

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

## BERICHTE

Einsatz von Wassernebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenräumen mit Holztreppen und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten.

- Teil 1: – Brand- und Rauchausbreitung sowie brandschutztechnische Maßnahmen bei Altbaugebäuden und bei Gebäuden aus dem Bereich des Denkmalschutzes
- Baurechtliche Anforderungen
  - Wirkungsweise von Sprinkler- und Wassernebellöschanlagen
  - Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wassernebellöschanlage)

# 120

Ausschuss Feuerwehrrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung  
des Arbeitskreises V der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundes-  
länder

Forschungsbericht Nr. 120

Einsatz von Wassernebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von  
Bränden innerhalb von Treppenträumen mit Holztreppen und/oder Holzverkleidun-  
gen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten.

- Teil 1: \* Brand- und Rauchausbreitung sowie brandschutztechnische Maßnahmen  
bei Altbaugebäuden und bei Gebäuden aus dem Bereich des Denkmal-  
schutzes
- \* Baurechtliche Anforderungen
  - \* Wirkungsweise von Sprinkler- und Wassernebellöschanlagen
  - \* Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Trep-  
penraum, Niederdruck-Wassernebellöschanlage)

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

April 2000

# INHALTSVERZEICHNIS

Seite

	<b>BERICHTSKENNBLATT</b> .....	2
<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	3
<b>2.</b>	<b>ANFORDERUNGEN DES BAURECHTS AN TREPPEN UND TREPPEN- RÄUME</b> .....	4
2.1	DERZEIT ALLGEMEIN GÜLTIGE ANFORDERUNGEN.....	4
2.2	ANFORDERUNGEN DES BAURECHTS BEZÜGLICH DES HOLZBAUS.....	11
2.3	REGELN FÜR ALTBAUTEN UND HISTORISCHE BAUWERKE INSBESONDERE FÜR TREPPEN UND TREPPENRÄUME.....	12
<b>3.</b>	<b>BRANDSCHUTZ IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN</b> ...	13
3.1	BAUAUSFÜHRUNGEN VON ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN....	14
3.2	AUSFÜHRUNGSFORMEN VON TREPPEN- UND TREPPENRÄUMEN AUS HOLZ....	19
3.3	BRANDSCHUTZTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN VON HOLZ.....	20
<b>4.</b>	<b>BRÄNDE UND DAR AUS RESULTIERENDE BESONDERE GEFAHREN IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN</b> .....	22
4.1	BRÄNDE.....	22
4.2	BESONDERE GEFAHREN.....	28
<b>5.</b>	<b>DURCHGEFÜHRTE BRANDVERSUCHE UND VERSUCHSERGEBNISSE.</b>	31
5.1	BRANDVERSUCHE.....	31
5.2	ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE AUS DEN BRANDVERSUCHEN.....	32
<b>6.</b>	<b>BRANDSCHUTZKONZEPTE UND BRANDSCHUTZMASSNAHMEN IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN</b> .....	33
6.1	BRANDSCHUTZKONZEPTE.....	33
6.2	BRANDSCHUTZMASSNAHMEN.....	35
6.3	GRENZEN FÜR DIE RAUCHFREIHALTUNG VON TREPPEN UND TREPPEN- RÄUMEN.....	45
<b>7.</b>	<b>ORTSFESTE AUTOMATISCHE WASSERLÖSCHANLAGEN</b> .....	47
7.1	SPRINKLERANLAGEN - DEFINITION - LÖSCHWIRKUNG - EINSATZGEBIETE - AUSFÜHRUNGSFORMEN.....	47
7.2	WASSERNEBELLÖSCHANLAGEN - DEFINITION - LÖSCHWIRKUNG - EINSATZGEBIETE - AUSFÜHRUNGSFORMEN.....	56
7.3	EINSATZ VON SPRINKLERANLAGEN IN TREPPENRÄUMEN.....	57
7.4	EINSATZ VON WASSERNEBELLÖSCHANLAGEN IN TREPPENRÄUMEN.....	58
<b>8.</b>	<b>VERSUCHSPROGRAMM DER FORSCHUNGSSTELLE FÜR BRAND- SCHUTZTECHNIK</b> .....	58
8.1	VERSUCHSAUFBAU.....	59
8.2	MESSTECHNIK.....	60
<b>9.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	61
<b>10.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	63
<b>11.</b>	<b>TABELLEN</b> .....	68
<b>12.</b>	<b>BILDER</b> .....	74

# BERICHTSKENNBLETT

<b>Nummer des Berichtes:</b>	<b>Titel des Berichtes:</b>	<b>ISSN:</b>	
120	Einsatz von Wasserebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenträumen mit Holztreppe und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten. Teil 1:* Brand- und Rauchausbreitung sowie brandschutztechnische Maßnahmen bei Altbaugebäuden und Gebäuden aus dem Bereich des Denkmalschutzes * Baurechtliche Anforderungen * Wirkungsweise von Sprinkler- und Wasserebellöschanlagen * Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wasserebellöschanlage)	0170-0060	
<b>Autor:</b>		<b>durchführende Institution:</b>	
Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann		Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) Hertzstraße 16 D-76187 Karlsruhe	
<b>Nummer des Auftrages:</b> 173 (4/99)		<b>auftraggebende Institution:</b>	
<b>Abschlußdatum:</b> April 2000		Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung des Arbeitskreises V der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer	
<b>Seitenzahl:</b> 84	<b>Bilder:</b> 14	<b>Tabellen:</b> 10	<b>Literaturverweise:</b> 40
<b>Kurzfassung:</b>			
<p>Die Bewertung der internationalen Untersuchungen bezüglich der Brand- und Rauchausbreitung in Altbauten mit Holztreppe und/oder Holzverkleidungen sowie in denkmalgeschützten Gebäuden hat folgende Problematik und brandschutztechnischen Maßnahmen aufgezeigt, denen aufgrund der extrem schnellen Brand- und Rauchausbreitung in diesen Gebäuden unbedingt Beachtung geschenkt werden muß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ In Rettungswegen von Holzbauwerken müssen freiliegende, brennbare Baustoffe vermieden werden bzw. bei Holztreppe und/oder Treppenträumen mit Holzverkleidung in Gebäuden geringer Höhe sollten Kompensationsmaßnahmen wie z.B. der Einbau von Brandmeldern ergriffen werden, wenn die Holztreppe der einzige bauliche Rettungsweg ist.</li> <li>☞ Bei Altbaugebäuden ist die Verbesserung der brandschutztechnischen Qualität der Wohnungseingangstüren (z.B. rauchdicht, Feuerwiderstand, Selbstschließenrichtungen, Vermeidung von Verglasungen ohne Feuerwiderstand in den Türen und bei Oberlichtern (=&gt; Einbau von Brandschutzverglasungen)) der zweckmäßigste Weg, damit der Treppenraum auch bei Wohnungsvollbränden für die Bewohner noch längere Zeit benutzbar ist. =&gt; schnellere Gefährdung von Personen durch Verrauchung des Treppenraumes als durch direkte Flammeneinwirkung. Weiterhin müssen die Türen bei einem Brand im Treppenraum die Brand- und Rauchausbreitung in die Räume entsprechend verzögern.</li> <li>☞ Durch die nachträgliche Verkleidung der Unterseiten von Holztreppe und Podesten mit nichtbrennbaren Baustoffen wird die Sicherheit des Rettungsweges im Brandfall nur wenig verbessert.</li> <li>☞ Die Brand- und Rauchweiterleitung über Hohlräume und Fugen muß verhindert werden.</li> <li>☞ Holzbauteile mit entsprechender Feuerwiderstandsdauer müssen so dimensioniert sein, daß diese für die geforderte Zeit, entsprechend der Abbrandgeschwindigkeit für die jeweilige Holzart, ihre Tragfähigkeit bzw. Funktionsfähigkeit beibehalten.</li> <li>☞ Geeignete Brandabschnittsbildung.</li> <li>☞ Vorbeugende Holzschutzmaßnahmen gegen Feuereinwirkungen können werkstofftechnischer, konstruktiver und chemischer Art sein. Durch diese Schutzmaßnahmen soll die Gefahr der Entzündung und die Schnelligkeit der Verbrennung verringert werden. Der Feuerwiderstand tragender und auch raumabschließender Wände wird durch eine Oberflächenbehandlung mit chemischen Feuerschutzmitteln (z.B. Imprägnierung mit Feuerschutzsalzen) nicht erhöht. Hierdurch ergibt sich keine Reduzierung der Brennbarkeit, sondern nur der Entflammbarkeit und dies auch nur innerhalb von Gebäuden. Diese Stoffe sind witterungsempfindlich, insbesondere gegen Feuchtigkeit.</li> <li>☞ Für Gebäude mit erhöhten Risiken, z.B. mehrgeschossig bzw. Gebäude besonderer Art oder Nutzung (z.B. Krankenhäuser, Altenheime etc.) stehen zusätzlich folgende Maßnahmen zur Verfügung:           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwendung von Holzbauteilen mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen</li> <li>- Einbau von Brandmeldeanlagen</li> <li>- Einbau von ortsfesten automatischen Löschanlagen wie z.B. Sprinkleranlagen oder Wasserebellöschanlagen mit frühzeitiger Auslösung in der Brandentwicklungsphase</li> <li>- Einbau von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen</li> </ul> </li> <li>☞ Nach § 6 der Musterbauordnung darf die Tiefe der Abstandsflächen vor den Außenwänden von Gebäuden 5 m nicht unterschreiten bei           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wänden aus brennbaren Baustoffen, die nicht mindestens feuerhemmend sind sowie</li> <li>- feuerhemmenden Wänden, deren Oberfläche aus normalentflammbaren Baustoffen besteht oder die überwiegend eine Verkleidung aus normalentflammbaren Baustoffen haben.</li> </ul> </li> </ul> <p>Weiterhin wird in der Arbeit der Aufbau eines 4-geschossigen Holztreppe mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage mit der entsprechenden Meßtechnik beschrieben, der für die experimentellen Untersuchungen der Brand- und Rauchausbreitung in diesen Gebäuden an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik verwendet wird.</p>			
<b>Schlagwörter:</b> Holz, Holzwerkstoffe, brandschutztechnische Maßnahmen, Bauordnungen, Altbauten, Denkmalschutz, Treppen, Treppenraum, Holzschutzmaßnahmen gegen Brandeinwirkung, Wasserebellöschanlagen, Sprinkleranlagen, Baustoffklassen, Brandausbreitung, Temperatur, dynamischer Druck, Wärmefreisetzung, Wärmestrom, Abbrandrate, Sauerstoffverbrauchsmessmethode, Wärmestrahlung, Brandgasströmung, Entrauchung, Schadstoffe im Brandrauch (insbesondere bei Naturstoffen)			

## 1. EINLEITUNG

Nach **Kabat [1]** vernichten Feuer, Rauch, Ruß und Löschwasser jährlich Millionenwerte denkmalgeschützter Bauten. Die Kulturdenkmäler erleiden die schwersten Verluste gerade durch Feuer und seine Nebenwirkungen. Obwohl jedoch der Denkmalschutz und der Brandschutz die gleichen Ziele verfolgen - den Schutz der Baudenkmäler - sind ihre Vorstellungen von den Schutzmaßnahmen ganz verschieden und schließen sich oft sogar gegenseitig aus. Dies trifft ebenfalls auf mehrgeschossige Altbaugebäude besonders aus der Zeit zwischen etwa 1880 und 1940 zu, für die der Bestandsschutz einen hohen Stellenwert besitzt. Besonders problematisch hierbei sind Treppenräume mit Holztreppe und Treppenräume mit Holzverkleidungen. Durch die schnelle Brand- und Rauchausbreitung sind Bewohner und Einsatzkräfte im Brandfall erheblich gefährdet.

Die Anpassung an geltendes Baurecht ist nur möglich, wenn konkrete Gefahren für Leben und Gesundheit oder wesentliche Nutzungsänderungen vorliegen.

Die wesentlichen Aufgaben und Schutzziele des Brandschutzes zeigt die nachfolgende Zusammenstellung:

Personenschutz (vorrangig):	Schutz der Bewohner, Besucher, Beschäftigten und Rettungskräfte
Sachschutz:	Schutz der Sachgüter in vom Brand betroffenen Gebäuden
Nachbarschutz:	Schutz der Bewohner und der Sachgüter in den angrenzenden Gebäuden
Umweltschutz:	Schutz natürlicher Lebensgrundlagen
Kulturgutschutz:	Schutz der wertvollen Kulturgüter

Die Brandsicherheit eines Gebäudes wird durch einen Bauzustand erreicht, der die Entstehung eines Brandes mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließt, der die Ausbreitung von Feuer und Brandrauch verhindert, und der die wirksame Rettung und Brandbekämpfung ermöglicht.

In dieser Arbeit sollen die Brand- und Rauchausbreitung sowie brandschutztechnische Maßnahmen in Altwohn- und denkmalgeschützten Gebäuden unter besonderer Berücksichtigung von Treppenträumen mit Holztreppen und/oder Holzverkleidungen untersucht werden.

Um die vorgenannten Schutzziele erreichen zu können ist es erforderlich, daß Brandbekämpfungsmaßnahmen zur sicheren Evakuierung von Personen und für den Sachschutz sehr schnell eingeleitet werden.

Nach ersten Erkenntnissen ist dies durch schnell auslösende, ortsfeste Wasserlöschanlagen in der Brandentstehungsphase möglich. Durch den Einsatz von Wassernebellöschanlagen sollen weiterhin der Löschwasserverbrauch und Löschwasserschaden reduziert werden. Gleichzeitig sind Wassernebellöschanlagen aufgrund ihrer gegenüber Sprinkleranlagen abweichenden Löschmechanismen in der Lage, Brände von diversen flüssigen Brandstoffen und Kunststoffen zu löschen.

## **2. ANFORDERUNGEN DES BAURECHTS AN TREPPEN UND TREPPENRÄUME**

Die Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (kurz ARGEBAU genannt) bzw. die Fachkommission der Bauaufsicht der ARGEBAU erarbeiten Musterentwürfe (MBO) für die Landesbauordnungen (LBO) sowie für alle gängigen Landesverordnungen und Richtlinien. In der Regel verwenden die Länder diese Musterentwürfe als Grundlage zur Erstellung eigener Vorschriften und Richtlinien. Teilweise werden die von der ARGEBAU erarbeiteten Musterentwürfe jedoch von den Ländern nicht in gültiges Recht umgesetzt. Dies hat zur Folge, daß eine einheitliche Behandlung in Deutschland nicht oder nur schwer möglich ist. Die Musterentwürfe können jedoch im Zweifelsfall, soweit keine Landesvorschriften bestehen, zur Entscheidungshilfe bzw. Orientierung dienen.

### **2.1 DERZEIT ALLGEMEIN GÜLTIGE ANFORDERUNGEN**

Nach **Mayr [2]** werden bauaufsichtliche Anforderungen an **Treppen** im wesentlichen aus Grün-

den der Verkehrssicherheit und des Brandschutzes gestellt. Die grundlegenden Vorschriften sind dabei in den Paragraphen der Musterbauordnung und der Landesbauordnungen über "Brand-schutz", "Verkehrssicherheit" und "Stand-sicherheit" aufgeführt. Die Paragraphen über "Trep-pen", "Treppenräume" und "notwendige Flure und Gänge" füllen diese allgemeinen Vorschriften aus. Zugunsten besonderer Personengruppen (Behinderte, alte Menschen, Mütter mit Klein-kindern) können weitergehende Anforderungen gestellt werden.

Treppen dienen im Brandfall als Flucht- und Rettungswege für die Gebäudebenutzer und gleich-zeitig als Rettungs- und Angriffswege für Hilfskräfte wie Feuerwehr und Rettungsmannschaften. In **Tabelle 1** nach [2] werden die Anforderungen an Treppen nach der Musterbauordnung aufgeführt. Sämtliche Geschosse eines Gebäudes unterhalb der Hochhausgrenze, mit Ausnahme des Erdgeschosses, müssen über mindestens eine Treppe zugänglich sein. Diese Treppe wird von den Landesbauordnungen als "notwendige Treppe" bezeichnet und stellt den ersten Rettungsweg dar. Grundsätzlich müssen von jedem Aufenthaltsraum aus zwei voneinander unabhängige Rettungswege vorhanden sein. Im Idealfall sind dies zwei bauliche Rettungswege, also zwei Treppen. Fehlt ein zweiter baulicher Rettungsweg (die zweite Treppe), so müssen die Auf-enthaltsräume mit den Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbar sein. Ein zweiter Rettungsweg ist nicht erforderlich, wenn die notwendige Treppe in einem Sicherheitstreppenraum liegt. Sicherheitstreppenräume liegen vor, wenn entweder der Treppenraum außerhalb des Gebäudegrundrisses liegt und nur über offene Gänge zu erreichen ist oder bei einem innenliegen-den Treppenraum mit mechanischer Spülung und einem zusätzlichen Differenzdruckbelüftungs-system ausgestattet ist.

