwiderstands-

klasse F 90, soweit sie nach diesen Richtlinien erforderlich sind, durch selbsttätig wirkende Brandschutzklappen K 90 zu sichern. Lüftungsleitungen der Feuerwiderstandsklasse L 90 benötigen keine Brandschutzklappen, wenn sie nach dem "Musterentwurf der bauaufsichtlichen Richtlinien über die brandschutztechnischen Anforderungen an Lüftungsleitungen in Gebäuden - Fassung Februar 1977 -" errichtet werden.

Rauchabzugskanäle sind bei Führung durch andere Brandabschnitte entsprechend der Feuerwiderstandsdauer der Brandabschnitte auszuführen.

Dehnungsfugen sind mit nichtbrennbaren Stoffen abzudichten und zu verkleiden.

#### Organisatorische Maßnahmen

Für jedes Kraftwerk ist bereits für die Planungsphase eine ausgebildete Brandschutz-Fachkraft zu benennen.

Sie ist zur Bauplanung hinzuzuziehen. Ihr obliegt die Planung der betrieblichen Brandschutzmaßnahmen und die regelmäßige Kontrolle der Brandschutzeinrichtungen sowie der Kontakt zu den öffentlichen Feuerwehren, die Aufstellung einer Brandschutzordnung, der Alarmpläne und der Feuerwehreinsatzpläne.

Sie ist zuständig für die Genehmigung von brandgefährlichen Arbeiten und die Einhaltung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen, für Ordnung und Sauberkeit im Betrieb sowie für die Ausbildung der Mitarbeiter im Brandschutz. Sie veranlaßt die Kennzeichnung der Angriffs- und Rettungswege.

Alle Brandschutzmaßnahmen sind mit dem Versicherer abzustimmen.

### 3. INTERNATIONALE VORSCHRIFTEN UND RICHTLINIEN

#### 3.1 Übersicht

In diesem Abschnitt wird über den internationalen Stand der Erkenntnisse zum Brandschutz in KKW berichtet. Dabei werden als Beispiel für ausländische Regelungen amerikanische und schwedische Vorschriften unter den Gesichtspunkten gemäß Abschnitt 1 zusammengefaßt. Als internationale Richtlinien werden der kürzlich erschienene IAEA-Safety Guide und der Entwurf der EG Kommission "Brandschutz in LWR Reaktoren in EG Staaten und den USA" sowie die Richtlinien der Nationalen Pools und Vereinigungen für die Versicherung von Kernrisiken behandelt. Im Hinblick auf den Umfang der erwähnten Vorschriften und Richtlinien sind die folgenden Ausführungen jeweils auf die wesentlichen Punkte beschränkt.

#### 3.2 US-Regelungen und schwedische Empfehlungen

Als grundlegende kernkraftwerksspezifische Brandschutzregelungen werden im folgenden behandelt:

- Federal Regulations 10 CFR 50  
Fire Protection Program for Operating Nuclear Power Plants /21/
- USNRC Regulatory Guide 1.120  
Fire Protection Guidelines for Nuclear Power Plants /22/
- Branch Technical Position CMEB 9.5-1 Guidelines for fire protection for nuclear power plants /23/
- ANSI/ANS-59.4-1979  
Generic requirements for lightwater nuclear power plant fire protection /24/

- ANS Standard N 18.10  
Fire Protection Criteria for Safety-Related Systems,  
Structures and Equipment for Water-Cooled and -Moderated  
Nuclear Power Generating Plants /25/.
  
- Swedish Fire Protection Association  
Recommendations regarding fire protection at nuclear  
power plants /26/

Die allgemeinen Entwurfskriterien für Kernkraftwerke sind in Appendix A zu 10 CFR 50 niedergelegt. Kriterium 3 "Fire protection" besagt sinngemäß: "Sicherheitstechnisch wichtige Bauteile, Systeme und Komponenten sollen so ausgelegt und angeordnet werden, daß unter Einbeziehung anderer Sicherheitsanforderungen die Wahrscheinlichkeit und Auswirkung von Bränden und Explosionen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Nichtbrennbare und hitzebeständige Materialien sind überall in der Anlage zu verwenden, wo es praktisch möglich ist, besonders aber in solchen Bereichen wie der Sicherheitshülle und der Schaltwarte. Ausreichende und geeignete Branderkennungs- und Brandbekämpfungseinrichtungen sind vorzusehen und so auszulegen, daß Brandschäden an sicherheitstechnisch wichtigen Bauteilen, Systemen und Komponenten auf ein Mindestmaß beschränkt bleiben. Brandbekämpfungseinrichtungen sind so auszulegen, daß ihr Ausfall, Bruch oder ihre Fehlauslösung nicht die Sicherheitsfunktion dieser Bauteile, Systeme und Komponenten beeinträchtigt."

Zur Erfüllung dieses Kriteriums werden auch Brandschutzmaßnahmen für ältere Kraftwerke (vor Januar 1979 in Betrieb) in Appendix R zu 10 CFR 50 "Fire Protection Program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to January 1, 1979" gefordert. Das Brandschutzprogramm soll das Schutzkonzept für sicherheitstechnisch wichtige Brandabschnitte darlegen.

Nach Reg. Guide 1.120 /22/ muß trotz aller bei der Auslegung getroffenen Maßnahmen immer mit Bränden gerechnet werden. Daher sind stationäre Brandmelde- und Feuerlöschanlagen in ausreichender Leistungsfähigkeit und Kapazität dort einzubauen, wo potentielle Brandschäden ein sicheres Abschalten der Anlage gefährden können. Zusätzlich sind Einrichtungen zur manuellen Brandbekämpfung in der ganzen Anlage vorzusehen, mit denen ordnungsgemäß ausgebildete Feuerwehrleute den Umfang von Bränden eindämmen können. Ein einziger Ausfall im Brandschutzsystem oder den Versorgungseinrichtungen darf nicht den Brandschutz beeinträchtigen; daher sind, z.B. der Pumpenteil der Löschwasserversorgung sowie die Stromversorgung und Bedienungselemente redundant auszulegen.

Im ANS-Standard N 18.10 /25/ werden spezielle Brandschutzvorkehrungen gefordert für:

- Reaktor-Schutzsystem
- Sicherheitssysteme, Teile des Reaktorsicherheitsbehälters und andere zur Beherrschung von Unfällen erforderliche Systeme
- Systeme, die radioaktives Inventar kontrollieren oder einschließen
- Hilfssysteme oder -einrichtungen zum Betrieb sicherheitstechnisch wichtiger Systeme.

In CMEB 9.5-1 /23/ und ANSI/ANS-59.4-1979 /24/ wird zudem eine Brandgefahrenanalyse (fire hazard analysis) für das gesamte Kraftwerk gefordert.

Die "Recommendations Regarding Fire Protection at Nuclear Power Plants" der Schwedischen Brandschutzvereinigung SBF /26/ sind als eine relativ frühe Brandschutzrichtlinie, die von den Grundsätzen her wegweisend war, zu betrachten. Bei der Planung des Brandschutzes sind danach folgende Grundsätze zu beachten:

- brennbare Stoffe minimieren, besonders in Bereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen
- mögliche Brandursachen ausschließen, u.a. Schutz der Beleuchtung und Explosionsschutz
- Flucht- und Angriffswege für die Brandbekämpfung vorsehen unter Beachtung der Risiken von Reaktorunfällen
- Bereiche mit Brandlast, deren Menge stationäre Löschanlagen nicht rechtfertigt, mit automatischen Brandmeldern versehen
- Wasserversorgung so auslegen, daß in jeder denkbaren Situation die Versorgung der stationären Löschanlagen und für die manuelle Brandbekämpfung sichergestellt ist
- Rauch- und Wärmeabzug unter Beachtung der Strahlengefährdung so vorsehen, daß eine für die Reaktorsicherheit notwendige Brandbekämpfung wirksam durchzuführen ist
- für eine wirkungsvolle und schnelle manuelle Brandbekämpfung Wandhydranten und tragbare Feuerlöscher vorsehen
- regelmäßige Übungen des Betriebspersonal in der Brandbekämpfung
- Planung aller Brandschutzmaßnahmen in Abstimmung mit öffentlicher Feuerwehr, mit den mit Reaktorsicherheit befaßten Behörden, mit Versicherungen und Brandschutzsachverständigen.