Notwendige Treppen müssen in einem eigenen Treppenraum liegen. Treppen ohne eigenen Treppenraum (z.B. in mehrgeschossigen, offenen Hallen von Kaufhäusern, Schulen, Theatern) sind keine notwendigen Treppen.

Weitere notwendige Treppen können z.B. gefordert werden

- zur Gewährleistung des zweiten Rettungsweges in Gebäuden, in denen sich "viele" Menschen ("mehr als bei einer üblichen Wohnnutzung") aufhalten
- bei unterschiedlichen Nutzungen im Gebäude.

Außerdem kann der zweite Rettungsweg (anstatt einer mit den Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbaren Stelle) in Form einer weiteren Treppe ausgeführt werden.

Mehrere Treppen sind z.B. erforderlich

- bei zu großer Entfernung der Aufenthaltsräume zum notwendigen Treppenraum (z.B. Krankenhäuser 30 m, Schulen 25 m)
- für bestimmte Gebäude besonderer Art oder Nutzung (z.B. Beherbungs- und Gaststätten ab einer bestimmten Größe, Hochhäuser, Schulen mit mehr als zwei Vollgeschossen bzw. ab einer bestimmten Größe, Versammlungsstätten). In Hochhäusern kann anstelle von zwei notwendigen Treppen auch eine Treppe in einem Sicherheitstreppenraum ausgeführt werden.

Einschiebbare Treppen und Rolltreppen bieten im Brandfall keine Gewähr für eine sichere Benutzung. Sie sind deshalb als notwendige Treppe nicht zulässig und können nur zusätzlich und nicht anstelle von notwendigen Treppen errichtet werden.

Um einen möglichst sicheren Rettungsweg zu bieten, wird verlangt, daß in Gebäuden mittlerer Höhe die notwendigen Treppen

- in einem Zuge zu allen angeschlossenen Geschossen führen,
- mit den Treppen zum Dachraum in unmittelbarer Verbindung stehen,
- in einem eigenen Treppenraum liegen und
- auf möglichst kurzem Weg einen sicheren Ausgang ins Freie haben.

Die notwendigen Treppen sind sowohl „Angriffswege“ als auch „Rückzugswege“ für die Feuerwehr- und Rettungskräfte. Sie müssen deshalb auch dann noch für eine gewisse Zeit „gefährlos“ begangen werden können, wenn sich ein Brand in den Treppenraum ausgedehnt hat. Die Anforderungen sind in den einzelnen Landesbauordnungen unterschiedlich. Beispielsweise müssen nach der MBO (siehe **Tabelle 1**) in Gebäuden mittlerer Höhe (siehe Gebäudeklassen nach **Bild 1**) die tragenden Teile notwendiger Treppen feuerbeständig (F 90-A) sein. Verschiedene Landesbauordnungen verlangen hier nur eine feuerhemmende Ausführung (F 30-B). Für Gebäude geringer Höhe ist nach der MBO „feuerhemmend“ (F 30-B) oder „nichtbrennbar“ (Verwendung von Baustoffen der Baustoffklasse A 1 oder A 2) vorgeschrieben. Diese Anforderungen gelten für die Treppen und Podeste. Eine brandschutztechnisch wirksame Verkleidung der Untersicht einer Holztreppe allein ist kein Ersatz für eine feuerhemmende Bemessung der tragenden Teile der Treppe, weil nicht bekannt ist, von welcher Seite ein Brand auf eine Treppe einwirkt.



**Treppenträume** und allgemein zugängliche Flure sind für das bauaufsichtliche Schutzziel „Schutz von Leben und Gesundheit sowie Ermöglichung von wirksamen Löscharbeiten“ von entscheidender Bedeutung. Sie bilden sowohl die Fluchtwege für die Gebäudebenutzer als auch die Rettungs- und Angriffswege für Feuerwehr und Hilfskräfte. Die notwendigen Treppen müssen sich deshalb immer in entsprechend geschützten Treppenträumen befinden. In **Tabelle 2** nach [2] werden die Anforderungen an Treppenträume nach der Musterbauordnung aufgeführt. Grundsätzlich müssen notwendige Treppenträume folgende Anforderungen erfüllen:

- Schutz gegen Eindringen von Feuer und Rauch aus den Geschossen bzw. von außen.
- Ausreichend lange Standsicherheit und Begehbarkeit.
- Frei von Brandlast.
- Sichere Erreichbarkeit von den Aufenthaltsräumen.
- Sicherer Ausgang ins Freie.
- Möglichkeit, eingedrungenen Rauch schnell abzuführen.
- Möglichkeit einer ausreichenden Belichtung und Beleuchtung.

In Abhängigkeit von

- Gebäudehöhe,
- Anzahl der Wohnungen im Gebäude,
- Gebäudeart und -nutzung

sowie

- Lage im Gebäude

sind Abweichungen von diesen Forderungen möglich.

An Wohngebäude mit bis zu zwei Wohnungen werden bezüglich des Treppenraumes keine besonderen Anforderungen gestellt.

Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten, Treppenträume für ein Gebäude anzuordnen:

- an der Außenwand = “außenliegender Treppenraum”;
- im Inneren des Gebäudes = “innenliegender Treppenraum”;
- außerhalb des Grundrisses = “Außentreppe”.

Der außenliegende Treppenraum stellt den Regelfall dar und wird auch von der MBO gefordert. In der BayBO z.B. wird er nicht ausdrücklich vorgeschrieben, sondern nur verlangt, daß der

Treppenraum einschließlich seiner Zugänge und des Ausgangs ins Freie so angeordnet und ausgebildet sein muß, daß er gefahrlos als Rettungsweg benutzt werden kann. Treppenräume an einer Außenwand gelten dann als "außenliegende Treppenräume", wenn diese öffnenbare Fenster haben.

Bei innenliegenden Treppenräumen bilden alle Treppenraumwände Trennwände zum Gebäude. Es fehlen die natürlichen Entrauchungsmöglichkeiten durch Fenster. Die fehlende natürliche Entrauchungsmöglichkeit muß in diesem Fall durch technische Einrichtungen, wie z.B. durch mechanische Lüftung, ersetzt werden. Aus der Sicht des Brandschutzes sind innenliegende Treppenräume nicht so günstig wie außenliegende; sie sollten deshalb die Ausnahme bleiben.

In einer sogenannten Maisonette-Wohnung sind Geschosse derselben Wohnung durch eine innere Treppe ohne eigenen Treppenraum miteinander verbunden. Die wohnungsinterne Treppe ist ohne eigenen Treppenraum zulässig, wenn für die Aufenthaltsräume, die über sie erschlossen werden, ein sicherer Rettungsweg vorhanden ist. An die tragenden Bauteile werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt. Ob bei gewerblichen Nutzungseinheiten im Sinne von Maisonette-Wohnungen (Praxis, Kanzlei, Ing.-Büro) genauso verfahren werden kann, muß im Einzelfall geklärt werden. Sinngemäß werden auch an tragende Teile von Treppen, die wohnungsinterne Galerien oder Emporen erschließen, keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt.

Mehrere Treppen sind so zu verteilen, daß die Rettungswege möglichst kurz sind. Aus jedem notwendigen Treppenraum muß auf möglichst kurzem Weg ein sicherer Ausgang ins Freie führen. Der Ausgang muß von den Benutzern leicht zu finden sein. Wenn er nicht unmittelbar ins Freie führt, muß der Raum zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie (nach der MBO 1996):

- mindestens so breit sein wie die dazugehörige Treppe
- rauchdichte und selbstschließende Türen zu notwendigen Fluren haben
- Wände haben, die die Anforderungen an die Wände des Treppenraums erfüllen und
- ohne Öffnungen zu anderen Räumen, ausgenommen zu notwendigen Fluren, sein.

Ausnahmen von den letzten beiden Punkten können gestattet werden, wenn Bedenken wegen des Brandschutzes nicht bestehen.

Wände von Treppenträumen notwendiger Treppen und ihrer Ausgänge ins Freie müssen in Gebäuden geringer Höhe feuerbeständig (F90-AB) sein. In Gebäuden mittlerer Höhe müssen sie feuerbeständig und "in der Bauart von Brandwänden" hergestellt sein.

Bei Gebäuden geringer Höhe werden in den einzelnen Landesbauordnungen zum Teil geringere Anforderungen gestellt. Beispielsweise läßt die Bayerische Bauordnung bei Gebäuden geringer Höhe zu, daß die Wände von Treppenträumen notwendiger Treppen und ihrer Ausgänge ins Freie in der Feuerwiderstandsdauer der tragenden Wände hergestellt werden. Damit ergeben sich gemäß der BayBO für Gebäude geringer Höhe eine Reihe von Möglichkeiten, Treppenraumwände nur feuerhemmend und damit in Holzbauweise herzustellen. Zum Teil bestehen dadurch auch keine Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer (z.B. in land- und forstwirtschaftlichen sowie gärtnerischen Betriebsgebäuden).

Die gesetzliche Redewendung „in der Bauart von Brandwänden" wurde gewählt, weil der Gesetzgeber an Türen in Treppenraumwänden wesentlich geringere Anforderungen stellt als an Türen in „echten Brandwänden". Auch im Dachbereich bestehen bei Treppenraumwänden zum Teil geringere Anforderungen als bei Brandwänden (keine Überdachführung erforderlich).

Treppenraumwände sind insoweit keine vollwertigen Brandwände. Sie müssen jedoch (mit Ausnahme der Türen und der Überdachführung) alle anderen Anforderungen an Brandwände (Mindestdicke, Ausführung aus nichtbrennbaren Baustoffen, Standsicherheit) voll erfüllen.

„In der Bauart von Brandwänden" bedeutet, daß die Wände auch die Mindestdicke von Brandwänden nach DIN 4102-4 haben müssen. Aussparungen z.B. für Rohrleitungen, sind hier beispielsweise unzulässig.

Für Treppenraumaußenwände aus nichtbrennbaren Baustoffen, die im Brandfall nicht durch andere, an diese Außenwände anschließende Gebäudeteile (z.B. andere Wandöffnungen) gefährdet werden können, bestehen keine besonderen Anforderungen. Damit können z.B. Treppenraumwände, die außerhalb des Gebäudes liegen, verlastet werden, wenn eine Brandübertragung durch Fensteröffnungen des Gebäudes nicht zu befürchten ist.

Damit notwendige Treppenträume ihr Schutzziel erfüllen können und im Brandfall auch unter ungünstigen Umständen als Flucht- und Rettungswege zur Verfügung stehen, dürfen sie keine

Brandlast enthalten. Entsprechend sind nach der MBO Verkleidungen, Putze, Dämmstoffe, Unterdecken und Einbauten aus brennbaren Baustoffen in Treppenräumen und ihren Ausgängen ins Freie unzulässig. Bodenbeläge (ausgenommen Gleitschutzprofile) müssen aus mindestens schwerentflammenden Baustoffen bestehen (mindestens Baustoffklasse DIN 4102-B 1).

Entsprechend sind in notwendigen Treppenräumen Leitungsanlagen nur zulässig, wenn Bedenken wegen des Brandschutzes nicht bestehen.

Nach der MBO muß der obere Abschluß eines notwendigen Treppenraumes feuerbeständig (F 90-AB), bei Gebäuden geringer Höhe mindestens feuerhemmend (F 30-B) sein. Dies gilt nicht, wenn der obere Abschluß das Dach ist. Diese Regelung wurde ebenfalls nicht in alle Landesbauordnungen übernommen.

Das Schutzziel ist, daß Feuer und Rauch aus den angrenzenden Nutzungseinheiten bzw. dem Dachraum nicht in den Treppenraum eindringen dürfen. Deshalb muß der obere Abschluß des Treppenraumes vorrangig gegen Brandeinwirkungen widerstandsfähig sein, die von oben oder von der Seite auf ihn einwirken.

In Gebäuden mit mehr als fünf oberirdischen Geschossen und bei innenliegenden Treppenräumen ist an der obersten Stelle des Treppenraumes eine Rauch- und Wärmeabzugsvorrichtung mit einer Größe von mindestens 5 % der Grundfläche, mindestens jedoch 1 m<sup>2</sup>, anzubringen, die vom Erdgeschoß und vom obersten Treppenabsatz zu öffnen sein muß. Es kann verlangt werden, daß die Rauchabzugsvorrichtung auch von anderen Stellen aus bedient werden kann. Ausnahmen können nach der Musterbauordnung gestattet werden, wenn der Rauch auf andere Weise abgeführt werden kann. Das Schutzziel in Bezug auf Entrauchung des Treppenraumes lautet, daß eingedrungener Rauch möglichst rasch und vollständig auf natürlichem Weg ins Freie abziehen kann. Außenliegende Treppenräume haben zu diesem Zweck Fenster, die zu öffnen sein müssen. Können die Fenster von außenliegenden Treppenräumen nicht oder nur unter Benutzung von Werkzeugen oder Spezialschlüsseln geöffnet werden, so wird das genannte Schutzziel nicht mehr ohne weiteres erreicht. Solche Treppenräume gelten damit ebenfalls als innenliegend und benötigen die vorgeschriebenen Rauchabzugsvorrichtungen. Das Gleiche gilt sinngemäß auch für außenliegende Treppenräume, die im oberen Bereich keine zu öffnenden Fenster haben. Die Schadenerfahrung zeigt hier eindeutig, daß sich im Treppenraum ein „Rauchsack“ bildet, wobei die untere Zone der Verrauchung in etwa die Höhe des höchsten zu öffnenden Fensters hat.

Theoretisch müßten in „feuerbeständige Wände in der Bauart von Brandwänden" T 90-Türen und in „feuerbeständige Wände" mindestens T 30-Türen eingebaut werden. Auf eine klassifizierte Feuerwiderstandsdauer der Türen in den Treppenraumwänden wird jedoch nach Baurecht verzichtet. Der Grund liegt unter anderem darin, daß bestimmungsgemäß nach MBO in den Treppenräumen keine und in den notwendigen Fluren keine bzw. bei Gebäuden geringer Höhe nur eine geringe Brandlast vorhanden sein darf. Damit wird bei einem Brand die Tür zwischen Flur und Treppenraum in erster Linie vom Brandrauch beansprucht. Nur unter ungünstigen Umständen, wenn sich z.B. der Brand in einem Aufenthaltsraum direkt neben dieser Tür ereignet und die Tür offensteht bzw. vom Brand zerstört wird, kann relativ schnell auch eine Beanspruchung durch Feuer und Wärme hinzukommen.

## 2.2 ANFORDERUNGEN DES BAURECHTS BEZÜGLICH DES HOLZBAUS

Aus der Sicht des baulichen Brandschutzes ist die Bestimmung der Gebäudeklassen (siehe **Bild 1**) und teilweise auch der Vollgeschosse von großer Bedeutung, da hiervon das Ausmaß der brandschutztechnischen Anforderungen, z.B. an tragende Wände, Decken bzw. an Flucht- und Rettungswege (Treppen und Treppenräume) abhängt. Nach der Musterbauordnung und den Landesbauordnungen werden die Gebäude jeweils in unterschiedlichen Gebäudeklassen zusammengefaßt. Die Einteilung ist in den einzelnen Bundesländern nicht einheitlich. Zum großen Teil wird jedoch zwischen den in **Bild 1** aufgeführten Gebäudeklassen unterschieden.

Für bauliche Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung können im Einzelfall besondere Anforderungen gestellt werden. Hierzu zählen z.B. folgende Gebäudearten: Hochhäuser, Verkaufsstätten, Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen und Sportstätten, Altenheime, Versammlungsstätten, Krankenhäuser, Entbindungs- und Säuglingsheime.

Der Einsatz von brennbaren feuerhemmenden Teilen F 30-B bei Tragkonstruktionen (Wände, Pfeiler, Stützen), Decken und Treppen, sowie in einigen Bundesländern auch bei Wänden notwendiger Treppenräume, ist im allgemeinen auf Gebäude geringer Höhe begrenzt. In allen anderen Fällen wird „feuerbeständig“, d.h. mindestens F 90-AB (in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen) verlangt. Seit einiger Zeit wird an einer neuen Musterbauordnung gearbeitet (Entwurfsstadium). Mit dem neuen Konzept verfolgt die ARGEBAU Gesichtspunkte

wie Sicherung der Einheitlichkeit, Fortschreibung von Erleichterungen, Kostenreduzierung zur Wettbewerbsfähigkeit im europäischen Raum, Anpassung an europäische Klassensysteme und die weitere Förderung des Holzbaus. In der neuen Musterbauordnung wird, positive Ergebnisse eines noch abzuschließenden Forschungsvorhabens vorausgesetzt, der Holzbau voraussichtlich für Gebäude bis 13 m und 5 Geschosse (Fußbodenoberkante des letzten Geschosses über Gelände) möglich sein, wenn die Nutzungseinheiten pro Geschöß nicht größer als 400 m<sup>2</sup> sind. Neben den bekannten, B-, A- und AB-Bauteilen werden auch sogenannte BA-Bauteile zulässig sein (brennbare Bauteile mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen, z.B. F 60-BA oder F 90-BA). Weiterhin wird die Feuerwiderstandsklasse „feuerhemmend“ F 30-B durch die Feuerwiderstandsklasse „hochfeuerhemmend“ F 60-B ergänzt.