### Brandverhütung

Zur Brandverhütung enthält Appendix R von /21/ folgende Anforderungen:

- Identifizierung örtlicher Brandrisiken und geeigneter Schutzvorkehrungen,
- Identifizierung beweglicher Brandrisiken aus Normalbetrieb, Wartung, Instandsetzung und Revision,
- Administrative Kontrollen in sicherheitstechnisch wichtigen Bereichen zwecks Begrenzung der Verwendung und Handhabung brennbarer Güter, Lagerung nur in besonders feuergeschützten Bereichen,
- Kontrolle der Zündquellen durch zeitlich begrenzte Erlaubnis für Schweiß-, Schneid- und Schleifarbeiten,
- Kontrolle spezieller brennbarer Güter, wie Holz und Verpackungsmaterialien; Holz ist feuerhemmend zu behandeln, Verpackungsmaterial ist zu bewachen oder in Metallcontainern aufzubewahren,
- Ausrüstung der Kühlmittelpumpen mit einem Ölversorgungssystem, das so ausgelegt ist, daß Lecks oder Brüche nicht zu einem Brand während Normalbetrieb oder Auslegungsfällen führen.

Darüber hinaus sind in Reg. Guide 1.120 /22/ folgende Anlagenrichtlinien zur Brandverhütung enthalten:

- Teile von Innenwänden, Wärmedämmstoffe, Strahlenschutzstoffe, schallschluckende Materialien müssen nichtbrennbar oder von einer Landesprüfstelle als mindestens schwerentflammbar eingestuft sein,

- Dachkonstruktionen mit Metalldeckung und abgehängte Decken mit Aufhängungen müssen nichtbrennbar sein,
- Transformatoren in sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden müssen trocken ausgeführt oder mit nichtbrennbarer Flüssigkeit isoliert und gekühlt werden. Ölgekühlte Transformatoren müssen von sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden in 15 m Mindestentfernung aufgestellt und durch öffnungslose Wände mit 180 min Feuerwiderstandsdauer getrennt sein,
- Speicherung großer Gasmengen ist in sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden unzulässig,
- die Verwendung von Kunststoffen, insbesondere PVC oder Neoprene, ist auf ein Mindestmaß zu beschränken,
- in Kabeltrassen sind in höchstens 3 m Abstand Brandstopstellen vorzusehen.

Der ANS-Standard -59.4-1979 /24/ fordert speziell eine Minimierung von Kunststoffen im Bauwerk.

Nach CMEB 9.5-1 /23/ ist die Lagerung von Gasen in Bauwerksbereichen mit sicherheitstechnischen Einrichtungen verboten. Wasserstoffversorgungsleitungen sind erdbebensicher (class I) auszulegen.

In /26/ werden im Prinzip die gleichen o.g. Brandverhütungsmaßnahmen gefordert, allerdings sind diese weniger detailliert aufgeführt.

Branderkennung:

Nach 10 CFR 50, Appendix R /21/ sind automatische Branderkennungseinrichtungen dort zu installieren, wo ein Brand sicherheitstechnisch wichtige Systeme oder Komponenten gefährdet.

Gemäß /22, 23 und 24/ sind Brandmeldeeinrichtungen nach geltenden Normen auszuführen. Sie müssen akustischen und optischen Alarm auslösen und in der Schaltwarte anzeigen, so daß eine Lokalisierung des Brandes möglich ist. Brandmelder und Auslöseeinrichtungen sind an die Notstromversorgung anzuschließen. Brandmeldeanlagen sind u.a. in folgenden Anlagenbereichen vorzusehen:

- örtlich in der Primär- und Sekundär-Sicherheitshülle je nach festgestellter Brandgefahr: zusätzlich ein allgemeines Brandmeldesystem für die Sicherheitshülle mit Rauchmeldern im Umluftsystem,
- Rauch- und Wärmemelder in der Schaltwarte, in den Schaltschränken und Pulten, im Anlagenrechnerraum, in den Schaltanlagenräumen und im Bereich sicherheitstechnisch wichtiger Schalttafeln,
- Wasserstoffkonzentrationsmelder in den Räumen für Notstrombatterien,
- im Bereich für Notstrom-Dieselmotoren und sicherheitstechnisch wichtige Pumpen,
- im Lagerbereich für neue Brennstoffe, im Bereich des Brennelement-Lagerbeckens, im Gebäude für radioaktive Abfälle und in Dekontaminationsbereichen,

- in Archivbereichen,
- Rauch- und Wärmemelder in Lagerbereichen für trockene Ionenaustauscherharze.

In den schwedischen Empfehlungen /26/ wird vor allem eine frühzeitige Branderkennung gefordert. Kernkraftwerke müssen vollständig mit automatischen Einrichtungen zur Betriebsüberwachung und allgemeinen Beobachtung der verschiedenen Bereiche ausgerüstet werden. Fehleranzeigen müssen schnell zur ständig besetzten Warte weitergeleitet werden. Daher sollte jeder Bereich, in dem ein Feuer ausbrechen kann, mit automatischen Brandmeldern ausgerüstet werden. Die Anforderungen an Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Melder müssen extrem hoch sein und müssen den Spezifikationen der nationalen Brandschutzüberwachung und der Vereinigung der Sachversicherer genügen.

#### Brandbekämpfung:

10 CFR 50, Appendix R fordert automatische Feuerlöscheinrichtungen zum Schutz redundanter sicherheitstechnisch wichtiger Systeme und Komponenten. Außerdem muß eine Betriebsfeuerwehr jederzeit vor Ort sein.

Es sind zwei getrennte Löschwasserversorgungen mit Tank, Pumpe und Rohrleitung vorzusehen oder zwei getrennte Einspeisungen in einem oder mehreren Einlaufbauwerken aus einem unerschöpflichen Reservoir. Jede Versorgung soll den maximalen Wasserbedarf für die Löschwasserleitung gemäß Brand-Störfallanalyse über 2 Stunden sicherstellen.

Gemäß /23 und 24/ sind zwei durch Brandwände getrennte Feuerlöschpumpen mit je 100% Leistung (oder 3x 50%) erdbebensicher zu installieren. Beide Codes enthalten eine

Reihe weiterer Mindestanforderungen an das Löschwassersystem.

Zur manuellen Brandbekämpfung ist nach /22 und 23/ eine Betriebsfeuerwehr mit mindestens 5 Mann je Schicht aufzustellen. Der Leiter und mindestens 2 Mann müssen spezielle anlagentechnische und feuerwehrtechnische Ausbildung haben. Die Mindestausrüstung umfaßt persönliche Schutzgeräte, Kommunikationseinrichtungen, tragbare Beleuchtung, Entqualmungsgeräte und Feuerlöscher ; mindestens 10 umluftunabhängige Masken sind für das Löschpersonal vorzuhalten. Durch ein Übungsprogramm aus Ausbildungskursen und periodischen Instruktionen und Übungen in höchstens dreimonatigem Abstand ist die Schlagkraft zu gewährleisten. Hierfür sind Mindestanforderungen angegeben. In /22/ wird zusätzlich eine Beteiligung der örtlichen Feuerwehr an den Übungen empfohlen.

Zur Löschwasserversorgung in den Gebäuden sind auf allen Stockwerken Wandhydranten in höchstens 30 m Abstand aufzustellen.

Für Anlagenbereiche mit fest installierten Feuerlöschanlagen werden ausreichende Bodenabflüsse gefordert. Automatische Sprinkleranlagen und Steigleitungen sind einzeln an die unterirdische Ringleitung anzuschließen; innerhalb der Gebäude sind auch zweifach eingespeiste Sammelleitungen für mehrere Löschanlagen oder Steigleitungen möglich.

Im Sicherheitsbehälter sind stationäre automatische Löschanlagen z.B. für Schmieröl- oder Hydraulikflüssigkeitssysteme, für Hauptkühlmittelpumpen, Kabeltrassen und Aktivkohlefilter vorzusehen. Der Betrieb der Löschanlagen darf sicherheitstechnisch wichtige Systeme nicht beeinträchtigen. Gegen Brände in Kabelverteilungen sind automatische Sprühflut- oder Sprinkleranlagen, ggf. auch Schaum- oder Gas-

Löschanlagen einzubauen. Automatische Schaum- oder Sprinkleranlagen sind für Bereiche der Notstromdiesel gefordert. Ebenso sind die Aktivkohlefilter durch stationäre Feuerlöschanlagen zu schützen.

Bei Halon- und CO<sub>2</sub>-Feuerlöscheinrichtungen sind nur zugelassene Löschmittel mit der notwendigen Mindestkonzentration zu verwenden, bei CO<sub>2</sub>-Löschanlagen sind mögliche Sekundärschäden durch Kälteschock und die Personensicherheit zu beachten. In CMEB 9.5-1 /23/ sind darüber spezielle Angaben zu finden.

An strategisch günstigen Stellen sind mobile Feuerlöscher und Wandhydranten für die manuelle Brandbekämpfung aufzustellen.

Im ANS-Standard /25/ werden vorwiegend automatische Feuerlöschanlagen empfohlen, um möglichst rasche Wirkung ohne Verzögerung durch spätes Erkennen und Reagieren oder Fehlhandlungen zu erzielen. Als Löschmedium wird generell Wasser gefordert, Ausnahmen sind möglich. Hinsichtlich der Anwendungsbereiche von Löscheinrichtungen sind in /24/ Angaben zu finden, wobei ab einer bestimmten Mindestbrandlast (z.B. 20 ltr. Drucköl) eine Löschanlage gefordert wird.

In der schwedischen Richtlinie /26/ sind ebenfalls umfangreiche Angaben über die vorzuhaltenden Brandbekämpfungsmaßnahmen zu finden. Sie sind i.W. mit den vorgenannten Maßnahmen identisch.

### Baulicher Brandschutz

Nach 10 CFR 50, Appendix R /21/ ist ein Brand so einzudämmen, daß eine Redundanz von Sicherheitssystemen zum Abfahren und Unterkritischhalten des Reaktors von der Warte oder Notsteuerstelle aus unbeschädigt bleibt und die zum Abfahren und Unterkritischhalten erforderlichen Systeme in 72 Stunden repariert werden können. Eine Eindämmung durch bauliche Maßnahmen wird durch Brandabschottung von Kabeln Komponenten und zugehörigen nicht sicherheitstechnisch wichtigen Leitungen mit einer Feuerwiderstandsdauer von 3 Stunden oder durch einen horizontalen Abstand von mindestens 20 Fuß ohne dazwischenliegende Brandlast oder durch einen Einschluß mit der Feuerwiderstandsdauer von 1 Stunde bei zusätzlichem Einbau von Meldern und einer automatischen Feuerlöschanlage erreicht.

Im Reg. Guide 1.120 /22/ werden grundsätzlich zur Brandeindämmung getrennte Brandabschnitte für jeden redundanten Teil sicherheitstechnischer Einrichtungen gefordert. Diese Brandabschnitte sind aufgrund des vorliegenden brennbaren Materials für Auslegungsbrände, die zur nachhaltigsten Beeinträchtigung der Redundanz führen, auszulegen. Spezielle Anforderungen sind:

- Fußböden, Wände und Decken mit einer Feuerwiderstandsdauer von 3 Stunden zur Begrenzung oder Trennung von Brandabschnitten; Abdichten oder Schließen von Durchbrüchen mit gleicher Feuerwiderstandsfähigkeit (Kabeldurchführungen, Kabelwannen, Rohrdurchführungen, Türen, Feuerschutzklappen)
- Treppenhäuser, Fahrstühle und Schächte mit einer Feuerwiderstandsdauer von 3 Stunden und Feuerschutztüren mindestens wie an den Gebäudeeingängen

- Feuerlöschpumpen mit Antriebsaggregaten in Räumen mit einer Brandwand der Feuerwiderstandsdauer von 3 Stunden
- Schutz der Schaltwarte, der Schaltanlagenräume und des Anlagenrechnerraumes durch Fußböden, Wände und Decken mit der Feuerwiderstandsdauer von 3 Stunden
- Abtrennung der Batterieräume von anderen Anlagenbereichen durch Barrieren mit mindestens 3 Stunden Feuerwiderstand, einschließlich aller Durchführungen und Öffnungen
- Abtrennung sicherheitstechnisch wichtiger Anlagenbereiche gegenüber Turbinenölanlagen durch eine Brandwand mit 3 Stunden Mindestbelastbarkeit
- 15 m Mindestabstand von ölgefüllten Transformatoren von Gebäuden
- Abtrennung der Notstrom-Dieseleratoren untereinander und gegen andere Anlagenbereiche durch Brandwände mit 3 Stunden Feuerwiderstandsdauer
- Abtrennung von Dieselöllagerbereichen für mehr als 4000 l durch 15 m Abstand von Gebäuden mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen durch Bauteile mit 3 Stunden Feuerwiderstandsdauer oder durch Eingraben im Boden
- Abtrennung von Gebäuden und Räumen mit sicherheitstechnisch wichtigen Pumpen durch Brandwände mit 3 Stunden Feuerwiderstandsdauer
- Abtrennung des Gebäudes für radioaktive Abfälle und der Dekontaminationsbereiche von den übrigen Anlagenbereichen durch Brandwände mit einer Belastbarkeit von 3 Stunden.

In ANS N18.2 /25/ sind Anforderungen an den Brandschutz von Bauteilen und Komponenten enthalten, die mit den Anforderungen aus /22/ weitgehend abgedeckt sind. Einige spezielle Anforderungen betreffen Steuer- und Leistungskabel:

- Trennung von Kabeln in der Warte durch metallische oder nichtbrennbare Abschottungen
- in der Warte vorgelagerten Kabelverteilungsräumen sind Kabel durch Abschottungen mit der Feuerwiderstandsdauer von 1 Stunde abzutrennen
- in anderen Kraftwerksbereichen sind ebenfalls Abschottungen mit 1 Stunde Feuerwiderstandsdauer vorzusehen.

In ANSI/ANS-59.4-1979 /24/ sind darüber hinaus Angaben zum Schutz von Kohlefiltern zu finden.

In CMEB 9.5-1 /23/ wird darauf hingewiesen, daß sicherheitstechnisch bedeutsame Systeme, die durch Brandeinwirkungen beeinträchtigt werden können, durch bauliche Maßnahmen und automatische Löschanlagen zu schützen sind. Dabei ist anzunehmen, daß das gesamte brennbare Inventar zum Brandgeschehen beiträgt.

In den schwedischen Empfehlungen /26/ wird darauf abgehoben, daß die Brandeindämmung durch Bildung von Brandabschnitten erfolgt. Auf der Grundlage einer Sicherheitsanalyse sind Brandschutz-zonen und Brandabschnitte festzulegen. Folgende Bereiche können als eigene Brandabschnitte ausgelegt werden:

- Treppenträume und andere Fluchtwege, Aufzugsschächte
- Bereiche mit parallelen oder redundanten Systemen zum Ab-fahren des Reaktors

- Bereiche, die nach ihrer Funktion, Größe, Brandlast, Bedeutung, Flucht- und Angriffswegen usw. eine brandschutztechnische Einheit bilden (z.B. Büros, Warte, Aufenthaltsräume, Verteilungsräume, Kabelräume und -schächte usw.)