### **2.3 REGELN FÜR ALTBAUTEN UND HISTORISCHE BAUWERKE INSBESONDERE FÜR TREPPEN UND TREPPENRÄUME**

Nach Arndt [3] haben bestehende bauliche Anlagen grundsätzlich Bestandsschutz, wenn sie seinerzeit nach den geltenden Vorschriften genehmigt und errichtet wurden, und wenn ihre Nutzung auch heute noch ohne Bedenken bezüglich der Sicherheit und Gesundheit erfolgen kann. Daraus wird ersichtlich, daß die Bauaufsichtsbehörde sowohl bei bestehenden baulichen Anlagen in den Bestand eingreifen kann, wenn konkrete Gefahren für Leben und Gesundheit zu beseitigen sind als auch bei Änderungen, z.B. bei Modernisierungen und Sanierungen von baulichen Anlagen. Die konkrete Gefahr ist eine im Einzelfall unter den spezifischen Objektbedingungen bestehende Gefahr, deren Eintritt wahrscheinlich ist, jedoch nicht unmittelbar bevorstehen muß. Die Bauaufsichtsbehörde entscheidet im Einzelfall nach pflichtgemäßem Ermessen unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit und Wirksamkeit der Mittel. Derartige Eingriffe in den Bestand sind relativ oft erforderlich, wenn sich z.B. die Nutzung eines Gebäudes ändert (Aufhebung des Bestandsschutzes) und die neue Nutzung mit einer höheren Brandgefahr oder einer höheren Nutzerzahl verbunden ist. Bei einer Sanierung oder Modernisierung von Altbauten ist zunächst zu entscheiden, ob überhaupt noch ein Bestandsschutz in Frage kommt, oder ob das Vorhaben wie ein Neubau zu behandeln ist. Der Bestandsschutz kann immer nur für das ganze Gebäude und nicht für Einzelbauteile geltend gemacht werden. In der Regel bleibt der Bestandsschutz erhalten, wenn nicht mehr als die Hälfte der vorhandenen Gebäudesubstanz entfernt bzw. ersetzt wird. Grundsätzlich gilt - auch bei Wahrung des Bestandsschutzes für das Gebäude -, daß

alle vollständig ersetzen und damit neu eingebauten Bauteile den derzeit geltenden Anforderungen des materiellen Bauordnungsrechtes entsprechen müssen. Bei umfangreichen Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen sollte stets ein Brandschutzkonzept erarbeitet werden, das neben den Maßnahmen des baulichen und des vorbeugenden Brandschutzes besonders die Ausnahmen und Abweichungen von geltenden Vorschriften hervorhebt und diese begründet sowie ggf. vorhandene Kompensationsmaßnahmen ausweist.

**Knödler et al. [4]** kommen zu dem Schluß, daß es schwierig ist, einen Bestand, der einmal genehmigt wurde, dem aktuellen gesetzlichen Stand anzupassen. Hinzu kommt, daß solche Gebäude keiner regelmäßigen Überprüfung durch die Baurechtsbehörde unterliegen. Somit werden Mängel oft erst durch Bauanträge oder per Anzeige durch Bewohner oder Nachbarn bekannt.

### **3. BRANDSCHUTZ IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN**

Nach **Kabat [1]** sind die Grundsätze des bautechnischen Brandschutzes:

1. Brandrisikobegrenzung: In einem Gebäude muß der Entstehung eines Brandes durch technischen Anlagen und durch Baustoffe vorgebeugt werden.
2. Abschottung: Der Wärmeentwicklung, Flammenausbreitung, Rauchentwicklung und Toxizitätsauswirkung von Brandgasen und Löschmitteln in einem Bauwerk ist vorzubeugen. Räume mit erhöhter Brandgefahr, hohe Sachwerte, Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen und Geschosse sind voneinander abzutrennen und die Gebäude selbst in Brandabschnitte zu unterteilen.
3. Abstand: Zwischen Gebäuden sind Abstände einzuhalten, und die Oberflächen der Außenwände dürfen die Brandausbreitung nicht begünstigen.
4. Tragfähigkeit: Die Standsicherheit des Gebäudes im Brandfälle ist durch entsprechend bemessene tragende Konstruktionen zu gewährleisten.
5. Rettungswege: Jede Aufenthaltseinheit muß über zwei voneinander unabhängige Rettungswege erreichbar sein. Zumindest einer der Rettungswege muß bei mehrgeschossigen Gebäuden eine Treppe in einem abgeschlossenen Treppenhaus oder außerhalb des Gebäudes sein.
6. Brandbekämpfung: Gebäude müssen so angeordnet, beschaffen und ausgestattet sein, daß wirksame Löscharbeiten und Bergungsarbeiten möglich sind.

Die denkmalpflegerische Zielsetzung lautet u.a. z.B. im Denkmalschutz- und -pflegegesetz von Rheinland-Pfalz: "Aufgabe des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege ist es, die Kulturdenkmäler zu erhalten und zu pflegen, insbesondere deren Zustand zu überwachen, Gefahren von ihnen abzuwehren und sie zu bergen." Das Erhalten von Baudenkmalern und Ensembles ist das Hauptziel des Denkmalschutzes. Der Denkmalschutz hat die Aufgabe, mit hoheitlichen Verwaltungsmaßnahmen ebenso die Erhaltung eines Baudenkmals, wie die Bewahrung eines geschichtlichen Zeugnisses zu bewirken. **Kabat [1]** weist jedoch ausdrücklich darauf hin, daß der Denkmalschutz auch Gefahrenabwehr betreiben muß, wie aus der gesetzlichen Festlegung der Aufgaben des Denkmalschutzes hervorgeht. Wobei nicht konkret gesagt wird, vor welchen Gefahren das Baudenkmal durch Denkmalschutzmaßnahmen zu schützen ist. Nicht ausgeschlossen werden hier also auch Brandgefahren.

### **3.1 BAUAUSFÜHRUNGEN VON ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN**

Nach **Kabat [5]** ist der bauliche Bestand in Altbauten gekennzeichnet durch:

- Schmale Grundstücke mit über dreigeschossiger Vorderbebauung und nur von der Straßenseite zugänglich
- Seitengebäude im rückwärtigen Grundstücksbereich und Hofgebäude mit brennbaren Anbauten
- Holzfachwerkverbände als Grenzwände, Außenwände, Trennwände und Treppenraumwände
- verputzte Holzbalkendecken mit brennbarer Auffüllung und Stuckverzierungen
- holzreiche historische Dachstühle und ausgebaute Dachräume
- Holztreppe - gewachst oder geölt, teilweise geschoßweise versetzt, dabei kunsthistorisch bedeutsam
- im Erdgeschoß gewerbliche Nutzung, oft ohne Abtrennung vom Treppenraum des Gebäudes
- Wohnungsabschlußtüren aus Holz und Glas und nicht rauchdicht
- Treppenraum oft nur durch eine verputzte Holzwand von den Wohngeschossen abgetrennt
- zugeparkte schmale Straßen und verbaute Fußgängerzonen



Insbesondere in diesen Punkten weisen die meisten Altbauten Abweichungen von den folgenden Vorschriften der jeweiligen Bauordnung ab:

- die Feuerwiderstandsklassen der tragenden und raumabschließenden Bauteile wie Decken, Trennwände und Treppenraumwände sind reduziert
- in tragenden und raumabschließenden Bauteilen sind brennbare Baustoffe (Holz) eingebaut
- die Rettungswege sind baulich unzureichend gesichert (brennbare Holztreppe, kleine Fenster, brennbare Verkleidungen an Treppenraumwänden und Flurwänden)
- die Grenzabstände sowie Gebäudeabstände sind reduziert
- die wirksame Brandbekämpfung und Rettung sind nur begrenzt möglich

Brände breiten sich in alten Gebäuden und Baudenkmälern meist lange unentdeckt und schnell aus. Die Bausubstanz und der Bauzustand der Gebäude tragen entscheidend zu der Brandentwicklung und Brandausbreitung bei.

**Daiber [7]** untersucht Ursachen der Entwicklung und Verbreitung von Treppenkonstruktionen des Zeitabschnitts 1850 - 1940 und stellt gleichzeitig dessen technische Merkmale dar. Zu Beginn des Untersuchungszeitraumes ist allen dargestellten Städten (Berlin, Hamburg und Hannover) der überwiegende Gebrauch der Holztreppen im Mietshausbau (zwei- bis dreigeschossig) gemein. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts hat die stetig wachsende Industrialisierung eine starke Expansion zur Folge. Dabei entwickeln sich in den Untersuchungsgebieten eigenständige und ortstypische Gebäudeformen, die jedoch in hohen Geschoßzahlen und einer daraus resultierenden großen Belegungsdichte übereinstimmen. Dadurch gewinnen die Treppenanlagen dieser Gebäude über rein verkehrsvermittelnde Funktionen hinaus als Fluchtweg im Gefahrenfall an Bedeutung. Dieser Aufgabe wird schließlich durch bautechnische Reglements der Kommunen Rechnung getragen. Durch die Verwendung von nichtbrennbarem Material wie Stein oder Eisen glaubt man die Feuersicherheit der Treppen zu gewährleisten. Im Berliner Stadtgebiet sind schon in der Bauordnung von 1853 derartige Vorschriften enthalten. In den umliegenden Gebieten erfolgt die erstmalige Einführung treppenbautechnischer Reglements im Jahr 1868 bzw. 1872. In Hannover werden die ersten Ausführungsvorschriften bezüglich der Treppen 1880 erlassen. Hamburg folgt im Jahr 1882. Der inhaltliche Vergleich der neuen treppenbautechnischen Vorschriften führt auf starke regionale Unterschiede. In Hannover wurde der Bau von Holztreppen grundsätzlich untersagt, während in Berlin und Hamburg deren Ausführung durch Auflagen schrittweise erschwert wurde.

Nach **Rösler und Stiller [8]** wurden, bedingt durch die lange Standzeit der Gebäude in den neuen Bundesländern, mehrere "Generationen" von Bauordnungen, baupolizeilichen und feuerpolizeilichen Vorschriften auf diese Gebäude angewendet. Nach **Daiber [7]** stammen die ältesten Mietswohnhäuser in unseren Städten etwa aus dem Zeitraum ab 1850. Ab diesem Zeitraum werden auch die ersten Bauordnungen und baupolizeilichen Regelungen im heutigen Sinne formuliert und angewendet. Derzeit geltende Baugesetze beziehen sich jedoch auf zu errichtende Gebäude, für bereits bestehende Gebäude sind sie uneingeschränkt nicht ohne weiteres anwendbar. Die Forderung nach "Bestandsschutz" besitzt einen hohen Stellenwert. Treppen in Wohngebäuden sind normalerweise Teil des ersten Rettungsweges entsprechend der Musterbauordnung. In Abhängigkeit von der Gebäudehöhe bedeutet dies nach jeweiligem Landesrecht, daß die tragenden Teile der Treppe feuerbeständig oder zumindest feuerhemmend sein müssen. Abminderungen sind bei Gebäuden geringer Höhe möglich. Treppenräume für notwendige Treppen müssen an der Außenwand liegen, ansonsten sind besondere Bedingungen zu beachten. Treppenraumwände müssen Brandwänden entsprechen oder zumindest feuerbeständig sein, wobei für Außenwände Abminderungen gelten. Türen zum Treppenraum müssen für Wohnungen lediglich dichtschießend sein. Höhere Anforderungen (feuerhemmend) gelten für Türen zum Keller, Dachboden oder zu Räumen anderer Nutzung. Die überwiegende Mehrzahl der Altwohngebäude besitzt nicht mehr als 5 Obergeschosse und die Gebäudehöhen überschreiten normalerweise 22 m nicht. Treppenräume in Altwohngebäuden befinden sich zumeist an der Außenwand und besitzen dadurch Fenster. Flure zwischen Treppenräumen und Wohnungen sind relativ selten vorhanden. Der Zusammenhang zwischen Wohnung und Treppenraum ist zumeist direkt. Den Abschluß des Treppenraumes zur Wohnung stellen sehr oft ungenügend ausgebildete Türen dar. Diese bestehen normalerweise aus Holz, sind teilweise verglast oder besitzen nur ungenügende Holzdicken. Weiterhin können auch oberhalb der Tür angeordnete Oberlichte vorhanden sein. In geringem Umfang sind auch ganze Wohnungseingangsbereiche durch Holz-Glas-Konstruktionen ausgebildet. Probleme können durch vorhandene Einbauten aus brennbaren Baustoffen in Treppenräumen entstehen. Treppenanlagen in Altwohngebäuden sind häufig Holzkonstruktionen. Diese Treppen und Podeste wurden auch teilweise unterseitig verputzt (Putz auf Rohrgewebe). Andere Verkleidungen, z.B. Platten, sind seltener geworden. Falls die Treppe unterseitig nicht geschützt ist, wird bei baulichen Maßnahmen oder nach Bränden oft eine unterseitige Verkleidung der Treppenläufe und Podeste gefordert. Dadurch soll die Treppe im Brandfall eine verlängerte Standzeit erreichen, um ihrer Funktion als Rettungsweg für die Bewohner des Gebäudes und als Angriffsweg für die Feuerwehr besser zu genügen. Die nachträgliche Beklei-

dung von Holztreppen, die zumeist mit nichtbrennbaren Platten realisiert wird, kann jedoch Probleme hinsichtlich statischer, bauphysikalischer und architektonischer Art bringen. Dies gilt insbesondere deshalb, weil die Nutzungsfähigkeit eines Rettungsweges im Brandfall nicht nur von seiner Tragfähigkeit (repräsentiert durch den Feuerwiderstand) abhängt, sondern in hohem Maße von seiner tatsächlichen Begehbarkeit im Brandfall. Die Nutzbarkeit der Treppenanlage im Brandfall wird durch Rauch und Brandgase meist sehr viel früher eingeschränkt als durch die direkte Flammeneinwirkung bzw. heiße Brandgase.

In der Diplomarbeit von **Limprecht [9]** werden mehrgeschossige (mehr als zwei Vollgeschosse) Gebäude mit Holztreppen aus der Jahrhundertwende (1880 bis ca. 1939) betrachtet. Hierbei handelt es sich um Häuser der Gebäudeklasse 4 "sonstige Gebäude" mit einer Höhe Oberkante Fußboden  $> 7$  m und  $\leq 22$  m. An diese Gebäude werden bei einer Neuplanung vergleichsweise wesentlich höhere Brandschutzanforderungen gestellt als bei Gebäuden im Bestand. Bei den Treppen in den Gebäuden aus der Jahrhundertwende handelt es sich meistens um sogenannte Hartholztreppen. Dieser Begriff ist in der Norm nicht definiert, doch zu der damaligen Zeit war es Stand der Technik, daß die vorhandenen Laubhölzer als Hartholz definiert und somit bedenkenlos eingebaut wurden. Nach heutigem Wissensstand ist Buche aus brandschutztechnischer Sicht kein Hartholz, obwohl das Raumgewicht dem der Eiche gleicht. Die ermittelte Abbrandrate gleicht der von Nadelhölzern. Im Bestand sind hierbei meistens folgende Holzstärken anzutreffen: Wangen: 50 - 80 mm, Trittstufen: 45 - 55 mm, Setzstufen (Stellbrett): 18 - 25 mm. Die Unterseiten der Läufe und Podeste sind teilweise mit einem Putz versehen. Der Aufbau entspricht dem von Holzdecken (Holzbalkendecken). Weiterhin werden die verschiedenen Treppentypen Blockstufentreppe (gesamte Stufe aus Vollholz), eingeschobene Treppe (meistens offen, ohne Setzstufen => schnelle Brandausbreitung und Verrauchung), gestemmte Treppe (Tritt- und Setzstufen, am häufigsten im Bestand), aufgesattelte Treppe (Trittstufen, mit und ohne Setzstufen) sowie einige Sonderformen von Treppen beschrieben. Bei der betrachteten Gebäudeklasse kann bei fehlenden Setzstufen keine ausreichende Sicherheit für die flüchtende Person und Feuerwehr erzielt werden. Weiterhin ist zu beachten, daß die Treppen in Altbauten schon sehr trocken sind und seit Jahrzehnten mit Bohnerwachs behandelt wurden. Dies begünstigt zusätzlich eine schnelle Brandausbreitung. Bei der Beurteilung des Abbrandverhaltens dieser Treppenkonstruktionen können aus diesen Gründen nicht Holzkennwerte, wie z.B. die Einbrenntiefe von frisch eingebautem Holz, verwendet werden. Im Treppenraum müssen in Gebäuden der betrachteten Gebäudeklasse 4 alle Wände und Decken in der Bauart von Brandwänden ausgeführt

werden. Im Bestand ist dies nicht immer der Fall. Die Wände sind entweder verputzt, oder sie sind mit Nut- und Feder-Brettern verkleidet. Diese Holzverkleidung besteht meistens aus Weichholz und ist mit einem Anstrich versehen. Sie ist auf einer Unterkonstruktion befestigt, um eine Hinterlüftung der Verschalung sicherzustellen. Dies ist aus der Sicht des Brandschutzes ein Problem, denn diese Hinterlüftung wirkt beim Brand wie ein Kamin. Die Brandübertragung in die oberen Geschosse ist vorprogrammiert, denn die Feuerwehr kann den Brand hinter der Verkleidung nicht sinnvoll bekämpfen. Früher wurde in Keller- und Wohnungsdecken unterschieden. An die Kellerdecken wurden höhere Ansprüche gestellt. Sie bestehen aus Materialien der Baustoffklasse A. Die Wohnungstrenndecken wurden oft in einer Holzkonstruktion ausgeführt. **Bild 5** zeigt ein Beispiel für eine Holzbalkendecke nach [9]. Bei steigender Temperatur bekommt der Putz Risse und fällt ab. An diesen Stellen fängt der Putzträger Feuer und kann somit sehr schnell den Blindboden entzünden. Die Schüttung fällt heraus und der Feuerüberschlag auf den darüberliegenden Dielenboden findet statt. Die Feuerwiderstandsdauer liegt weiter unter F 30. Die Geschoß- und Zwischenpodeste sind vom gleichen Aufbau wie die Decken. Der Podestbalken ist oft sichtbar ausgelegt. Auf jedem Zwischenpodest ist ein Fenster angeordnet. Bei der damaligen Planung ging man davon aus, daß eine flüchtende Person von Fenster zu Fenster fliehen kann, um dort jeweils neuen Atem zu holen. Desweiteren befinden sich häufig Toilettenanlagen auf den Zwischenpodesten. Die Wohnungseingangstüren bestehen zum Teil aus Vollholz, zum Teil aus Verglasungen. Über der Tür ist oft wegen der Belichtung der Wohnungsflure zusätzlich ein Oberlicht eingebaut. Diese Verglasungen versagen im Brandfall sehr schnell. Die Türzargen sind eingeputzt und in massiver Holzbauweise ausgeführt. Die Feuerwiderstandsklasse einer Wand darf normalerweise eine Stufe niedriger sein als die der Wand selbst. (Brandwand/T90-Tür selbstschließend; F90-Wand/T30-Tür, selbstschließend; F30-Wand/Tür ohne definierten Feuerwiderstand, nicht selbst schließend, evtl. vollwandig und dichtschießend. In den Gebäuden aus dem Bestand entsprechen oft die Umschließungsflächen keiner Klassifizierung.