Bauteile die Brandabschnitte umschließen, sollen normalerweise Klasse A 60 sein (maximal 50 Mcal/m<sup>2</sup> Brandlast bezogen auf Umfassungsbauteile). Dies gilt auch für Türen und Abschlüsse in der Begrenzung. Bei größerer Brandlast ist Klasse A 60 erforderlich, wenn die Brandabschnitte mit wirksamen stationären Löschanlagen ausgerüstet werden.

#### Personenschutz

Die Forderungen in /21/ beschränken sich auf die Ausrüstung der Werkfeuerwehr mit Schutzgeräten (siehe Brandbekämpfung) sowie eine Notbeleuchtung mit mindestens 8 Stunden Notstromversorgung für sicherheitstechnisch oder zum Angriff und zur Flucht wichtige Bereiche, ergänzt durch zusätzliche tragbare Lampen.

Die Zielrichtung von /22/ ist der Schutz sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen, nicht primär der Personenschutz. Daher werden hauptsächlich zur Ermöglichung einer wirksamen Brandbekämpfung folgende Maßnahmen gefordert:

- Rauch und korrosive Gase sind im allgemeinen direkt und automatisch an einen sicheren Ort nach außen abzublasen; dabei müssen radioaktives Material enthaltende Rauche und Gase im Brandabschnitt überwacht werden.
- Treppen müssen als Notausgang und Zugang zur Brandbekämpfung deutlich gekennzeichnet werden.

- Rauch- und Wärmeabzüge werden für Bereiche mit Kabelverteilungen, Dieselöllagerung und Schalträumen empfohlen. Bei Umluftbetrieb ist mindestens 1 m<sup>2</sup> Lüftungsfläche für 200 m<sup>2</sup> Grundfläche, bei Zwangsbelüftung 8,5 m<sup>3</sup>/min je 20 m<sup>2</sup> Grundfläche sicherzustellen.
- Zum sicheren Abschalten im Brandfall und zur Beherrschung von Notfällen sind eine feste Notbeleuchtung mit mindestens 8 Stunden Notstromversorgung über Batterien sowie tragbare Handscheinwerfer erforderlich.
- Zur Kommunikation beim Noteinsatz sind fest installierte Fernmeldeeinrichtungen und fest installierte Verstärker für transportable Funkgeräte vorzusehen.
- Zum Schutz des Wartenpersonals ist die Lüftungsanlage der Schaltwarte im Brandfall automatisch abzuschalten. Eine Entlüftung zur Sichtverbesserung sollte mit Handbetätigung möglich sein.

In ANS N18.10 /25/ sind außer dem Hinweis auf Atemschutzgeräte keine Anforderungen im Hinblick auf Flucht und Rettung enthalten.

In CMEB 9.5-1 /23/ wird darüber hinaus ein spezielles Notbeleuchtungssystem gefordert.

Die allgemeinen Anforderungen der schwedischen Bauordnung an Fluchtwege gelten nach /26/ auch für Kernkraftwerke. Normalerweise darf die zu einem Fluchtweg gehörige Einzugsfläche 600 m<sup>2</sup> nicht überschreiten, in nicht durch Wände unterteilten gut überschaubaren Bereichen 2.400 m<sup>2</sup>. Die Anforderungen hinsichtlich rascher Evakuierung sind strikt zu beachten, besonders in Bereichen mit CO<sub>2</sub>-Löschanlagen.

Treppenhäuser und Aufzugsschächte sind vom übrigen Gebäude mindestens durch Bauteile der Klasse A 60 zu trennen. Alle Fluchtwege sind deutlich zu kennzeichnen mit Nummern des Geschosses und Richtung zum Notausgang. Notstromversorgte (mindestens für 30 min!) Notbeleuchtung ist vorzusehen. Der örtliche Feuerwehrleiter ist bei der Festlegung der Angriffswege für die Brandbekämpfung zu Rate zu ziehen; es ist für jeden Brandabschnitt zu prüfen, ob die normalen Verkehrswege ausreichen oder zusätzliche Angriffswege erforderlich sind, z.B. besonders bei Kabelkanälen.

Organisatorische Maßnahmen:

In /21/ werden folgende Maßnahmen gefordert:

- Benennung eines Brandschutzbeauftragten, der für die Überprüfung der getroffenen Maßnahmen und Festlegungen zusätzlicher Maßnahmen verantwortlich ist
- Regelmäßige Inspektionen, um die Einhaltung der Vorkehrungen zu gewährleisten
- Kontrollhandlungen bei Entdeckung eines Brandes durch Betriebspersonal, Warteführer und Werkfeuerwehr
- Festlegung von Brandbekämpfungsstrategien für jeden Bereich.

Nach Reg. Guide 1.120 /22/ muß der Brandschutzbeauftragte ein höherer Angestellter sein. Er kann die Aufstellung, Verwirklichung und Überwachung des Brandschutzprogramms an Mitarbeiter mit Ausbildung und Erfahrung im Brandschutz und in der Sicherheit von Kernenergieanlagen delegieren; diese überwachen:

- Gebäudeanordnung und Auslegung der Einrichtungen
- Auslegung und Instandhaltung von Brandmelde- und Brandkämpfungseinrichtungen
- Brandverhütungsmaßnahmen
- Ausbildung von Betriebspersonal und Werkfeuerwehr für die Brandbekämpfung.

Es sind wirksame Verwaltungsmaßnahmen vorzusehen, um sicherzustellen, daß

- die Lagerung größerer Mengen von brennbarem Material während Betrieb und Wartung unterbleibt
- das Arbeiten mit Zündquellen nur unter Überwachung durch im Brandschutz ausgebildete Mitarbeiter erfolgt.

Die gesamten Brandschutzmaßnahmen unterliegen unabhängigen Kontrollen, insbesondere

- die Unterlagen über die Auslegung und Beschaffung in Übereinstimmung mit der Richtlinie
- die Anweisungen, Verfahrensvorschriften und Zeichnungen
- eingekauftes Material, Geräte und Dienstleistungen
- die vorgesehenen Prüfungen und die Prüfergebnisse sowie die Kennzeichnung der erfolgreich geprüften Punkte.

In /23/ und /25/ sind darüber hinaus keine weiteren organisatorischen Maßnahmen angegeben.

Nach den schwedischen Empfehlungen /28/ sind u.a. automatische Brandmelder, stationäre Löschanlagen, Brandabschnittsunterteilungen, Abschlüsse, Klappen, Lüftung und Rauch- und Wärmeabzug wiederkehrenden Prüfungen und Test zu unterwerfen. In regelmäßigen Abständen sind tragbare Feuerlöscher und Hydranten zu überprüfen.

Jedes Kraftwerk soll einen Brandschutzoffizier haben, der für einen optimalen Brandschutz sorgt und die Betriebsbereitschaft aller Brandbekämpfungseinrichtungen überwacht. Er kann durch ein Brandschutzkomitee oder einen hauptamtlichen Brandschutzingenieur unterstützt werden. In Zusammenarbeit mit dem Leiter der öffentlichen Feuerwehr sind Brandbekämpfungspläne aufzustellen. Der Leiter der öffentlichen Feuerwehr hat die Aufgabe, regelmäßig das Kraftwerk zu inspizieren.

Bei Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten durch Fremdpersonal ist eine schriftliche Erlaubnis für Schneiden, Schweißen u.ä. erforderlich. Durch Schulung der Belegschaft und regelmäßige Kontrollgänge ist in allen Teilen des Kraftwerks ein ordnungsgemäßer Zustand sicherzustellen, z.B. Geschlossenhalten von Türen, Freihalten von Rettungswegen, Entfernen von Verpackungsmaterial, Rauchen nur in erlaubten Bereichen.

#### 3.4 IAEA-Richtlinie und EG-Entwurf

Der IAEA Safety Guide "Fire Protection in Nuclear Power Plants" /27/ ist deshalb besonders bedeutsam, weil er unter Mitwirkung von Vertretern praktisch aller Herstellerländer von Kernkraftwerken entstanden ist. Der 1. Entwurf der EG Kommission zum Thema "Brandschutz in LWR Reaktoren in EG Staaten und den USA" von 1982 /28/ nimmt starken Bezug auf

diese und andere internationale Regelungen. Er ist jedoch noch unvollständig und somit nur begrenzt einer Bewertung zugänglich. Die folgenden Ausführungen beziehen sich somit fast ausschließlich auf die IAEA-Richtlinie.

### Brandverhütung

Die brennbaren Stoffe sind bei der Planung zu erfassen und nach ihrer Brennbarkeit und schädlichen Folgewirkungen zusammenzustellen, einschließlich vorübergehender Brandlasten.

Bauteile und Einrichtungen einschließlich Dichtungsmaterialien, Anstrichen, Beschichtungen, Belägen, Leitungen und Decken mit Aufhängungen sollen aus geprüftem nichtbrennbarem Material bestehen.

Die Verwendung von Kunststoffen, die korrosive Verbrennungsprodukte erzeugen, ist besonders in Bereichen mit elektrischen und elektronischen Einrichtungen zu vermeiden.

Isolierstoffe sind gegen Eindringen von Öl oder anderen brennbaren Flüssigkeiten oder explosionsfähigen Gemischen durch Ummantelung zu schützen.

In sicherheitstechnisch wichtigen Gebäuden sind brennbare Stoffe nur in der für den Betrieb erforderlichen Mindestmenge zu lagern; größere Vorräte sind außerhalb dieser Gebäude zu halten.

Wasserstofftanks und -verteilungen sollten sich (gut belüftet) an abgeschirmter Stelle außerhalb sicherheitstechnisch wichtiger Gebäude befinden. Meßgeräte sollten Druck und Reinheit des Wasserstoffs im Generatorkühlsystem anzeigen.

Systeme mit brennbaren oder entflammbaren Flüssigkeiten und Gasen sind mit einem hohen Zuverlässigkeitsgrad auszuliegen, um Leckagen vorzubeugen. Sicherheitseinrichtungen zur Begrenzung von Leckagen und Leckagenableitung für den Fall eines Lecks sind vorzusehen.

Während des Betriebs, einschließlich Revivionsphasen, ist das Einbringen von brennbaren Stoffen in sicherheitstechnisch wichtige Bereiche und das Entfernen daraus zu kontrollieren; Transportwege und -mittel sind zu beachten.

Hitze und Funken erzeugende Arbeiten sind durch Arbeitserlaubnis zu kontrollieren; in der Nähe befindliche brennbare Stoffe sind zu entfernen oder zu schützen.

### Branderkennung

Sicherheitstechnisch wichtige Komponenten sind durch frühes Erkennen und wirksames Löschen von Bränden zu schützen. Für die Brandmeldeeinrichtungen gelten folgende Anforderungen:

- Jeder Brandabschnitt ist mit einer Brandmeldeanlage auszurüsten, die nach dem Brandrisiko des Abschnittes ausgewählt und entworfen ist.
- Die Meldeanlage soll optisch und akustisch in der Warte und bei begehbaren Bereichen sowie solchen mit automatischen Löschanlagen auch vor Ort anzeigen.
- Das Brandmeldesystem ist an die Notstromversorgung anzuschließen.
- Bei der Melderauswahl ist die Umgebung, z.B. Strahlungsfelder, Feuchtigkeit, Temperatur, Luftstrom, in Rechnung zu stellen.

### Brandbekämpfung

Um einen ausreichenden Schutz sicherheitstechnisch wichtiger Komponenten zu gewährleisten, sind die Löschanlagen und die erforderlichen Hilfssysteme nach dem Einzelfehlerkriterium auszulegen. Alle automatischen Löschanlagen sollen möglichst auch von Hand zu betätigen sein.

Die Löschwasserversorgung muß folgenden Anforderungen genügen:

- Die Löschwasserringleitung ist so auszulegen, daß sie den angenommenen Löschwasserbedarf deckt.
- Absperrventile mit Stellungsanzeige sollen das Absperrn von Teilen der Löschwasserleitung ermöglichen; das Schließen eines Ventils darf nicht die Funktion des Brandbekämpfungssystems eines Bereichs außer Kraft setzen.
- Die Löschwasserringleitung soll von Betriebswasser- oder Sanitärwasserleitungen getrennt sein.
- Bei Mehrblockanlagen kann die Ringleitung für mehrere Blöcke genutzt werden.
- Es sind redundante Feuerlöschpumpen mit unabhängiger Überwachung und Stromversorgung vorzusehen.
- Die Löschwasserversorgung ist auf der Basis der größten erforderlichen Löschwassermenge für die Mindestzeit (z.B. 2 Stunden) bei Betrieb der größten Sprinkleranlage und gleichzeitiger manueller Brandbekämpfung im betreffenden Brandabschnitt zu ermitteln; dabei ist der erforderliche Mindestdruck zu beachten.

- Zwei getrennte Wasserquellen sind vorzusehen, von denen mindestens eine auch bei Naturereignissen verfügbar bleibt, oder eine unerschöpfliche (See, Fluß a.ö.) mit zwei unabhängigen Einspeisungen. Werden nur Tanks benutzt, sind 2 x 100% mit angemessener Auffülldauer und Möglichkeit einer gleichzeitigen Entnahme vorzusehen.
- Das Löschwasser für Sprinkleranlagen muß ggf. chemisch behandelt und gefiltert werden.
- Hydranten sind so anzuordnen, daß alle Brandabschnitte voll abgedeckt sind. Schläuche und Strahlrohre sind wie nach der Brand-Störfallanalyse erforderlichlich vorzuhalten; sie müssen mit den internen und externen Löscheräten kompatibel sein.

Für Löschanlagen gilt folgendes:

- In Brandabschnitten mit hoher Brandlastdichte oder schwieriger Brandbekämpfung sind Löschanlagen vorzusehen, und zwar Wasser-Löschanlagen oder Gas-Löschanlagen (CO<sub>2</sub> oder Halon).
- Die Art der Löschanlage ist nach der Ansprechzeit, der Art der vorhandenen Brandlast, der Möglichkeit von Temperaturschocks und den Folgen des Betriebs für Menschen oder Sicherheitssysteme auszuwählen (z.B. Wasser für hohe Kabelbrandlasten, Gas für Kontrollräume und andere elektrische Anlagen).
- Bei Wasserlöschanlagen sind empfindliche Einrichtungen vor Wasserschäden zu schützen durch Sammeln und Abführen, ggf. in kontrollierte Tanks.
- Bei Auslösung von Gas-Löschanlagen ist das Personal frühzeitig zu warnen.

- Gas-Löschanlagen sind nur in Bereichen zu verwenden, für die eine erforderliche Konzentration über die Löschdauer sichergestellt ist.
- Von Hand betätigte Löschanlagen sind so auszulegen, daß sie in der bis zur Handauslösung erforderlichen Zeit dem Feuer widerstehen.
- Elektrische Auslösesysteme und die Stromversorgung der Löschanlagen sind gegen Brand zu schützen oder außerhalb des Brandabschnittes anzubringen.

Als Hilfseinrichtungen für die Brandbekämpfung sind vorzusehen:

- eine ausreichende Zahl geeigneter tragbarer Feuerlöscher, deren Platz klar zu kennzeichnen ist. Feuerlöscher sollen nahe bei Wandhydranten und längs den Flucht- und Rettungswegen stationiert werden
- geeignete feste Notbeleuchtung und zusätzliche Handlampen in allen Brandabschnitten
- ein festes Notkommunikationssystem mit zuverlässiger Stromversorgung
- Funkeinrichtungen einschließlich tragbarer Zwei-Weg-Geräte
- umluftunabhängige Atemschutzgeräte für das Einsatzteam der Werkfeuerwehr mit ausreichendem Sauerstoffvorrat.