**Beilicke et al. [10]** befassen sich in ihrer Untersuchung schwerpunktmäßig mit der Bewertung bestehender Deckensysteme (Holzbalkendecken), weiterhin mit Wandkonstruktionen, Wand- und Deckenbekleidungen. Wandverkleidungen sind mit 2 bis 3 cm Abstand auf dem Untergrund befestigt (Luftzirkulation). Im Brandfall erhöht dieser Abstand die Kaminwirkung, und das Feuer kann sich schneller ausbreiten als bei der Verkleidung ohne diesen Zwischenraum. Weiterhin werden Ausbauelemente wie Türen, Fenster, Trennwände und Zählerschränke sowie verschiedene Treppenkonstruktionen und Dachkonstruktionen mit Aussagen zur Feuerwiderstandsdauer

behandelt. Zur Einschätzung bzw. Ermittlung des Feuerwiderstandes von Holzverbindungen spielt die Kenntnis der verschiedenen Verbindungsarten und ihr Brandverhalten eine wichtige Rolle. Einfache bzw. klassische Holzverbindungen (z.B. zimmermannsmäßige Holzverbindungen) sind in einem Brandfalle wirkungsvoller als mit Metallteilen ausgerüstete Holzverbindungen. Im Brandfall sind es die Metallteile, die zuerst versagen. Des weiteren tragen diese Metallteile wegen ihrer guten Wärmeleitfähigkeit zur thermischen Zerstörung in ihrer unmittelbaren Umgebung bei.

Nach Knödler et al. [4] ergeben sich im Altbau Schwächen, wie sie zu Hunderten in alten Häusern anzutreffen sind:

1. Treppen, Treppenräume und Treppengeländer in diesen Gebäuden sind meistens nicht feuerbeständig bzw. bestehen aus brennbaren Baustoffen. Die Treppenanlagen brennen selbständig weiter und ermöglichen, durch die hölzerne und transparente Geländerkonstruktion (Staketen) die Brandübertragung auf sämtliche Geschosse bis in den Dachraum.
2. Wohnungsabschlußtüren zu Treppenräumen sind nicht dichtschießend, Treppenraumtüren zu allgemein zugänglichen Fluren sind nicht dicht- und selbstschließend. Diese Türen haben zum Teil Normalglasflächen, die vermutlich schon in einer sehr frühen Brandphase zerplatzen (**Bild 3.2.2**). Möglicherweise stehen die Treppenraumtüren auch offen, da wegen der Einzelzimmer-nutzung die eigentlichen Wohnungsflure wie allgemein zugängliche Flure genutzt werden. Aber auch die Türen, die keine Glasflächen haben, sind zum Teil mit so dünnen Füllungen (Holzspiegeln) ausgestattet, daß auch diese schon nach relativ kurzer Zeit durchbrennen.

### **3.2 AUSFÜHRUNGSFORMEN VON TREPPEN- UND TREPPENRÄUMEN AUS HOLZ**

Die **Bilder 2 und 3.1 bis 3.3** zeigen einige Ausführungsformen und Beispiele für Treppen und Treppenräume. Diese und weitere hier nicht aufgeführte Treppenbauformen mit den entsprechend gestalteten Treppenräumen sowie den verwendeten Materialien haben einen Einfluß auf die Brand- und Rauchausbreitung sowie auf die Ventilationsbedingungen im Treppenraum [11, 12].

Nach Kress [13] dürfen für Treppen nicht wahllos alle Hölzer verwendet werden. Einzelne Teile, z.B. die Tritte und Zwischenpodeste, nützen sich schneller ab. Der rascheren Abnützung dieser Teile ist bei der Auswahl des Holzes Rechnung zu tragen. Der Abnutzungsgrad hängt weiterhin

davon ab, wie oft die Treppe benutzt wird. Weiterhin führt die Benutzung von Stahlspänen und Stahlbürsten zu einer Zerstörung der Holzterrasse. Jeder dieser Reibe- oder Schabegänge entfernt eine kleine Schicht Holz. Dies kann in einem Jahr zu einem Abtrag von 3 - 4 mm Holzdicke führen. Weiche Holzstellen werden evtl. schon durch einen Reibegang um 1 bis 2 mm geschwächt. Diese Abnutzung käme auch im Brandfall zum Tragen, da aufgrund einer geringeren Materialstärke die Tragfähigkeit unter Brandbelastung früher einen kritischen Wert erreichen würde.

Weiterhin beeinflussen Überzugsmittel von Treppe, Treppengeländer, Podesten und Wandverkleidungen die Entzündungsfähigkeit des Holzes. Es kommen hierbei Reaktionsharzlacke wie säurehärtende Lacke, Polyurethanlacke und Polyesterlacke; Lösemittellacke wie Nitrozelluloselack und natürliche Harze (z.B. Bernstein, Schellack etc.), Öle (z.B. Teaköl), Firnisse (z.B. Leinölfirnis), wasserverdünnbare Lacksysteme, Lasuren, Alkydharzlacke und Wachse (z.B. Bienenwachs (tierisches Wachs), Karnaubawachs (pflanzlich: Wachspalme), Paraffin (pflanzlich: Braunkohle, Mineralöl), Montanwachs (pflanzlich: Braunkohle), gereinigtes Erdwachs (mineralisch)) zur Anwendung. Als Lösungsmittel kommen bei den entsprechenden Lacken, Ölen und Wachsen Ester, Ketone, Alkohole, Öle, Benzol und Ether zum Einsatz (s. Nutsch, W. et al. [14]). Weiterhin bestimmen die Holzart, die Oberflächengüte und die Holzfeuchtigkeit die Entzündungsfähigkeit des Holzes.

Nach Steinmetz und Gösele [12] werden im Treppenaufbau die in Tabelle 3 aufgeführten Werkstoffe eingesetzt.

### 3.3 BRANDSCHUTZTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN VON HOLZ

Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen können eine erstaunlich hohe Feuerwiderstandsfähigkeit besitzen, obwohl sie im Gegensatz zu Mauerwerk, Stahl oder Stahlbeton aus einem brennbaren Baustoff bestehen (siehe Kordina, Meyer-Ottens [15, 16]). Holz kann eine Feuerwiderstandsdauer von F-0 bis F-180 aufweisen. Sie ist abhängig von den Abmessungen und der Brandbeanspruchung des Bauteils. Je mehr Oberfläche dem Feuer ausgesetzt ist, desto größer ist der Abbrand, und somit wird die Feuerwiderstandsdauer verringert. Es wird in ein-, zwei-, drei- oder allseitiger Brandbeanspruchung unterschieden.

Die Entzündungstemperatur und die Abbrandgeschwindigkeit von Holz hängen von der Erwärmungsdauer, dem Feuchtigkeitsgehalt, der Rohdichte, der Porenstruktur und dem Harzgehalt ab. Weiterhin ist die spezifische Oberfläche sowie die eigentliche Oberflächenbeschaffenheit des Bauteils, verbunden mit den evtl auftretenden Schwindrissen, entscheidend. Die spontane Entzündung kleiner Holzproben tritt bei Temperaturen von ca. 350°C ein. Bei langanhaltender Erwärmung (> 20 Std.) kann eine Temperatur von 120°C schon zu einer Entzündung führen. Weiterhin hat die Feuchte einen großen Einfluß auf die Entzündbarkeit des Holzes. Holz mit einem Feuchtegehalt < 20 % ergibt hierdurch keine baupraktisch wertbare Schutzwirkung.

Die Abbrandgeschwindigkeiten bei Holzfeuchten < 20 % betragen z.B. für Buche: ca. 0,8 mm/min, Fichte: ca. 0,7 mm/min, Eiche: ca. 0,4 mm/min - 0,6 mm/min. Obwohl Buche eine höhere Rohdichte als Fichte hat, zeigt Buche eine höhere Abbrandgeschwindigkeit als Fichte. Dies ist auf die zerstreutporige Struktur und zahlreiche röhrenförmige Gefäße bei Buche zurückzuführen. Durch diese Röhren, ähnlich einem Kamin, werden die brennbaren Gase im Holz nach außen geleitet und können daher schnell abbrennen. Bei ringporigen Laubhölzern, z.B. Eiche, wird im Gegensatz dazu die thermische Zersetzung durch die Porenstruktur erschwert. Die Abnahme der Festigkeit bei den auftretenden Brandtemperaturen ist im Verhältnis zu anderen Werkstoffen geringer. Die verbleibenden Restquerschnitte der brandbeanspruchten Hölzer verfügen weiterhin über eine hohe Tragfähigkeit.

Holz verkohlt bei Brandeinwirkung an der Oberfläche. Die Wärmeleitfähigkeit von Holzkohle ist geringer als bei Holz. Die Holzkohleschicht bildet eine Schutzschicht, die den weiteren Abbrand des Holzes stark verzögert.

Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Holzes bleibt die Festigkeit und Tragfähigkeit der Bauteile verhältnismäßig lange erhalten. Durch die geringe thermische Längenänderung des Holzes werden im Brandfall Zwangskräfte auf benachbarte Bauteile vermieden. Ein weiterer Vorteil ist der Erhalt der vollen Tragfähigkeit im unverbrannten Kern, z. B. von Stützen und Trägern aus Holz. Weiterhin kündigt Holz im Gegensatz zu Stahl im Brandfall durch ein charakteristisches Knistern den Zusammenbruch des Bauwerks an, was bei Lösch- und Rettungsarbeiten von lebenswichtiger Bedeutung sein kann.

## **4. BRÄNDE UND DARAUS RESULTIERENDE BESONDERE GEFAHREN IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN**

### **4.1 BRÄNDE**

Bei **Kabat [1]** finden sich Angaben zum Brandverlauf und Lösch- und Rettungseinsatz bei ausgewählten Großbränden in Baudenkmälern sowie zu den Brandursachen in Baudenkmälern und Kirchen in Deutschland.

Bei den Brandursachen hat sich die nachfolgende Reihenfolge mit abnehmender Häufigkeit gezeigt:

1. Vorsätzliche Brandstiftungen
2. Defekte oder fahrlässig genutzte elektrische Anlagen
3. Feuerungsanlage (Feuerstätte, Heizrohr, Schornstein)
4. Fahrlässigkeit (offenes Feuer, Zigarette u.a.)
5. Dach- und Bauarbeiten (Schweißen, Löten, Abbrennen)
6. Blitzschlag
7. Kerzen
8. Defekte mechanisch-technische Anlagen
9. Brände in Nachbargebäuden
10. Sonstige (Weihrauchkessel, Gasexplosion, Feuerwerkskörper, Selbstentzündung etc.) und unbekannte Brandursachen.

Brände entstehen meistens an drei Stellen:

1. in Räumen, die intensiv genutzt werden, wie Gaststätten, Versammlungsräume und Wohnungen,
2. in Dachräumen, an Dachstühlen und Turmhelmen sowie
3. in Hohlräumen von Holzbalkendecken.

Die Brandentdeckungszeit variiert in Abhängigkeit von der Brandursache: Sie kann von wenigen oder Bruchteilen von Minuten bei Brandstiftungen oder vorhandenen Rauchmeldern bis zu mehreren Stunden oder Tagen bei Schmelbränden in unzugänglichen Dachböden, verursacht



durch thermische Defekte oder Kamine, betragen. Viele Brände in Baudenkmälern brechen in der Nacht aus und breiten sich dann sehr schnell aus, vor allem an schwer zugänglichen Holzkonstruktionen und der brennbaren Ausstattung. Dabei schwelen dicke Holzbalken tagelang, und sie können wegen der tragenden Funktion nicht immer eingerissen werden. Die Branddauer, ohne Nachlöschen, kann von 1,5 bis über 10 Stunden betragen und liegt durchschnittlich bei 3 - 4 Stunden. Es muß hierbei betont werden, daß die moderne Löschtechnik und Organisation der Brandbekämpfung keinen entscheidenden Einfluß auf die Verkürzung der Branddauer in Baudenkmälern hat. Es entstehen oft erhebliche Schäden sowohl durch direkte Einwirkung des Feuers als auch durch Rußbeaufschlagung von Bauteilen und Kunstwerken sowie durch Löschwasser in vom Feuer nicht erfaßten unteren Geschossen. Obwohl meistens Massivbauten, sind Baudenkmäler unter maßgeblicher Verwendung von Holz errichtet worden. Dazu zählen oft ausgedehnte, hohe und ausgetrocknete Dachstühle, Holzbalkendecken (verkleidet mit Brettern und mit unzugänglichen Hohlräumen), Wandflächen mit Holzvertäfelung, hängende Holzgewölbe und Holztonnen, offene und ausgedehnte Holztreppe. Begünstigend auf eine Brandausbreitung wirken sich die innere Anordnung der Räume und vertikale offene Verbindungen aus. In erster Linie erhöht sich die Gefahr der Brandausbreitung infolge fehlender Brandabschnitte und verschiedener Schächte (z.B. verdeckte Lüftungskanäle und Warmluftschächte). Diese Schächte sind meistens aus Holz und oft in Decken verdeckt verlegt. Wegen dieser angeführten Mängel im vorbeugenden Brandschutz besteht bei vielen Baudenkmälern eine starke Brandausbreitungsgefahr für die Nachbarschaft (z.B. enge Altstadtkerne). Besonders brennende Kirchen und Schlösser erzeugen in der Vollbrandphase des Dachstuhles oder der Turmspitze sehr starkes Flugfeuer. Ohne automatische Brandmeldeanlagen können sich Brände an Holzdachstühlen, in Ausstellungsräumen, in Kirchenschiffen, an Holztreppeanlagen, in Lagerhäusern, in Holzbauten schnell zu Großbränden entwickeln. Besondere Aufmerksamkeit in bezug auf die Brandgefährdung gilt den Dachstühlen, Dachräumen und Turmdächern. Nicht nur alte Dächer, sondern auch neue Dächer sind gefährdet, der Austrocknungsgrad ihrer Holztragwerke ist möglicherweise zwar niedriger, aber dafür haben sie die gleichen Formen und Höhen (z.B. Kirchturmspitze für wirksame Löschröhren unerreichbar) wie die alten Dächer und noch zusätzlich alle heutigen brennbaren Baustoffe. Metalleächer über Baudenkmälern (z.B. Kupferblech- oder Zinkblechdächer) stellen zwar eine nichtbrennbare Eindeckung dar, in Verbindung mit brennbaren Unterkonstruktionen sind sie jedoch sehr schwer zu löschen. Metalleächer erschweren den Zugang mit Löschwasser zu den Zwischenräumen in der Dachkonstruktion und verhindern den Rauch- und Wärmeabzug aus den Dachräumen.