### Baulicher Brandschutz

Durch die Auslegung sollen sicherheitstechnisch wichtige Systeme von unzulässigen Brandereignissen isoliert und untereinander so getrennt werden, daß ihre Sicherheitsfunktion nicht durch Brand verhindert wird. Dies ist anhand einer detaillierten Brand-Störfallanalyse nachzuweisen.

Jeder Brandabschnitt soll ein unabhängiges Lüftungssystem haben; wenn Teile davon durch andere Brandabschnitte gehen und nicht wirksam durch Klappen abgeschlossen werden können, sind sie mit gleichem Feuerwiderstand wie dieser Brandabschnitt auszuführen. Frischluftöffnungen von Brandabschnitten sind von Abluftöffnungen anderer Brandabschnitte getrennt anzuordnen.

Wenn Sicherheitssysteme durch brennbare Filter gefährdet sind, müssen die Filter durch Brandschotten von anderen Einrichtungen getrennt und vor Brandwirkungen geschützt werden; vor und hinter den Filtern sind in den Leitungen Melder einzubauen.

Bereiche mit größeren Kabelbrandlasten sollen von anderen Einrichtungen durch Brandschotten getrennt werden, desgleichen Schaltanlagen.

### Personenschutz

Fluchtwege für das Personal und Angriffswege für Löschteams sind einzuplanen und deutlich zu kennzeichnen. Jeder Weg soll mit einer zuverlässigen Beleuchtung und geeigneter Alarmanlage ausgestattet sein. Ein zuverlässiges Kommunikationssystem ist für die Flucht- und Angriffswege vorzusehen.

Begehbare Bereiche sollen Rauchabzüge haben. Treppenhäuser, die als Angriffs- und Fluchtweg dienen, sollen mit Überdrucklüftung zur Rauchfreihaltung versehen werden.

### Organisatorische Maßnahmen

Prüfungen während der Planung, Errichtung und dem Betrieb des Kraftwerks sollen sicherstellen, daß

- alle Brandschutzanforderungen erfüllt werden
- alle Brandschutzeinrichtungen den Spezifikationen genügen
- Melde- und Löscheinrichtungen der Auslegung genügen und Betriebstests bestanden haben
- Brandverhütungsmaßnahmen im Betrieb ergriffen, Melde- und Löscheinrichtungen getestet und das Personal in der Bedienung geschult wird.

Folgende zusätzliche administrative Kontrollen sind vorzusehen:

- Kontrolle der Brandabschnitte vor der Kernbeladung auf Brandlasten
- Kontrolle von Arbeiten, die die Integrität von Brandbekämpfungseinrichtungen und Brandabschnitten beeinträchtigen können
- Kontrolle von Arbeiten, die einen Brand verursachen können
- Wiederholungsprüfungen bei Melde- und Löscheinrichtungen.

Zum wirksamen Einsatz der Löschkräfte sind Notmaßnahmen für den Brandfall vor Inbetriebnahme vorzubereiten. Ebenso sind Ausbildungsprogramme und Test- und Wartungsprogramme für die Melde- und Löscheinrichtungen auszuarbeiten. Die Auf-

gabenverteilung von Betriebspersonal, Löschteams und Werkfeuerwehr sowie öffentlicher Feuerwehr sind festzusetzen.

### 3.5 Internationale Richtlinien der Sachversicherer

Die "International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants" /29/ stellen eine Überarbeitung der Richtlinien von 1974 dar, die in den VdS-Richtlinien für den Brandschutz in Kernkraftwerken zusammengefaßt werden /5/.

#### Brandverhütung

Alle gefährlichen Stoffe sind mit ihrem Abbrandverhalten, ihrer schädigenden Wirkung, ihrer Menge, Lagerung und Verteilung im Brandabschnitt zu erfassen. Die Menge gefährlicher Betriebsstoffe soll so gering wie möglich gehalten werden.

Die Menge der Brandlasten aus Baustoffen und Ausbaumaterialien ist zu reduzieren durch

- weitgehende Vermeidung von Kunststoffen, speziell PVC
- Verwendung ausschließlich nichtbrennbarer geprüfter Isolierungen
- Vermeidung der Brandausbreitung über Anstriche
- Verwendung nichtbrennbarer geprüfter Konstruktionen für abgehängte Decken
- nichtbrennbare Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer  $F \geq 90$

- Dachkonstruktionen ausreichend standsicher und nur mit bituminösen oder Asphaltbelag, wenn dieser keiner höheren Temperatur ausgesetzt wird.

Die Gefahr einer Brandentstehung soll durch vorbeugende Maßnahmen in Bezug auf den Bau, die Einrichtungen und Installationen und den Betrieb gemindert werden.

### Branderkennung

Es wird ein zentrales automatisches Branderkennungs- und Alarmsystem gefordert, das folgenden Anforderungen genügt:

- Meldung optisch und akustisch in der Warte
- wesentliche Informationen zur Interpretation der Meldung in der Meldezentrale verfügbar
- Einbeziehung manuell zu betätigender Melder
- Zustandsanzeigen und Kontrollinstrumente für Brandmeldung, Löschanlagen und Hilfssysteme in der Brandmeldezentrale
- örtliche Warnung bei Einsatz von Gas-Löschanlagen
- Kommunikationsleitungen zu außerbetrieblichen Organisationen, z.B. öffentlicher Feuerwehr
- Auswahl der unabhängigen Melder nach örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen
- regelmäßige Funktionsprüfung der verschiedenen Meldesysteme.

### Brandbekämpfung

Entsprechend der Wertkonzentration in Kernkraftwerken, den möglichen direkten Verlusten und langfristigen Verlusten

durch Nichtverfügbarkeit ist ein umfassendes Brandbekämpfungskonzept erforderlich. Die Zeit vom Brandausbruch bis zur Brandbekämpfung ist zu reduzieren durch

- einen Basisschutz durch automatische stationäre Löschanlagen
- eine frühestmögliche Branderkennung zusätzlich zu den Branderkennungssystemen der automatischen Löschanlagen, z.B. durch Rauchmelder
- Ergänzung der stationären Brandbekämpfungseinrichtungen durch umfassende Möglichkeiten zur manuellen Brandbekämpfung.

Die im einzelnen durch stationäre Löschanlagen zu schützenden Bereiche und geeignete Löschanlagen werden in den Richtlinien angegeben.

Die Löschwasserversorgung muß für den größten Wasserbedarf der Sprinklersysteme bei gleichzeitiger Entnahme von 3200 l/min für manuelle Brandbekämpfung ausreichen. Bei allen Gebäuden mit Sprinkler- oder Sprühwasser-Löschanlagen sind Löschwasserabflüsse vorzusehen; das Löschwasser ist vor der Ableitung auf radioaktive Stoffe zu überprüfen und ggf. in Abwassertanks zu leiten.

Ein für Kühlung bei Kühlmittelverluststörfällen vorhandenes Sprühwassersystem für die Sicherheitshülle von LWR-Anlagen sollte auch zur Brandbekämpfung benutzt werden, jedoch nur im Falle eines größeren Brandes im Reaktorgebäude-Innenraum.

Im Rahmen der Schadensminderung und des Personenschutzes wird auch auf die Rauch- und Wärmeabfuhr eingegangen. Insbesondere werden separate Rauchabzugsanlagen für die verschiedenen Brandabschnitte, die räumliche Trennung von Zu- und Abluftöffnungen verschiedener Brandabschnitte,

eine Überdrucklüftung in den Treppenträumen, Explosionsöffnungen in bestimmten Fällen empfohlen. Für den Kontrollbereich wird eine Rückführung der Rauchgase in das kontrollierte Lüftungssystem vorgeschlagen, sofern die Filter gegen Rauch, Hitze und korrosive Gase geschützt sind.

### Baulicher Brandschutz

Wesentlich für die Brandeindämmung ist die physikalische Trennung bei

- redundanten Sicherheitssystemen
- Angriffs- und Fluchtwegen
- konzentrierten Brandlasten
- konzentrierten Isolierungen
- Steuer-, Meß- und Leistungskabeln
- heißgehenden Leitungen und Kabeln.

### Personenschutz

Hinsichtlich Flucht und Rettung wird auf die nationalen Vorschriften verwiesen. Die Fluchtwege sollen deutlich markiert sein und auch Betriebsfirmen eine leichte Orientierung erlauben. Eine für mindestens 30 min notstromversorgte Notbeleuchtung ist vorzusehen. Die Werkfeuerwehr ist mit Schutzkleidung, Atemschutzgeräten, Strahlenmeßgeräten und persönlichen Dosimetern auszurüsten.

### Organisatorische Maßnahmen

Die organisatorischen Maßnahmen betreffen alle Phasen der Planung, Errichtung und des Betriebs eines Kernkraftwerks. Sie umfassen:

- Überprüfung der Auslegung des Brandschutzsystems
- Überprüfung der Sicherheitsaspekte und Wechsel in den Betriebsabläufen
- spezielle Erlaubnis für "heiße" Arbeiten
- Inspektion der Einrichtungen für den Brandfall
- Verbindungen zu außerbetrieblichen Organisationen
- Zusammenarbeit mit Behörden und Versicherungen
- Inspektion und Wartung der Brandschutzeinrichtungen
- Einsatzplanung, Organisation und Schulung der Werkfeuerwehr
- Überwachung von eventuellen Brandschutzbeeinträchtigungen
- Notmaßnahmen zur Minimierung der Schadensauswirkungen.

Verantwortlich für die Maßnahmen ist ein Brandschutzbeauftragter mit Brandschutz- und Strahlenschutz erfahrung.

#### 4. WERTUNG DER MASSNAHMEN

Im folgenden werden die Brandschutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik gemäß Abschnitt 2 und 3 mit den entsprechenden Anforderungen gemäß Teil A verglichen. Hierbei werden eventuelle Abweichungen und notwendige Weiterentwicklungen aufgezeigt.

##### Grundsätzliche Anforderungen

In KTA 2101.1 /2/ ist verankert, daß die Anforderungen des Brandschutzes an den baulichen Brandschutz und Personenschutz zu erfüllen sind. Auch die Berücksichtigung erschwerter brandschutztechnischer Voraussetzungen - große Brandlast, geringe Rauch- und Wärmeabfuhr, schlechte Zugänglichkeit - wird verlangt. Ebenso sind bei Nichterfüllung von Brandschutzanforderungen des Baurechts Ersatzmaßnahmen vorgeschrieben. Schließlich ist auch die Kombination von Brand und Einwirkungen von innen oder außen in bestimmten Fällen bei der Auslegung des Brandschutzes zu betrachten. Nicht klar geregelt sind jedoch Art und Umfang der erforderlichen Nachweise bei den genannten Abweichungen von konventionellen Brandschutzmaßnahmen. In diesem Punkt gehen die amerikanischen und schwedischen Vorschriften ebenso wie die internationalen Richtlinien einen Schritt weiter, indem sie eine Brandgefahrenanalyse ("fire hazard analysis") fordern.

##### Brandverhütung

Der Grundsatz - Verwendung ausschließlich nichtbrennbarer Baustoffe und weitestgehende Vermeidung brennbarer Betriebsstoffe - ist in deutschen, ausländischen und internationalen

Vorschriften gleichermaßen verankert. Allerdings sind auch die aus betrieblichen Gründen notwendigen Abweichungen überall angesprochen. Sie erscheinen bei den Baustoffen längerfristig vermeidbar. Zumindest sollten die Kriterien - keine Brandfortleitung im vollentwickelten Brand und begrenzte Rauchentwicklung entsprechend Klasse A2 DIN 4102 - beachtet werden können, z.B. bei Isolierstoffen und Dekontanstrichen. Bei den brennbaren Betriebsstoffen geht die Entwicklung zu schwer brennbaren, nicht toxisch wirkenden und nicht qualmenden Stoffen. Diese Entwicklung sollte nachdrücklich unterstützt werden, wobei jedoch nachteilige Nebenwirkungen zu beachten sind (z.B. FRNC-Kabel hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften). Die Maßnahmen zur Verhinderung einer Freisetzung brennbarer Stoffe haben einen hohen Standard; hier gibt es international kaum Unterschiede. Ähnlich steht es bei der Vermeidung von Zündquellen. Nicht ganz klar ist die Behandlung zusätzlicher Einwirkungen von innen und außen (Art der Nachweise, Auslegungsniveaus).

### Branderkennung

Hinsichtlich der Branderkennung gibt es international kaum Unterschiede. Es wird der Standard realisiert, wie er beispielsweise auch in der übrigen Industrie zu finden ist. Neuerdings wird mehr Wert auf eine eindeutige Identifizierung von Bränden gelegt, hauptsächlich im Hinblick auf die Vermeidung von Fehlauflösungen automatischer Löschanlagen sowie von Brandschutzklappen und Feststellanlagen von Abschlüssen. In diesen Fällen werden zwei Meldergruppen pro Raumbereich empfohlen, die unterschiedliche Brandkenngrößen erfassen und dadurch eine hohe Zuverlässigkeit bieten.

### Brandbekämpfung

Bei den Brandbekämpfungsmaßnahmen herrscht international weitgehend Einvernehmen bezüglich der Löschwasserversorgung, der Vorkehrungen und Einrichtungen zur manuellen Brandbekämpfung, sowie zur Verwendung ortsfester Löschanlagen. In der neuen Regelentwurfsvorlage KTA 2101.1 /2/ wird erstmals für die Bundesrepublik die automatische Auslösung von stationären Löschanlagen eine Priorität eingeräumt. Dies steht im Einklang mit ausländischen Vorschriften, internationalen Richtlinien und Erfahrungen in der Industrie. Auf entsprechende Vorkehrungen zur Vermeidung von Fehlauflösungen und der sicheren, ggf. kontrollierten Ableitung von Löschwasser nach dem Stand der Technik ist zu achten. Art und Umfang der Auslegung von Brandbekämpfungseinrichtungen gegen zusätzliche Einwirkungen von innen oder außen sind noch nicht ausdiskutiert.

### Baulicher Brandschutz

Die baulichen Brandschutzmaßnahmen zur Bildung von Brandabschnitten, zur feuerwiderstandsfähigen Trennung von redundanten Sicherheitseinrichtungen sowie zur feuerwiderstandsfähigen Abschottung von Brandlasten sind prinzipiell unstrittig. Es herrscht auch Einvernehmen in der Notwendigkeit, nicht voll realisierbare bauliche Maßnahmen - z.B. zu geringe Feuerwiderstandsdauer, zu große Brandabschnitte - durch erhöhten Aufwand bei Brandverhütung, Branderkennung und Brandbekämpfung zu kompensieren. Allerdings ist in den deutschen Regelungen noch nicht hinlänglich erkennbar, wie ein Ersatz "auf gleichem Niveau" nachgewiesen werden soll, es sei denn bei entsprechenden Erfahrungen. Im Ausland werden hierzu grundsätzlich Brandgefahrenanalysen verlangt, die quantitativ,

zumindest jedoch qualitativ, die Brandwirkungen den entsprechenden Brandbeanspruchungen gegenüberstellen. Ebenfalls nicht voll geklärt scheint die Frage, wie zusätzliche Kriterien aus sicherheitstechnischen Gründen - z.B. Integritätsanforderungen an Bauteile oder zusätzliche Beanspruchungen aus Erdbeben - bei der Beurteilung der Brandschutzfunktion eingehen. Stärke und Einsatz der betrieblichen Feuerwehr sowie die Einbeziehung öffentlicher Feuerwehren scheinen noch nicht ganz ausdiskutiert.