Nach **Kabat [5]** verlaufen Brände in Altbauten oft nach folgendem Schema ab:

- durch überlastete Elektrokabel, infolge einer Brandstiftung oder anderer Ursachen, arbeitet sich das Feuer unentdeckt zuerst durch Holztüren und an der Holzterappe hoch
- Elektroeinbauten, Einbauschränke, abgestelltes Mobiliar und die Holzterappe selbst bieten genügend Nahrung für die Weiterentwicklung des Feuers; der Treppenraum wird schnell verraucht
- der Treppenraum wirkt für das Feuer wie ein Kamin, die Flammen erfassen schnell die ganze Holzterappe, der Brand wird von den Bewohnern erst spät entdeckt, die Terappe ist daraufhin nicht mehr begehbar
- die alten Wohnungsabschlußtüren und hölzernen Abtrennungen zwischen Wohnungen und Treppenraum leisten dem Feuer nur kurz Widerstand, Feuer und Rauch breiten sich in die Wohnungen der Obergeschosse aus
- Menschen springen aus den Fenstern auf die Straße, in verqualmten Wohnungen, meistens am Ausgang oder am Fenster, ersticken Personen durch Rauchvergiftung
- die zu diesem Zeitpunkt ankommende Feuerwehr kann einen Innenangriff nicht mehr durchführen, die Menschen im Haus können von der Feuerwehr nur über Fenster, Leitern oder Sprungretter gerettet werden
- das Feuer breitet sich in den Hohlräumen der Decken aus, die Holzbalkendecken brennen an mehreren Stellen durch und sind nicht mehr begehbar
- die im Innenangriff für den Löscheinsatz nicht erreichbaren Geschosse brennen aus

Wie die Brandverläufe zeigen, hat der bauliche Bestand bestimmte Brandgefahren sowohl für die Bewohner und Besucher der Altbauten, für die Einsatzkräfte als auch für die historische Bausubstanz und Ausstattung der Bauten zur Folge:

- Wirksame Rettungsmaßnahmen können meist nur von der Straßenseite her durchgeführt werden
- Seiten- und Hofgebäude sind schwer erreichbar und brennende Altbauten verhalten sich im Brandfall als Feuerbrücken
- Holzfachwerkverbände haben keine Brandwandqualitäten und können zu einer Brandausbreitung beitragen
- Holzdachstühle sind oft unzugänglich und können nicht wirksam gelöscht werden, ausgebaute Dachräume haben unzureichende Rettungswege

- Holztreppen, die brennen, bieten keine Sicherheit als Flucht- und Angriffsweg
- Trennwände und Türen zwischen Werkstätten, Gaststätten und Läden und dem Treppenraum des Hauses sind im Brandfall nicht immer brandschutztechnisch wirksam
- Wohnungsabschlußtüren und Trennwände zwischen Wohnung und Treppenraum sind brennbar und nicht rauchdicht
- Feuerwehrezufahrten und Aufstellflächen werden erheblich behindert

Die **Bilder 4.1, 4.2, 4.3 und 4.4** zeigen einige Beispiele für die Brand- und Rauchausbreitung auf Treppen und in Treppenträumen nach **Mayr [2]**.

Anhand eines Wohnhausbrandes in einem Hamburger Stadtteil (fünfgeschossiges Wohnhaus aus dem Jahre 1877) geht **Jens [17]** auf die Sicherheitsprobleme bei Altbauten ein.

Die Frage, welche zusätzlichen Risiken durch die baulichen Verhältnisse den unglücklichen Verlauf des Brandes mitbestimmt haben, ergibt sich zwangsläufig für jeden am Einsatz Beteiligten. Sollte man aber nicht weitergehen und sich fragen, wieweit man bereit sein kann, solche brandschutztechnischen Mängel zu tolerieren, wie zum Beispiel:

- Hölzerne Treppen
- Gläsernes Treppenraumoberlicht
- Wohnungseingangstüren mit Glasausschnitten
- Treppenraumwände, die nicht einmal den Anforderungen, die an feuerhemmende Wände gestellt werden, genügen
- Fenster von Vorrats- und Sanitärräumen, die in den Treppenraum einmünden.
- Eingebaute Abstellräume unter der Holztreppe

Die Aufzählung ließe sich sicher noch um viele Punkte verlängern, soll hier aber nur deutlich machen, welche einschneidenden Umbaumaßnahmen nötig wären, um die Sicherheit der Bewohner auch nur annähernd zu gewährleisten.

**Gihl [18]** berichtet über einen Wohnhausbrand in einem viergeschossigen Wohngebäude mit ausgebautem Dachgeschoß aus dem Jahre 1892. Das Feuer war im hölzernen Treppenverschlag des Erdgeschosses gelegt worden. Treppenraumbrände in Altbauten, bei denen nur die Umfassungswände massiv sind, können sich in kürzester Zeit vom Erdgeschoß bis zum Dach ausbreiten, zumal wenn andere brandbegünstigende Umstände dazukommen. Im vorliegenden Fall waren die Holztreppen zundertrocken und durch das jahrzehntelange Bohren sicherlich gut

„aufbereitet“. Die bekannte „Kaminwirkung“ wurde begünstigt durch ein sehr enges Treppenhaus mit zu wenig und zu kleinen Abzugsöffnungen für die heißen Brandgase. Die mit gewöhnlichem Glas versehenen Wohnungseingangstüren und die ebenfalls normal verglasten Wohnungsfenster im Treppenraum konnten dem Branddruck nicht lange widerstehen. Von geretteten Bewohnern wurde berichtet, die Wohnungseingangstüren im 2. und 3. OG seien „explosionsartig“ aufgefliegen. Die ständige Luftzufuhr durch das Treppenhaus bewirkte eine ungewöhnlich intensiv und schnell verlaufende Verbrennung in den Wohnungen des 2. und 3. OG. Selbst die Holzbalkendecke zwischen diesen Geschossen brannte teilweise durch. Wieder zeigte sich deutlich, daß der zuerst eintreffende Löschzug kräftemäßig nicht allzu stark von der Sollstärke abweichen darf, wenn verschiedene Rettungsmaßnahmen in schneller Folge nacheinander oder gleichzeitig durchzuführen sind. Die Unterbesetzung beim Sprungtuchmanöver wirkte sich nicht nachteilig aus, weil die Personen nur aus dem 1. OG springen mußten. Der länger andauernde, technisch bedingte Ausfall von Drehleitern ist - insbesondere bei einer Folge von arbeitsfreien Feiertagen - nicht immer zu vermeiden. Steht keine Reservedrehleiter zur Verfügung, so vergehen kostbare, unter Umständen entscheidende Minuten, bis die Drehleiter der Nachbarwache eingetroffen ist. Reservedrehleitern sollten daher auch bei Großstadtfeuerwehren, die auf allen anderen Wachen fahrzeugmäßig voll ausgerüstet sind, vorhanden sein.

**Knödler et al. [4]** berichten über einen Brand in einem Wohn- und Geschäftshaus aus dem Jahre 1908 mit 4 Geschossen, einem ausgebauten Dachgeschoß, einem geräumigen Dachboden und zwei unterirdischen Geschossen.

Eine Begehung nach dem Brand ergab folgende Erkenntnisse:

- Die Brandausbruchsstelle befand sich im Treppenhaus im Erdgeschoß in einem Berg von Müll und Abfällen.
- Der Treppenraum brannte selbständig bis in das 2. DG und brach dort durch die Dachhaut. Die Holzterasse selbst behielt, bedingt durch den unterseitigen Verputz, ihre Tragfähigkeit. Die Handläufe und Treppengeländer waren restlos weggebrannt.
- Nur wenige Türen hielten dem Feuer stand. Hierdurch drang Feuer und Rauch auch in die Wohnungen bis in die einzelnen Zimmer. Die treppenraumnahen Räume waren dabei am stärksten betroffen.

Im vorliegenden Fall war wenige Jahre zuvor ein Bauantrag zur Renovierung und Nutzungsänderung als Hotel eingereicht worden. In der Bearbeitung des Antrags wurden auch die brand-

schutztechnischen Belange eingebracht. Da das Vorhaben aber dann nicht realisiert wurde, änderte sich letztlich nichts. Weiterhin traten Mängel in der Nutzung auf. Die Einzelzimmernutzung macht aus jedem einzelnen Zimmer eine selbständige Nutzungseinheit im Sinne der Baugesetze. Sie ist deshalb brandschutztechnisch nur zulässig, wenn für jede Nutzungseinheit jeweils ein gesicherter 1. und 2. Rettungsweg vorhanden ist. Ein gesicherter 1. Rettungsweg war für keinen der Bewohner vorhanden. Es fehlten feuerhemmende Flurwände, dichtschießende Zimmertüren sowie geeignete Treppenraumabschlußtüren. Ein gesicherter 2. Rettungsweg in Form eines anleiterbaren Fensters war mindestens in dem Zimmer neben der Brandwand im Dachgeschoß nicht vorhanden. Das Dachflächenfenster war zu klein und zu hoch, als daß es von der in diesem Raum lebenden Mutter mit ihrem Kind hätte erreicht werden können. Dies wurde für beide in tragischer Weise zum Verhängnis. Im Treppenraum im EG waren erhebliche Mengen an brennbaren Gegenständen und Materialien gelagert. Diese Stoffe, die nicht nur den 2. Rettungsweg aus der Gaststätte blockierten, stellten neben der Tatsache, daß diese den Rettungsweg Treppenraum einengten, auch eine große Brandlast dar. Dort wurde schließlich auch die Brandausbruchsstelle lokalisiert. Die Haustür war nie abgeschlossen und stand sogar häufig offen. Es war auch bekannt, daß in dem Treppenraum immer wieder Fixer beobachtet wurden, die dort mit offenem Feuer hantierten.

Als Beispiel für einen Brand in einem historischen Gebäude soll das Großfeuer im Maltesergebäude der Amberger Altstadt im Januar 1993 beschrieben werden (siehe Lehmeier, et al. [19]). Es wurde u.a. als Bibliothek, Internat, Gaststätte, Brauerei und Pfarrei benutzt. Das Gebäude ist durch nachträglich eingebaute Brandwände unterteilt. Die Brandwände, die sich an den Stirnseiten des jeweiligen Gebäudeflügels befinden, weisen einige Schwachstellen auf, z.B. Holztüren an Stelle von Brandschutztüren und durchgehende Dachlattung über der Brandwand. Weitere Gefahrenpunkte sind die Innendecken des Internats aus Holz (Fehlboden). Lediglich in der Bibliothek befindet sich eine automatische Brandmeldeanlage. Der Brandausbruch erfolgte im 2. OG, in einem Zimmer des Internats. Die Zufahrt der Löschfahrzeuge über die rückwärtige Einfahrt war durch drei verschlossene Tore erschwert. Aufgrund starker Verqualmung der Treppenhäuser und Flure bestand akute Gefahr für die noch im Gebäude befindlichen Schüler. Die Brandwache erwies sich als schwierig, da immer wieder Glutnester den Brandschutt zum Aufflammen brachten. Ein Betreten des Gebäudes war wegen der Einsturzgefahr nicht mehr möglich. Die Feuerwehr mußte eine Woche lang zur Nachsicht und zu Nachlöscharbeiten mehrmals täglich ausrücken. Der Brand war durch einen Kurzschluß in der abgehängten Decke

eines Aufenthaltsraumes im 2.OG ausgebrochen. Es wurde u.a. festgestellt, daß so alte Gebäuden mit ihren z.T. riesigen Fehlböden durch den nassen schweren Brandschutt schnell in Einsturzgefahr geraten und bei den unvermeidlich notwendigen Nachlösch- und Aufräumarbeiten eine nicht zu unterschätzende Gefahr darstellen.

## 4.2 BESONDERE GEFAHREN

Nach **Kabat [5]** stehen nur sehr begrenzte Möglichkeiten zur Verfügung, Altbauten und Bau-  
denkmäler durch bauliche und technische Maßnahmen vor Bränden zu schützen. Auf die Sicher-  
stellung des zweiten Rettungsweges bei der Aufstockung, beim Dachgeschoßausbau oder bei der  
Neuaufteilung der Geschosse wird selten geachtet. Beim Ausbau von Altbauten wird oft nicht auf  
das Schließen aller Rohr- und Kabeldurchbrüche in Wänden und Decken geachtet. Altbauten  
stellen durch ihre Bausubstanz, aber auch durch ihre Lage und Nutzung, eine erhöhte Brandge-  
fährdung dar. Die überwiegende Zahl der Brandtoten und Verletzten ist in älteren Wohnhäusern  
zu beklagen.

Wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben, können nach **Limprecht [9]** die nicht klassifizierten  
Wohnungseingangstüren das Ausbreiten des Brandes nicht verhindern. Der Feuerübersprung mit  
seiner Druckerhöhung im Treppenraum ist die Ursache für das Versagen der meisten Türen.  
Hierbei müssen zwei Fälle unterschieden werden:

Fall 1: Brand auf der Außenseite.

Fortschreitendes Brandszenario im Treppenraum, das die Tür von außen belastet.

Fall 2: Brand in der Wohnung.

Die Tür muß dem Feuer von innen standhalten, um die Brandausbreitung in den Treppen-  
raum und somit evtl. auch in die anderen Wohnungen zu verhindern.

Die Türen bei den Gebäuden im Bestand haben meistens keine ausreichende Feuerwiderstands-  
dauer. Sie halten im Brandfall im geschlossenen Zustand in der Regel keine 10 Minuten dem  
Feuer stand. Der Abschluß zum Keller erfüllt meist keine besonderen Anforderungen und besteht  
in der Regel aus einer normalen Tür. Die Grundelemente eines Geländers sind Handlauf, Stützen  
und Ausfachung der Geländerfelder mit Holzstäben. Die Abbrandrate von diesen trockenen und  
evtl. mit einem Farbanstrich versehenen Holzteilen ist beträchtlich.

Nach **Limprecht [9]** darf sich in einem sicheren Rettungsweg keine Brandlast befinden. Dies ist der größte Widerspruch zum Vorhandensein von Holzkonstruktionen in Rettungswegen. Das vorhandene Holz reicht aus, um einen Treppenraum für die Flucht und den Feuerwehrangegriff unbrauchbar zu machen. Die meisten Holztreppe im Bestand als notwendige Treppe für den ersten Rettungsweg entsprechen nicht den Anforderungen der Musterbauordnung. Ihr Aufbau ist für die Sicherstellung einer Fluchtmöglichkeit und eines Angriffs durch die Feuerwehr nicht geeignet. Die Wohnungseingangstüren schließen direkt an den Treppenraum an und bei der Rauchfreihaltung hofft man auf die passive Entrauchung durch Treppenraumfenster. Ist der vorhandene Treppenraum innenliegend, kann eine Rauchfreihaltung im Brandfall nicht gewährleistet werden. Die teilweise, um eine natürliche Belichtung sicherzustellen, eingebauten Glasdächer in den Treppenraumköpfen sind aus Sicht des Brandschutzes bedenklich, da im Brandfall die herunterfallenden Teile für die Flüchtenden eine zusätzliche Gefahr bedeuten. Falls der erste Rettungsweg (Treppenhaus) durch Rauch und Flammen nicht mehr passierbar ist, muß der zweite Rettungsweg benutzt werden. Bei Gebäuden im Bestand wird oft deutlich, daß dieser nicht ausreichend angelegt wurde und teilweise nur mit zusätzlichen lebensgefährlichen Aktionen zu bewältigen ist (z.B. Fenster mit schmalen Gesimsen). Weiterhin sind Innenhöfe evtl. nicht befahrbar, da die Abmessungen der Durchfahrten nicht für die heutigen Einsatzfahrzeuge ausreichen. Der Hof ist oftmals so klein, daß noch nicht einmal eine Schiebeleiter aufgestellt werden kann. Weitere Problempunkte sind:

- Fehlende Anleiterstellen, um eine gesicherte Rettung der Betroffenen zu ermöglichen.
- Oberleitungen von Straßenbahnen behindern das (ideale) Aufstellen der Rettungsleiter. Oft muß während eines Einsatzes umgestellt werden.
- Wohnungseingangstüren ohne Klassifizierung schützen die Nutzungseinheiten nicht ausreichend vor den Brandgefahren, um ein gesichertes Warten auf fremde Hilfe (entspricht dem zweiten Rettungsweg) zu ermöglichen.
- Die nicht einzuschätzende Reaktion der bedrohten Personen. Sie werden durch das Feuer in Panik versetzt und springen „kopflös“ aus dem Fenster. Die Folgen sind meist tödlich.
- Enge Gehwegsituationen werden durch Buswartehäuschen und Reklameschilder verstärkt und lassen teilweise noch nicht einmal eine Rettung mittels Sprungretter zu. Die Gefahr ist, daß sich Personen beim Sprung aus den Fenstern verletzen können. Auch die Sicherheit der Feuerwehrleute, die unten sichern müssen, ist nicht ausreichend gewährleistet.