### Personenschutz

Die allgemeinen Vorschriften aus dem Baurecht und dem Arbeitsschutz werden bei neueren Anlagenkonzepten weitgehend beachtet. Probleme entstehen immer noch im Sicherheitsbehälter durch den Zielkonflikt Strahlenschutz - Personenschutz. Allerdings sind durch die Anordnung von Schleusenvorräumen, die Vergrößerung der Notschleusen und die separate Belüftung der Treppenträume deutliche Fortschritte erzielt worden. Sofern Atemschutzgeräte in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen, erscheint eine Rettung aus dem Sicherheitsbehälter bei Brand im Normalbetrieb gewährleistet, insbesondere wenn wenig qualmende Kabelisolierungen zum Einsatz kommen. Aus Gründen des Personenschutzes sollte in schwer zugänglichen Anlagenbereichen mit schlechter Rauch- und Wärmeabfuhr bei stark qualmenden Brandlasten weitgehend auf manuelle Brandbekämpfung zugunsten stationärer automatischer Löschanlagen verzichtet werden.

### Revisionsphasen

Der Brandschutz in Revisionsphasen wird im Rahmen der kernkraftwerksspezifischen Regelungen international nur sehr ober-

flächlich behandelt. Offenbar sollen hierfür - wie beim Brandschutz in der Bauphase - weitestgehend konventionelle Maßnahmen zum Einsatz kommen. Konsequenterweise erscheint die Forderung in der Regelentwurfsvorlage KTA 2101.1 /2/, absehbare höhere Brandlasten in der Revisionsphase bei der Auslegung der Brandschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Auch die Entriegelung und Offenhaltung der Schleusentüren des Sicherheitsbehälters gemäß Regelentwurfsvorlage KTA 2102 /4/ sind zu begrüßen.

### Kontrollen und Prüfungen

Art und Umfang der Prüfungen von Brandschutzmaßnahmen sind sehr detailliert in KTA 2101.1 /2/ geregelt. Dabei ist allerdings nicht klar erkennbar, in welcher Weise das Zusammenwirken der verschiedenen Brandschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Schutzziele von Bauordnung, Arbeitsschutz und Atomrecht bei der Prüfung vor Genehmigung beurteilt werden soll. Während in der Bundesrepublik qualitative Bewertungen ausreichend erscheinen, werden vor allem in den USA die Brandschutzkonzepte in der Brandgefahrenanalyse sehr genau und weitgehend quantitativ untersucht und geprüft. Bei den Einrichtungen zur Brandmeldung und Brandbekämpfung sollte neben der Prüfung des Funktionierens verstärkt auf die Wirksamkeit geachtet werden. Die Prüfintervalle für wiederkehrende Prüfungen dürfen nicht größer sein als in anderen Industriebereichen. Neben den durch Vertreter des Betreibers durchzuführenden regelmäßigen Kontrollen der Brandschutzmaßnahmen könnten unangekündigte Kontrollen (Brandschauen) durch Aufsichtsbehörden die Brandsicherheit langfristig erhöhen.

5. LITERATURHINWEISE

- /1/ Arbeitsgemeinschaft Brandschutz in Kernkraftwerken (ABK): Bestandsaufnahme brandschutztechnischer Gegebenheiten, Maßnahmen und Bestimmungen in Kernkraftwerken. Abschlußbericht zum BMI-Vorhaben SR 144, September 1981.
  
- /2/ KTA 2101.1 - Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 1: Grundsätze des Brandschutzes. Regelentwurfsvorlage Januar 1984.
  
- /3/ KTA 2101.1 - Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 3: Brand- und Explosionsschutz an maschinen- und elektrotechnischen Anlagen. Entwurf eines Regelentwurfsvorschlags, Stand 25.04.1983.
  
- /4/ KTA 2102 - Rettungswege in Kernkraftwerken. Regelentwurfsvorlage Entwurf April 1982.
  
- /5/ VdS-Richtlinien für den Brandschutz in Kernkraftwerken. Form 2027, Ausgabe 9/79.
  
- /6/ DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teile 1 - 3, 5 - 7, Ausgabe September 1977, Teil 4 Ausgabe März 1978.
  
- /7/ DIN 14090 - Flächen für die Feuerwehr auf Grundstücken, Ausgabe Juni 1977.

- / 8/ DIN 14210 - Löschwasserteiche, Ausgabe November 1982.
- / 9/ DIN 14220 - Löschwasserbrunnen, Ausgabe November 1982.
- /10/ DIN 14530 Teil 8 - Löschfahrzeuge; Löschgruppenfahrzeuge LF 16-TS, Ausgabe Mai 1981.
- /11/ FwDV 7 - Feuerwehr-Dienstvorschrift 7: Atemschutz, Ausgabe 1978.
- /12/ FwDV 9/2 - Feuerwehr-Dienstvorschrift 9/2: Strahlenschutz (in Vorbereitung).
- /13/ FwDV 4 - Feuerwehr-Dienstvorschrift 4: Die Gruppe im Löscheinsatz, Ausgabe 1972.
- /14/ DIN 14095 Teil 1 - Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen, Ausgabe Oktober 1981.
- /15/ ASR 13/1.2 - Feuerlöscheinrichtungen zu § 13 Abs. 1 und 2 der Arbeitsstättenverordnung (Bekanntmachung des BMA vom 14.03.1979 BARBL. Nr. 5/1979).
- /16/ VGB 125 - Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz. Unfallverhütungsvorschrift des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Fassung April 1980.

- /17/ DIN 4844 Teil 2 - Sicherheitskennzeichnung; Sicherheitsfarben, Ausgabe Februar 1977.
  
- /18/ ArbStättV - Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung) vom 20.März 1975. Der Bundesminister für Arbeit und Soziales (BGBL. I S. 729).
  
- /19/ KTA 3402 - Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken; Personenschleusen, Ausgabe November 1976.
  
- /20/ DIN 13024 - Einheits-Krankentrage, Ausgabe Juli 1968.
  
- /21/ US Nuclear Regulatory Commission: 10 CFR 50 - Fire Protection Program for Operating Nuclear Power Plants. Federal Register, Vol. 45, No. 225, 19.11.1980.
  
- /22/ US Nuclear Regulatory Commission: Regulatory Guide 1.120 - Fire Protection Guidelines for Nuclear Power Plants, 6/1977.
  
- /23/ US Nuclear Regulatory Commission: Standard Review Plan 9.5.1 - Fire Protection Branch Technical Position CMEB 9.5.1 - Guidelines for Nuclear Power Plants.
  
- /24/ ANSI/ANS-59.4-1979  
Generic requirements for lightwater nuclear power plant fire protection.

- /25/ ANSI/ANS N 18.10 - Fire Protection Criteria for Safety-Related Systems, Structures and Equipment for Waater-Cooled and -Motorated Nuclear Power Generating Plants. September 1973.
- /26/ The Swedish Fire Protection Association (SBF): Re-commendations Regarding Fire Protection at Nuclear Power Plants. Stockholm: January 1973.
- /27/ International Atomic Energy Association (IAEA): Fire Protection in Nuclear Power Plants - A Safety Guide. Safety Series No. 50-SG-D2, Wien, 1979.
- /28/ Commission of the European Communities: Compilation of the latest proven Fundamental and General Protection Principles and Criteria related to Design, Engineering, Construction and Operation for Light Water Reactor Nuclear Power Plants. Brüssel, August 1982.
- /29/ National Nuclear Risk Insurance Pools and Associations: International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants. Draft of Revised Version, 1980.