Die Situation ist in der Altbausubstanz aus brandschutztechnischer Sicht oft sehr kritisch. Die fehlenden baulichen Maßnahmen führen oft zu tödlichen Folgen. Der Einsatz des Sprungretters

ist bei Gebäuden im Bestand immer wieder nötig, um eine Rettung aus den oberen Geschossen zu ermöglichen. Es stellt sich heraus, daß ein Handlungsbedarf bei diesen Gebäuden dringend notwendig ist. Weiterhin findet sich bei **Limprecht [9]** eine Literaturuntersuchung zu Schadensberichten. Ein weiteres Problem stellt die Zeit bis zu Alarmierung dar. In den letzten Jahren erfolgte in 60 - 80 % der Fälle der Brandausbruch in der Zeit zwischen 22.00 und 5.00 Uhr, so daß wegen des Schlafes der Bewohner von einer längeren Reaktionszeit ausgegangen werden muß. In Deutschland wird die Einsatzstelle von der Feuerwehr durchschnittlich 15 Minuten nach der Alarmierung erreicht. In diesen Minuten breitet sich der Brand ungehindert aus. Die Folge ist, daß beim Eintreffen der Feuerwehr der Brand schon weit fortgeschritten und wegen der hohen Temperaturen im Treppenraum und dessen Verrauchung ein Angriff von innen nicht mehr möglich ist. Es kann nur die Rettung von außen vorgenommen werden. Eine Verrauchung des Treppenraumes im Brandfall ist bei weitem schlimmer einzuordnen als die Standzeit der Holztreppe. Aus diesem Grund muß der eingedrungene Rauch verdünnt und abgeleitet werden.

Nach den Untersuchungen in **Leipzig [8]** und von **Limprecht [9]** reichen schon kleine Stützbrandlasten aus, um eine Holztreppe in Brand zu setzen. Die dadurch entstehenden Brandgase reichen schon in kleinen Mengen aus, die Treppe für eine Flucht unbrauchbar zu machen. Bei Fortentwicklung des Brandes hat sich eindeutig herausgestellt, daß die Qualität der Wohnungseingangstüren nicht ausreichend ist, um einen „Warteraum“ für den Verbleib der Flüchtenden bis zum Eintreffen fremder Hilfe zu sichern. Der Feuerübersprung bei einem Wohnungsbrand in den Treppenraum kann weitere Nutzungseinheiten gefährden.

Nach **Gräser [20]** mußten sich die Feuerwehren in den letzten Jahren zunehmend mit der Problematik der Freisetzung toxischer Brandgase bei Bränden im Zusammenhang mit Kunststoffen auseinandersetzen. Nicht nur die Dioxin- und Furanbildung, sondern auch das Entstehen von Blau-, Salz- und Flußsäure als Verbrennungsprodukte verschiedener Kunststoffe, waren Gegenstand der Untersuchungen. Naturstoffe haben in der modereren Möbelindustrie sowie der Innenraumgestaltung heute einen festen Platz eingenommen. In der Arbeit werden Werkstoffe betrachtet, die als Naturprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft bei der Produktion von Einrichtungsgegenständen Anwendung finden. Pflanzliche Naturstoffe (Grundsubstanz: Cellulose) setzen sich hauptsächlich aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammen. Hierzu zählen Holz, Baumwolle, Flachs, Jute, Sisal, Kokos. Tierische Naturstoffe (Grundsubstanz: Faserproteine) bestehen hauptsächlich aus den Elementen Kohlenstoff, Wasser-



stoff, Sauerstoff und Stickstoff. Zu diesen Naturstoffen gehören Schafwolle, Leder, Seide und Federn (Daunen). Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, daß die wenigsten Naturstoffe in ihrer ursprünglichen Form zu finden sind. Sie sind durch Färbung, Veredelung oder Beschichtung behandelt oder mit synthetischen Materialien verbunden worden. Bei der Untersuchung der Verbrennungsprodukte wurde deutlich, daß die tierischen Naturprodukte außer CO, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O erhebliche Mengen toxischer Gase (Ammoniak, Blausäure (Cyanwasserstoff), Schwefeldioxid, nitrose Gase) bei ihrer Verbrennung freisetzen und damit verschiedenen Kunststoffen in keiner Weise nachstehen. Ursache für das Entstehen der toxischen Gase bei der Verbrennung ist der relativ hohe Stickstoffanteil. Pflanzliche Naturstoffe verbrennen zwar teilweise unter starker CO- und CO<sub>2</sub>-Bildung, hoch toxische Substanzen werden aber nur in sehr geringem Maße frei. Weiterhin entstehen bei der Verbrennung aller Naturstoffe Ruß als fester Bestandteil des Brandrauches. Auf die Verbrennungsprodukte von Verbundwerkstoffen oder Mischfasern konnte im Verlauf dieser Arbeit nicht eingegangen werden, da die Palette derer zu weitreichend ist und die Fachliteratur hierüber keine Aussagen macht. Gräser kommt zu dem Schluß, daß bei verstärkter Verwendung rein pflanzlicher Naturprodukte bei der Innenraumgestaltung im Brandfalle eine Senkung der toxischen Konzentrationen an Stickstoff und schwefelhaltigen Verbindungen auftritt.

Weitere ausführliche Angaben zu Schadstoffen bei Bränden, Toxikologie der Schadstoffe, Maßnahmen der Einsatzkräfte bei Bränden sowie Maßnahmen nach Abschluss der Brandbekämpfung finden sich in der **vfdb-Richtlinie "Schadstoffe bei Bränden"** [21] sowie bei **Buff und Greim** [22].

## **5. DURCHGEFÜHRTE BRANDVERSUCHE UND VERSUCHSERGEBNISSE**

### **5.1 BRANDVERSUCHE**

Zur Überprüfung der brandschutztechnischen Wirksamkeit von nachträglichen Verkleidungen an Holztreppe wurden in Leipzig im Jahre 1986 von **Rösler und Stiller** [8] Originalbrandversuche in einem Altwohngebäude durchgeführt: Entstehungsbrände im Treppenraum: Brandlegung auf dem Zwischenpodest. 500 g geknülltes Zeitungspapier und 150 g Polystyrolschaumverpackungen, welche an der Setzstufe entzündet wurden, genügten, um die Treppenlaufoberseite in Brand zu setzen. Der Abbrand eines Kinderwagens erfolgte relativ schnell und intensiv. Die darin

befindliche PU-Weichschaummatratze führt zu einer schnellen Verrauchung des Treppenhauses. Bewohner können hier zumindest zeitweilig den Rettungsweg nicht benutzen. Bei den Versuchen wirkt das Treppenhaus als Schornstein und es bildet sich ein aufsteigender Flammenstrom im Treppenauge. Davon wurden sowohl Treppengeländer als auch die unverkleideten Treppenwangen erfaßt. Es zeigte sich, daß die Treppe nach 7 bis 10 Minuten infolge Oberflächenbrandes als Rettungsweg nicht mehr nutzbar ist. Die Brandversuche mußten durch Löschangriff nach 13 bzw. 11 Minuten beendet werden, da eine Gefahr für den gesamten Treppenraum bestand. Der Brand eines hölzernen Schuhregals stellte für den Bestand der Treppe ebenfalls eine kritische Beanspruchung dar. Eine Brandweiterleitung auf den Podest erfolgte durch abfallende, brennende Holzteile und Wärmestrahlung. Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß schon durch geringe Mengen brennenden Materials im Treppenraum der Brand auf die Treppe übergreift und den gesamten Treppenraum unpassierbar macht.

Weiterhin wurden von **Rösler und Stiller [8]** Versuche durchgeführt, um die Wirksamkeit der Verkleidungen von hölzernen Treppenlaufunterseiten mit nichtbrennbaren Platten (Gipskarton (12,5 mm) auf Holzlattung) bei Brandeinwirkung auf den Treppenraum durch einen entwickelten Wohnungsbrand zu überprüfen. Es wurde ein Vergleichsversuch im gleichen Treppenraum mit unverkleideten Treppenläufen durchgeführt. Als kritische Beanspruchung des Rettungsweges wurde ein aus der Wohnungstür herausgeschlagener Flammenbrand angenommen. Es wurde dabei davon ausgegangen, daß die Bewohner die brennende Wohnung in Panik verlassen und die Wohnungstür offen bleibt. Der Flurbereich hinter der Eingangstür wurde in beiden Fällen von der Wohnung abgegrenzt und als Brandraum genutzt (Grundfläche: 4,30 m<sup>2</sup>, Raumhöhe: 3,34 m).

**Limprecht [9]** geht ebenfalls auf die im Jahre 1986 in Leipzig durchgeführten Originalbrandversuche in Altbaugebäuden **[8]** ein.

## **5.2 ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE AUS DEN BRANDVERSUCHEN**

Aus den Brandversuchen von **Rösler und Stiller [8]** ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die Bekleidung der Unterseiten von hölzernen Treppenläufen und Podesten mit nichtbrennbaren Deckschichten verzögert den Vollbrand im Treppenraum nur kurze Zeit. Die Zeitdifferenz bis zum Feuerübersprung beträgt ca. 5 Minuten.

- Die Menschenrettung ist sowohl bei geschützten als auch bei ungeschützten Treppenläufen dann praktisch unmöglich, wenn ein Wohnungsbrand auf den Treppenraum übergreift. (Rauch, Flammen, Wärmestrahlung).
- Eine wirksame Maßnahme zur Verzögerung des Übergreifens eines Wohnungsbrandes auf den Treppenraum wird darin gesehen, daß Wohnungseingangstüren in mehrgeschossigen Wohngebäuden zumindest dichtschießend (besser T 30) und mit einer Selbstschließeinrichtung versehen werden. Hierdurch ist der Treppenraum auch bei Wohnungsvollbränden für die Bewohner noch längere Zeit benutzbar.
- An diesen Türen erkennbare Schwachstellen müssen verändert werden. Dies sind insbesondere Verglasungen, dünne Holzquerschnitte und Oberlichte.

Ein Vergleich der Anforderungen entsprechend der Bauordnungen an die Treppenraumwände (Brandwände oder zumindest feuerbeständig), die tragenden Teile von Treppen (feuerbeständig oder feuerhemmend) und die Wohnungseingangstüren (dichtschießend) zeigt einen Widerspruch in der brandschutztechnischen Qualität.

## **6. BRANDSCHUTZKONZEPTE UND BRANDSCHUTZMASSNAHMEN IN ALTBAUTEN UND HISTORISCHEN BAUWERKEN**

### **6.1 BRANDSCHUTZKONZEPTE**

Nach **Beilicke [23]** sollte das Ziel der Sanierung bestehender Altbausubstanz aus brandschutztechnischer Sicht immer sein, nicht ein Maximum an technischen Möglichkeiten umzusetzen, sondern die brandschutztechnischen Probleme in erforderlichem bzw. nur unbedingt notwendigen Maß zu realisieren. Der Hauptaufwand für Altbausubstanz besteht im Gegensatz zum Neubau darin, daß nicht von vornherein klar ist, welche Lösung zu erbringen ist, sondern erst in einem mühevollen Analyse- und Entscheidungsprozeß geklärt werden muß, welche Maßnahmen wünschenswert, sicherheitstechnisch unverzichtbar und technisch möglich sind. Die zur Bewertung und zur Sanierung anstehende Altbausubstanz ist geprägt durch eine Vielfalt von Erscheinungsformen und durch unterschiedliche, zu berücksichtigende Details (z.B. Bauweisen, Baustoffe, Nutzungsänderungen)

Nach **Fischer [24]** ist primäres Ziel des entwickelten Brandrettungskonzeptes die Alarmierung und Information der von Bränden betroffenen Menschen und ihrer Helfer sowie die Sicherstellung der Selbstrettung.

- Schon in der Brandentstehungsphase (Schwelphase) bilden sich große Mengen hochtoxischer Rauchgase
- Rauchgase führen innerhalb weniger Minuten zu Bewußtlosigkeit und dann zum Tode
- Menschen werden häufig im Schlaf überrascht und unmittelbar bewußtlos
- in rauchgefüllten Räumen ist die Orientierung nahezu unmöglich

Die betroffenen Menschen müssen daher frühestmöglich gewarnt werden. Es muß ihnen technische Unterstützung zur Selbstrettung gegeben werden. Ohne frühzeitige Brandentdeckung kommt die Feuerwehr für die Menschenrettung häufig zu spät.

Daraus ergeben sich folgende Schutzziele:

- Brandentdeckung und Bekämpfung von Bränden in der Entstehungsphase
- Schnelle Alarmierung und Information der betroffenen Menschen
- Schnelle Alarmierung der Feuerwehr und/oder anderer hilfeleistender Stellen
- Eindeutiges Lokalisieren des Gefahrenbereiches
- Gute Orientierungsmöglichkeiten für Flüchtende und Einsatzkräfte
- Verringerung der Gesundheitsgefahren durch rauchfreie Rettungswege
- Aktiver Umweltschutz durch Minimierung von Rauchniederschlag und kontaminiertem Löschwasser

Zentrales Element des Brandrettungskonzeptes ist die Brandmeldeanlage. Sie entdeckt, alarmiert, informiert und steuert die übrigen Anlagen und Funktionen des gesamten Konzeptes, die selbstverständlich in ihren sonstigen Funktionen auch getrennt angesteuert werden können. Einige Anlagen müssen aus brandschutztechnischen Gründen darüber hinaus zusätzlich auch manuell angesteuert werden können. Bei der Betrachtung des Brandrettungskonzeptes muß zwischen öffentlichen Gebäuden und Privatwohnungen unterschieden werden. Was sich in Großprojekten sehr gut bewährt hat, wird in privaten Bereichen oft nicht ernst genommen, wie z.B. der Einbau von Brandmeldern. In Deutschland sind weniger als 3% der Haushalte mit Brandmeldern ausgestattet. Doch gerade im privaten Bereich kommen die meisten Menschen ums Leben. In den USA und Kanada sind Brandmelder vom Gesetzgeber vorgeschrieben. 80 % der Haushalte sind mit

Brandmeldern ausgerüstet; die Zahl der Todesopfer ist um 45 % zurückgegangen. In Großbritannien und Skandinavien haben mehr als 50 % der Haushalte einen Brandmelder. In Norwegen ist es seit 1990 Pflicht, in jedem Haushalt einen Brandmelder zu installieren. Dort schätzt man, daß durch diese Maßnahme jede Woche ein Menschenleben gerettet wird. Diese sogenannten Haushaltsbrandmelder sind aber nicht vergleichbar mit den automatischen Brandmeldeanlagen welche in öffentlichen Gebäuden und in der Industrie eingesetzt werden (z.B. keine Alarmweiterleitung zu einer hilfeleistenden Stelle außerhalb der Wohnung oder Ansteuerung von stationären Löschanlagen).

Da nach **Kabat [5]** der Bestand der Altbauten und Kulturdenkmäler sowohl bautechnisch als auch baurechtlich nicht jederzeit und auch nicht in vollem Umfang einen nachträglichen Brandschutz erlaubt, sind Brandschutzkonzepte erforderlich, die den Anforderungen des Denkmalschutzes gerecht werden, die Fehlplanungen und unnötige Konflikte vermeiden, denkmalgerechte Brandschutzlösungen für den Personenschutz finden und wirksame Brandschutzmaßnahmen auch für den Schutz der Kulturgüter entwickeln.

## **6.2 BRANDSCHUTZMASSNAHMEN**

Nach **Jens [17]** sollten die Behörden strengere Maßstäbe bei der Genehmigung und Mitfinanzierung von Althausanierungen anlegen und nur wirklich erhaltenswerte Gebäude zur Dauererhaltung als Wohnhäuser freigeben und unterstützen. Der Wohnwert eines Hauses sollte nicht nur an Komfort, Lage, Rendite, Preiswürdigkeit usw. gemessen werden, sondern auch und vor allen Dingen an der Sicherheit, die es bietet. Den Althausbesitzern, die die Feuersicherheit ihres Besitzes erhöhen wollen, sollte geraten werden, sich an die zuständige Baubehörde oder an die örtliche Feuerwehr zu wenden.

Einige Anregungen und Tips nach **Jens [17]** seien hier gegeben:

- Holztreppe unterseitig verputzen (nach **Rösler und Stiller [8]** keine deutliche Verbesserung)
- Glasausschnitte in Wohnungseingangstüren durch Drahtspiegelglas oder anderes feuerwiderstandsfähiges Material verschließen
- Fenster zwischen einer Wohnung und dem Treppenraum möglichst zumauern oder mit Glasbausteinen versehen
- Unnötige oder überflüssige Luft- und Lichtschächte feuerbeständig verschließen

- Aschkübel möglichst außerhalb des Hauses unterbringen, oder aber in feuerbeständige, extra dafür vorgesehene, verschließbare Räume einstellen
- Nicht zuletzt auf Sauberkeit und Ordnung achten. Dort, wo sowieso schon Abfall und Unrat liegt, wird schneller eine Zigarettenkippe dazugeworfen.

Nach **Kabat [1, 6]** sind aufgrund der Ergebnisse von Brandsicherheitsprüfungen vorbeugende Brandschutzmaßnahmen durchzuführen. Sie haben in erster Linie den Personenschutz und den Kulturgutschutz als Ziel.

Bei Brandsicherheitsprüfungen wird hierbei unterschieden zwischen

- betrieblichen Brandschutzmaßnahmen, z.B. regelmäßige Begehungen, Überprüfung haustechnischer Anlagen (elektrische Geräte, Kabel insbesondere z.B. in Dachstühlen, Uhrwerken, Orgelmotoren, Heizkörpern etc.). Es ist dabei besonders drauf zu achten, daß in Treppenträumen und Fluren elektrische Kabel nicht ohne weiteres offen verlegt und Elektroverteiler eingebaut werden dürfen. Eine Ausnahme bilden mineralisierte Kabel, die auch im Bereich von Rettungswegen offen verlegt werden können. Vermeidung der Lagerung von brennbaren Stoffen in Dachräumen und Türmen, keine Einrichtung von Werkstätten, die das Objekt gefährden können, kontrollierter Umgang mit offenem Feuer, z.B. Kerzen auf nichtbrennbaren Kerzenständern, besondere Vorsicht bei Dach- und Reparaturarbeiten, Zugang der Feuerwehr in das Gebäude muß gesichert sein, während des Besucherbetriebes offene Notausgänge, freie Zufahrten und Plätze für die Feuerwehr.
- anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen  
z.B. automatische Brandmeldeanlagen zur Brandfrüherkennung und Verkürzung der Brandentwicklung, ausreichende Löschwasserversorgung (für mindestens 3 - 4 Stunden, ggf. Löschwasserbehälter mit mindestens 500 - 600 m<sup>3</sup>, Löschanlagen (z.B. Sprinkleranlagen), insbesondere bei Kirchturmspitzen oder Kuppeln aus Holz, barocken Holzgewölben, ausgedehnten und hohen Holzdachstühlen - die Feuerwehr kann diese Bereiche weder von außen her wegen ihrer Höhe, noch von innen wegen akuter Einsturzgefahr mit wirksamen Löschstrahlen bekämpfen. Weitere Einsatzgebiete sind: Museen, Bibliotheken, Altenheime. Die automatische Löschung insbesondere durch Sprinkler ruft jedoch eine bekannte Abneigung gegen jegliche Art von Löschanlagen in Baudenkmalern hervor. Nach **Kabat [1]** ist die totale Ablehnung von Sprinkleranlagen unbegründet, da die Zuverlässigkeit bei Sprinkleranlagen heute bei 98,3 % liegt (d.h. einwandfrei funktionierende Sprinkleranlagen und fast kaum

Fehlauslösungen). Außerdem gibt es heute sog. vorgesteuerte Trocken-Sprinkleranlagen, bei denen das Rohrnetz nicht mit Wasser gefüllt ist und die Anlagen durch automatische Brandmeldeanlagen zusätzlich vorgesteuert werden. Es muß also bei diesen Anlagen sowohl die Sprinklerdüse auf Wärme als auch der Brandmelder auf Rauch, Flammen oder Wärme ansprechen, und erst dann wird das Löschwasser freigegeben. Weiterhin können Sprühwasseranlagen, die offene Düsen haben und in die erst nach Entscheidung der Feuerwehr Wasser eingespeist wird, evtl. auch in Koppelung mit automatischer Brandmeldung eingesetzt werden. In Baudenkmalern müssen nach **Kabat [1]** Maßnahmen ergriffen werden, durch die der Rauch und die Wärme beim Brand abgeführt werden können. Unter Ausnutzung des thermischen Auftriebes würden in vielen historischen Gebäuden schon Fenster als Rauch und Wärmeabzugsöffnungen ausreichen. Es ist jedoch zu beachten, daß die Fenster meistens selbst unter Denkmalschutz stehen und ihre Zerstörung im Einsatzgeschehen, wenn sie sich nicht öffnen lassen oder nur von außen erreichbar sind, erhebliche Verluste bedeuten würden. Daher empfiehlt es sich, auch in Baudenkmalern Öffnungen vorzusehen, durch die Rauch und Wärme abziehen können. In Dachräumen, die im Brandfall am stärksten von Verqualmung bedroht sind, oder aber auch in anderen Räumen könnten Brandgasventilatoren eingesetzt werden. In Baudenkmalern, die als Konzertsäle und zu anderen Versammlungszwecken genutzt werden, muß eine Sicherheitsbeleuchtung vorhanden sein. Zu weiteren anlagentechnischen Maßnahmen gehören die Anbringung bzw. Aufstellung von Feuerlöschern, die Wartung von haustechnischen Anlagen und die Beseitigung von Mängeln an diesen Anlagen.

- **Bauliche Brandschutzmaßnahmen:** Erhöhung der Feuerwiderstandsklassen der Bauteile (z.B. Gipskarton-, Silikat- oder Gipsfaserplatten) wie feuerbeständige Abtrennung von kleinen Räumen zur Aufbewahrung oder Ausstellung von Kunstschätzen, Schaffung von Rettungs- und Angriffswegen, Abtrennungen und Unterteilungen die eine Brand- und Rauchausbreitung aus einem Bereich des Baudenkmals auf einen anderen sowie auf brennbare Stoffe der Kunstgegenstände und denkmalgeschützte Bauteile verhindern. Die wirksamste Maßnahme gegen Brandausbreitung ist die Unterteilung eines ausgedehnten oder mehrgeschossigen Gebäudes in horizontale und vertikale Brandabschnitte sowie die Abschottung der Wand- und Deckendurchbrüche. Die Frage, die sich aber doch stellt, ist, ob in Baudenkmalern tatsächlich Brandwände und feuerbeständige Feuerschutzabschlüsse errichtet und eingebaut werden können, ohne die Originalsubstanz zu zerstören. Es muß auf jeden Fall versucht werden, ein solches Gebäude in entsprechende Brandabschnitte zu unterteilen. Es sollten daher die bestehenden Trennwände untersucht und brandschutztechnisch nachgebessert werden. In massive Trenn-

wände können feuerbeständige Türen (T 90) eingebaut werden. Auch innerhalb der Brandabschnitte oder innerhalb von Baudenkmalern, die sich nicht in Brandabschnitte teilen lassen, kann eine nachträgliche Unterteilung oder Abtrennung notwendig sein. Dies könnte durch den Einbau von leichten Decken, Wänden und Feuerschutztüren erfolgen. Diese Bauteile hätten nicht die Qualität einer Brandwand, aber durch ihre feuerbeständige Ausführung könnten sie Feuer- und Rauchausbreitung wirksam verhindern. Alle bestehenden und durch die Instandsetzung entstandenen Kabel- und Rohrdurchbrüche müssen in den Wänden mit entsprechenden Abschottungen verschlossen werden.

- Bauliche Sicherung von Rettungswegen: In Baudenkmalern, die zum ständigen Aufenthalt von Menschen (Bewohner oder Besucher) bestimmt sind, müssen die Rettungswege baulich gesichert sein. Die Sicherstellung von Ausgängen in ausreichender Zahl in Erdgeschossen dürfte in den meisten Fällen keine unüberwindbaren Probleme bereiten. Die größten Schwierigkeiten ergeben sich bei der Sicherstellung von notwendigen Treppen und Treppenträumen für die Obergeschosse, denn die Geschosse sind meistens an Holztreppen oder offene Treppenanlagen angeschlossen. In beiden Fällen ist der Rettungsweg entweder wegen der Brennbarkeit der Treppe oder aufgrund des fehlenden abgeschlossenen Treppenraumes nicht ausreichend gesichert.

Zur baulichen Sicherung können folgende Möglichkeiten in Betracht kommen:

- Errichtung einer neuen Treppe, z.B. Anbau einer Außentreppe
  - Einbau eines neuen Treppenraumes im Gebäude, anstelle von anderen, unbedeutenden Räumen
  - Reaktivierung ehemaliger, im Laufe der Zeit zu anderer Nutzung umgebauter Treppenträume
  - Aktivierung und Anpassung der oft versteckten Nebentreppenträume (Ausgang ins Freie, Rauchschutz- und Feuerschutztüren, Rauchabzug) an die heutigen Anforderungen
  - Abtrennung der bestehenden massiven Treppenträume von den Geschossen durch Einbau von Rauchschutztüren oder Nachrüstung der bestehenden massiven Türen (Türschließer, Dichtungen, Sicherheits- oder Feuerschutzglas) und Errichtung eines feuerbeständigen oberen Abschlusses (z.B. zum Dachraum)
- Da die bisher praktizierte Verkleidung der Holztreppen von unten wenig Schutzwirkung im Brandfall gezeigt hat, sind andere Maßnahmen erforderlich. Wird die Holztreppe nicht ausgetauscht, so sollten die Wohnungsabschlußtüren rauchdicht nachgebessert (Dichtungen, Türschließer, Austausch der Verglasung, Verkleidung der feststehenden Teile) oder gegen



Rauchschutztüren ausgetauscht werden; der Treppenraum muß einen Rauchabzug in Form eines Dachflächenfensters oder einer Rauchabzugskuppel erhalten; die Türen zum Treppenraum von gewerblich genutzten Räumen, vom Keller und vom Dachraum sind gegen Feuer-schutztüren (T 30) auszutauschen; die Treppenraumwände sind zur Erzielung einer Feuer-widerstandsdauer von 90 Minuten entsprechend zu verputzen oder zu verkleiden;

Der zweite Rettungsweg kann in Baudenkmalern grundsätzlich über Fenster gesichert werden. Die Fenster müssen dafür natürlich bestimmte Voraussetzungen erfüllen: diese müssen anleiter-bar, entsprechend groß und zu öffnen sein. Weiterhin sollte man in Baudenkmalern auf den Einsatz von brennbaren Baustoffen verzichten. Holzteile, wie Dachstühle, Bretterwände, Glockenstühle, Nebentreppen und interne Treppen, Turmspitzen u.a. Bauteile aus Holz sind mit Flammschutzmitteln zu behandeln, wenn die Holzbauteile nicht durch nichtbrennbare ersetzt bzw. nicht verkleidet werden können oder dürfen. Dadurch kann eine Verzögerung der Brand-ausbreitung erreicht werden. Historische, auf Holzbalken gelagerte Kamine, die aus historischen Gründen erhalten bleiben müssen, sind als solche von Feuerstätten zu trennen. Feuerstätten sind an neue Kamine anzuschließen, die zwar unauffällig, aber trotzdem vorschriftsmäßig eingebaut werden müssen.

Im Altbau können für bestimmte Brandschutzmaßnahmen, die an und für sich erforderlich wären, Kompensationsmaßnahmen vorgesehen werden. Die Begründung für den Verzicht auf einige bauliche Brandschutzmaßnahmen und ihren Ersatz durch meist anlagentechnische Vorrichtungen kann

- in der Unverhältnismäßigkeit der Mittel,
- im Denkmalschutz und
- im baurechtlichen Bestandsschutz liegen.

Bauliche Brandschutzmaßnahmen jedoch, die die unmittelbare Sicherheit für Gesundheit und Leben gewährleisten sollen, können nicht ersetzt werden. Dazu zählt in erster Linie die bauliche Sicherung von Rettungswegen.

Folgende Kompensationsmaßnahmen können in Altbauten, je nach Gefährdungspotential des Gebäudes, ausgeführt werden:

- Brandmeldeanlagen
- automatische Löschanlagen (Sprinkleranlagen) statt einer Erhöhung der Feuerwiderstands-fähigkeit von Decken und Wänden

- Sprinkleranlagen statt einer nachträglichen Herstellung von Brandwänden
- Sprinkleranlagen oder automatische Brandmeldeanlagen für die Beibehaltung von Deckenöffnungen (Atrien, überdachte Innenhöfe)
- Außentreppen oder zusätzliche Treppenräume für die Beibehaltung der Holztreppen oder der offenen Treppenanlagen in unveränderter Form
- Brandschutzverglasungen und transparente Brandschutzsysteme für massive Trennwände, Treppenraumwände und Überdachungen

Nach **Limprecht [9]** ergeben sich folgende Schutzziele, die bei einer Erstellung des Brandschutzkonzeptes berücksichtigt werden müssen:

- Der Entstehung von Bränden ist vorzubeugen.
- Der Ausbreitung von Feuer und Rauch ist vorzubeugen.
- Die Rettung von Menschen und Tieren muß ermöglicht werden.
- Die Retter und Flüchtenden sind zu schützen.
- Wirksame Löscharbeiten müssen möglich sein.

Durch eine numerische Simulation wurde nachgewiesen, daß der Einbau einer automatischen Löschanlage als zusätzliche Brandschutzmaßnahme dienen kann. Bezüglich Anzahl und Anordnung der Sprinkler im Treppenraum sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

Folgende Anforderungen an Gebäude im Bestand mit Holztreppe sind für das Erreichen der oben genannten Schutzziele wesentlich:

- Anfahrts- oder Umfahrungsmöglichkeiten sowie Aufstellflächen für die Feuerwehr vorsehen. Anletermöglichkeiten für die Hubrettungsgeräte nachrüsten.
- Brandfrüherkennungsanlagen in Keller, Wohnung und Treppenraum; akustische Frühwarnsysteme für Bewohner.
- Maßnahmen gegen Rauchausbreitung und Verqualmung vorsehen (Rauch- und Wärmeabzugsflächen; Zuluftöffnungen, Rauchschürze am Podestbalken).
- Aufbesserung der Wohnungseingangstüren (dichte, vollwandige und selbstschließende Ausführung); Ersetzen der Verglasungen durch feuerwiderstandsfähiges Material.
- Feuerhemmende Bauweise bei Holzdecken in Wohnungen.
- Sicherung des zweiten Rettungsweges über bauliche Maßnahmen, wie Notleiter oder -treppe, sowie Erhöhung der Sicherheit durch Fluchtbalkon, Strickleiter, Rauchschutzmasken und abgesicherten Fluchtweg in ein Nachbargebäude.

- Überprüfung der Rettungssituation der (oft illegal) ausgebauten Dachgeschosse.
- Die Kellerdecke muß in feuerbeständiger Form ausgeführt sein.
- Abschlüsse zu Keller- und Dachgeschossen mindestens feuerhemmend und selbstschließend (auch Haustür) gestalten.
- Treppenraumwände in Brandwandqualität ausführen; Fenster zwischen den Wohnungen und dem Treppenraum mit Glasbausteinen zumauern.
- Treppenraum, Dachgeschoß und Keller entrümpeln; Sicherheitsräume für Aschebehälter und Holzlager (Brennstoff) nachrüsten.
- Beseitigung von Holzverschlügen, alten Toilettenanlagen u.a.
- Feuerbeständige und rauchdichte Abschottungen von Durchbrüchen.
- Holzoberflächen mit Brandschutzlackierung oder -platten verkleiden.
- Entfernung von leichtentflammbaren Dämm- und Isolierstoffen hinter Verkleidungen.
- Überprüfung oder Erneuerung der gesamten elektrischen Anlage (Blitzschutz).
- Nutzungseinschränkung vereinbaren.
- Bei Holzbalkendecken muß der Abstand zu den Rauchrohren geprüft werden.
- Umbau der Wohnungseingangssituation in einen allgemeinen Flur je Geschoss.
- Einbau von wasserführenden Wandhydranten und abstellbaren Strahlrohren. Die Frostgefahr ist zu berücksichtigen (z.B. durch Trockenleitung einer Sprühwasseranlage).
- Sprinklerung des Treppenraums oder Einbau einer automatischen Löschanlage.

Aus diesen Punkten muß eine Prioritätenliste erstellt werden, aus der ein mögliches Brandschutzkonzept für die Sanierung erarbeitet werden kann. In Einzelfällen, wenn der erforderliche Schutz nicht zu erreichen ist, kann eine Sondergenehmigung erteilt werden. Ein großer Teil der Gebäude, um die es in dieser Arbeit geht, steht unter Denkmalschutz. Oft sprechen Gründe des Denkmalschutzes gegen die Errichtung eines perfekten Brandschutzkonzeptes. Dies bedeutet eine Diskussion zwischen dem Kulturerhalt einerseits und andererseits der Sicherheit für Personen und Sachwerte, die immer mit einem Kompromiß enden wird. **Limprecht [9]** kommt zu dem Fazit, daß eine regelmäßige Brandschau und Wartung der Brandschutzeinrichtungen nötig ist, um den Mißbrauch zu reduzieren. Weiterhin sind Überlegungen nötig, um die Prioritäten zwischen dem hohen Aufwand des Wärmeschutzes und dem absolut wichtigen vorbeugenden Brandschutz zu klären. Laut geltendem Gesetz ist nur bei einer angemeldeten Nutzungsänderung, oder beim Nachweis einer begründeten Gefahr für Personen und Sachen eine Sanierung zugunsten des Brandschutzes zu erreichen. Doch um Härtefälle zu vermeiden, die nicht von der Genehmigungsbehörde abhängig sind, müssen neue Grundregeln gesucht werden. Es muß erreicht werden, daß

Besitzer von Gebäuden mit der beschriebenen Problematik dazu gezwungen werden, auch ohne Sanierungsabsicht ihre Wohnhäuser brandschutztechnisch aufzuwerten. Solange dies noch nicht möglich ist, sind die Feuerversicherungen angesprochen, die Erfahrungen aus der Industrie auch im Privatbereich anzuwenden. Sie könnten durch eine Prämienreduzierung ein vorbeugendes Handeln bewirken. Der Gesetzgeber müßte seiner Verpflichtung nachkommen, vorbeugende Maßnahmen zur Verhinderung von Katastrophen zu treffen. Erst der nachträglich verwirklichte vorbeugende Brandschutz und die Brandbekämpfung ergeben zusammen eine wünschenswerte Brandsicherheit für Gebäude im Bestand.

Nach **Limprecht [9]** ist das Treppenauge in Treppenträumen ein sehr kritischer Punkt. Die Wohnungseingangstür muß im Brandfall entweder den Qualm und das Feuer möglichst lange vom Rettungsweg fernhalten, oder, wenn das Brandszenarium sich schon im Treppenraum ausbreitet, das Eindringen in andere Wohnungseingangstüren verhindern. In diesen geschützten Einheiten können Personen abwarten, bis sie von der Feuerwehr über den 2. Rettungsweg befreit werden. Der erste Schritt wäre eine Selbstschließeinrichtung. "Eine geschlossene Tür ohne definierten Feuerwiderstand ist im Brandfall unvergleichlich besser als eine offenstehende T 90 Tür". Um die unerwünschten "Offenhalter", wie Keile usw., und damit das Außerkraftsetzen von Brandschutzeinrichtungen auszuschließen, müssen bauaufsichtlich zugelassene Feststellanlagen oder Freilauffürschließer, die auf die Brandkenngröße Rauch ansprechen, zum Einsatz kommen. Eine weitere Forderung besteht an die Ausführung der Tür. Die **Versuche in Leipzig [8]** haben gezeigt, daß die Türen nach einem Wohnungsbrand im oberen Drittel völlig zerstört sind, und in der unteren Hälfte der Farbanstrich noch im Original vorhanden ist. Ein besonderes Augenmerk muß auf die Oberlichter und Türspiegel gelegt werden (z.B. durch vollständige Aufdoppelung des Türblattes mit Sperrholz und G 30-Verglasung). Bei höheren zu erwartenden Brandtemperaturen sind Feuerschutztüren vorzusehen. Weiterhin muß der zweite Rettungsweg sichergestellt werden, über den sich der Bedrohte bei Versagen des ersten Rettungsweges selbst gefahrlos in Sicherheit bringen kann (z.B. Nottreppe) sowie die Feuerwehrzugangsbedingungen verbessert werden. Die Nutzung des Gebäudes selbst muß auf den erreichbaren Sicherheitszustand abgestimmt werden. Durch Brandmeldung müssen die Bewohner frühzeitig alarmiert werden.

Nach **Nutsch, W. et al. [14]** können vorbeugende Holzschutzmaßnahmen gegen Feuereinflüsse werkstofftechnischer, konstruktiver und chemischer Art sein. Durch diese Schutzmaßnahmen soll die Gefahr der Entzündung und die Schnelligkeit der Verbrennung verringert

werden. Hierbei ergeben sich folgende werkstofftechnischen und konstruktiven Maßnahmen:

- Mit zunehmender Rohdichte des Holzes nehmen die Zündung und die Abbrandgeschwindigkeit ab.
- Risse erleichtern den Austritt der Gase und begünstigen den Zutritt der Flammen und des Luftsauerstoffs in das Holzinnere. Außerdem vergrößern sie das Verhältnis von Holzoberfläche zu Holzvolumen. Es sollte deshalb rißfreies und wenig zur Rißbildung neigendes Holz verwendet werden.
- Glatte Holzoberflächen mit abgerundeten Ecken und Kanten verkleinern das Verhältnis von Holzoberfläche zu Holzvolumen und erschweren somit das Entflammen.
- Holzkonstruktionen sind um so widerstandsfähiger, je größer die Querschnitte der Holzteile sind.
- Großformatige Flächen und waagrecht angebrachte Verkleidungen bieten dem Feuer einen größeren Widerstand als kleine Flächen und senkrecht angebrachte Verkleidungen.
- Holzbauteile können durch nichtbrennbare Verkleidungen oder Ummantelungen wie durch Putze, Holzwolleleichtbauplatten und Gipskartonplatten wirksam geschützt werden. Dadurch wird das Holz allerdings verdeckt.

Bei chemischen Holzschutzmaßnahmen werden schaumschichtbildende Feuerschutzmittel, Feuerschutzsalze und Brandschutzplatten angewendet. Durch diese chemischen Schutzmittel wird das Holz lediglich schwerentflammbar, nicht unbrennbar. Die schaumschichtbildenden Feuerschutzmittel bestehen aus anorganischen und organischen Bestandteilen. Hierbei kommen u.a. duroplastische Kunststoffe und Ammoniumverbindungen zum Einsatz. Bei direkter Beflammung oder bei Wärmeeinwirkungen von etwa 200 °C wird bei der Zersetzung dieser Schicht eine 10 mm bis 30 mm dicke wärmedämmende, schwer brennbare, das Holz schützende Schaumschicht gebildet. Sie schützt das Holz vor Sauerstoffzutritt und durch ihre geringe Wärmeleitfähigkeit vor eindringender Wärme. Auf diese Weise wird die Zersetzungstemperatur des Holzes zu einem späteren Zeitpunkt erreicht und das Auftreten brennbarer Gase verzögert. Außerdem werden bei der Schaumbildung unbrennbare Gase frei, die sich mit den gasförmigen, brennbaren Zersetzungsprodukten des Holzes sowie mit der Luft vermischen. Diese Feuerschutzmittel dienen auch zum Schutz von Stahlbauteilen. Die Anwendung der Schaumschichtbildner beschränkt sich auf trockene Innenräume. Eine von Zeit zu Zeit auf die Schutzschicht einwirkende erhöhte Luftfeuchtigkeit ist unbedenklich, wenn die Schutzschicht durch eine besondere Lackschicht geschützt ist. Die Feuerschutzsalze bestehen vor allem aus Phosphaten, denen als Streckmittel

Ammoniumsulfat und zur Erzielung einer fungiziden und insektiziden Wirkung bestimmte Salze zugesetzt werden. Feuerschutzsalze wirken im wesentlichen durch den Entzug von Wärme beim Schmelzvorgang, durch Bildung einer Schmelzschicht an der Holzoberfläche, durch Abspaltung von unbrennbaren Gasen sowie durch die Förderung der Holzkohlebildung. Während die schaumschichtbildenden Feuerschutzmittel an der Holzoberfläche wirksam sind, schützen die Feuerschutzsalze das Holz von innen. Sie müssen daher möglichst tief in das Holz eingebracht werden. Für das Einbringen von Feuerschutzsalzen in Vollholz ist aus diesem Grunde nur das Kesseldruckverfahren zugelassen. Dabei müssen die Holzbauteile fertig bearbeitet sein. Den Spänen schwerentflammbarer Spanplatten werden vor der Verleimung zum Teil Feuerschutzsalze untergemischt. Die Anwendung der Feuerschutzsalze ist auf trockene Innenräume beschränkt. Brandschutzplatten werden aus wasserhaltigem Natriumsilikat gebildet, das mittels Glasfasern oder eines Drahtnetzes zusammengehalten wird. Trotz dieses Aufbaus sind die Brandschutzplatten nichttragend. Sie müssen daher auf einer tragenden, vollflächigen Unterkonstruktion befestigt werden. Eine außen aufgebrachte Epoxidharzschicht dient zum Schutz der etwa 2 mm dicken weißgrauen oder schwarzen Natriumsilikatschicht. Ein Teil der Platten ist in die Klasse der nichtbrennbaren Baustoffe nach DIN 4102 eingeordnet. Sobald auf die Brandschutzplatte eine Wärme von 150 °C bis 250 °C einwirkt, schäumt die etwa 2 mm dicke Platte zu einer wärmedämmenden Schaumschicht von 12 mm bis 15 mm Dicke auf. Sie bindet Wärme durch Wasserverdampfung, fördert die Holzkohlebildung und hält als Wärmedämmschicht die Wärme von der Holzoberfläche ab. Dadurch entstehen im Holz weniger brennbare Gase. In Fugen eingebaute Natriumsilikatschichten schäumen bei Wärmeeinwirkung auf und unterbinden auf diese Weise für einige Zeit den Flammen-, Rauch- und Wärmedurchtritt. Hierbei wird das Aufschäumen des Brandschutzplattenstreifens und damit die Schnelligkeit des Fugenverschlusses durch eingebaute Streifen aus Aluminium beschleunigt, wobei Aluminium die Wärme sehr gut leitet.

**Becker und Tichelmann [25]** zeigen Maßnahmen zur Verbesserung des Brandverhaltens von Holzbauteilen auf. Mit verschiedenen Maßnahmen kann das Risiko der Brandweiterleitung über Holzbaustoffe reduziert werden. Neben den konstruktiven Maßnahmen zum Schutz des Holzes gegen Feuereinwirkung, beispielsweise durch Ummantelung mit Feuerschutzplatten, kommen auch chemische Verfahren zum Einsatz, um die Entzündlichkeit herabzusetzen bzw. nach erfolgter Zündung die Feuerweiterleitung an der Oberfläche zu begrenzen. Die Wirkung solcher Feuerschutzmittel wird häufig überschätzt. Durch solche Beschichtungen ist keine Reduzierung

der Brennbarkeit, sondern nur der Entflammbarkeit (Veränderung des Brandverhaltens des Baustoffs von B2 „normalentflammbar“ zu B1 - „schwerentflammbar“ nach DIN 4102) möglich. Der Feuerwiderstand tragender und auch raumabschließender Bauteile wird durch eine Oberflächenbehandlung mit chemischen Feuerschutzmitteln nicht erhöht. Schutzschichtbildende Mittel bedürfen eines Prüfzeichens. In dem zugehörigen Prüfbescheid ist festgelegt, wie und in welcher Menge diese Mittel aufgebracht werden müssen. Bei Wand- und Deckenkonstruktionen werden in der Regel die Bekleidungen, Beplankungen und Abdeckungen aus Holz, Holzwerkstoff oder Gipsbauplatten so angeordnet, daß sie zu einer Verbesserung der Feuerwiderstandsdauer beitragen.

### **6.3 GRENZEN FÜR DIE RAUCHFREIHALTUNG VON TREPPEN UND TREPPENRÄUMEN**

Weiterhin spricht **Limprecht [9]** die Brandrauchproblematik an. Die Rauchabführung ist in einem Treppenraum, wegen der geringen Grundfläche und der großen Höhe (Schornsteineffekt) besonders kritisch: Heißer Rauch kann aufgrund der thermischen Voraussetzungen gut durch natürliche Öffnungen abgeführt werden. Im Treppenraum kühlt sich der aufsteigende Rauch in den oberen Geschossen ab und kann zu einem Pfropfen führen. Die Fenster in den oberen Geschossen zeigen nicht die gewünschte Wirkung. Der Treppenraum wird von oben nach unten mit Rauch gefüllt und ist somit für die Evakuierung von Personen aufgrund der unzureichenden Sicht, des Sauerstoffmangels und der Brandgase nicht mehr geeignet. Für die Strömung der Brandgase sind folgende Vorgänge entscheidend: Strömung infolge Expansion, infolge des Auftriebs und infolge der Windkräfte auf das Gebäude. Wenn auf den Öffnungsflächen der Wind steht, kann der Rauch nicht abgeführt werden und wird in den Treppenraum zurückgedrückt. Die Windsituation ist bei der Auslegung von natürlichen als auch maschinellen Rauchabzügen von Bedeutung. Durch die Haustechnik sind viele Durchbrüche wie Schächte, Kanäle, Deckenhohlräume, Doppelböden, Hohlräumeböden sowie verdeckte, unzugängliche Verbindungen nötig. Dieses Risiko erschwert den Löschangriff sowie die Rettung der Personen, da sich die Brandgase überall hin verdeckt ausbreiten können. Des weiteren geht **Limprecht [9]** auf die Anforderungen an Rettungswege ein. Eine Verrauchung des Treppenraumes im Brandfall innerhalb weniger Minuten ist bei weitem schlimmer einzuordnen als die Standzeit der Holztreppe. Aus diesem Grund muß der eingedrungene Rauch verdünnt und abgeleitet werden.

Folgende Kriterien bestehen für die sichere Begehbarkeit eines Rettungsweges:

- abhängig vom Rauch:
  - Sichtbehinderung
  - Gefährdung durch Kohlenmonoxid
  - Sauerstoffmangel
- abhängig von der Temperatur
  - bei 80 -120 °C Gefahr für Mensch und Tier (Schleimhäute)
  - oberhalb von 200°C Inhalationsschock (IHS), reflektorische Verkrampfung
  - ab ca. 300°C Zündung der Kleidung
- abhängig von der Wärmestrahlung
  - ab 0,3 W/cm<sup>2</sup> ist mit Hautschädigungen zu rechnen.

Für einen sicheren Rettungsweg gelten folgende Kriterien:

- Er muß einfach in Führung und Aufbau und so kurz wie möglich sein.
- Er muß gegen eine Gefährdung durch Feuer und Rauch geschützt sein.
- Eine gute Erkennung muß möglich sein.
- Er muß eine sichere Verbindung zwischen dem gefährdeten und einem gesicherten Bereich darstellen.
- Er muß für die Anzahl der Flüchtenden ausgelegt sein.
- Es dürfen keine Einengungen (aufschlagende Türen) vorhanden sein.
- Er darf keine Brandlast aufweisen.

Mit einem Mehrraum-Mehrzonens-Modell wurde unter Mitwirkung von **Limprecht [9]** die Brandsituation in einem Treppenraum aus einem Gebäude im Bestand simuliert und mit den Versuchen verglichen, wobei die Versuchsergebnisse aus Leipzig bestätigt werden konnten. Die Hauptschwierigkeit bei der Simulation lag bei der Eingabe der Gebäudestruktur und einiger Parameter. Z.B. wurden die Wohnungseingangstüren und die Leckrate eines Treppenraumes im Bestand nicht berücksichtigt. Weiterhin wurden die Abbrandrate als Funktion der Zeit und die Ausdehnung der Brandlast über der Höhe (Holztreppe) nicht berücksichtigt. In der Simulation wurde gezeigt, daß Sprinkler den Temperaturverlauf und somit die Verrauchung des Treppenraumes um ein Vielfaches reduzieren können. Man kann nicht davon ausgehen, daß der Brand durch die Sprinkler gelöscht wird, doch auf jeden Fall ist mit einer Reduzierung der Brandausbreitung und der Temperaturen in Brandnähe zu rechnen. Nebelsprühköpfe müssen hinsichtlich des



Untersuchungszieles "Treppenraumbrand" geprüft werden. Die Hauptaufgabe von Sprinkleranlagen ist es, den Brand zu erkennen, ihn im Entstehungsstadium zu bekämpfen, seine Ausbreitung zu verhindern, und bei einer möglichen Direktschaltung zu alarmieren. Bezüglich der Rauchentwicklung ist kein eindeutiges Ergebnis im Bezug auf die Zuluftflächen vorhanden. Ist die Haustür geöffnet, ist die Rauchentwicklung geringer, doch die schnell ansteigenden Temperaturen lassen eine Flucht über diese Treppe nicht zu. Ist die Zuluftöffnung geschlossen, nimmt die Verrauchung des Treppenraumes schnell (2 - 3 Minuten) zu und eine Flucht wäre ebenso tödlich. Es müßten Untersuchungen mit einer maschinellen Entrauchung an der höchsten Stelle im Treppenraum durchgeführt werden, um weitere Aussagen über die Entrauchungsmöglichkeiten machen zu können. Bei einigen Feuerwehren wird in solchen Fällen auch mit einer Zwangsdurchspülung (Gebläse am Fußpunkt der Treppe) versucht, Rauchfreiheit zu erzielen. Ein wichtiger Aspekt für alle natürlichen Entrauchungsmöglichkeiten ist die im Brandfall herrschende Windsituation. Steht der Wind auf der Öffnungsfläche, ist keine Entrauchung möglich.

## **7. ORTSFESTE AUTOMATISCHE WASSERLÖSCHANLAGEN**

Nachfolgend soll auf die Wirkungsweise von Sprinkler- und Wassernebellöschanlagen (siehe **Kunkelmann [26]**) als Hauptvertreter von ortsfesten Wasserlöschanlagen eingegangen werden, die eine Brand- und Rauchausbreitung bei Bränden, die mit Wasser gelöscht werden dürfen, wirksam reduzieren.

### **7.1 SPRINKLERANLAGEN - DEFINITION - LÖSCHWIRKUNG - EINSATZGEBIETE - AUSFÜHRUNGSFORMEN**

Eine Sprinkleranlage ist eine ständig betriebsbereite, selbsttätige, ortsfeste Feuerlöschanlage, deren Löschwasser über Sprinkler abgegeben wird. Sprinkler sind durch thermische Auslöseelemente verschlossene Düsen mit einem Sprühteller (Deflektor), von denen jeder unabhängig von den anderen auslösen kann.

Ziel einer Sprinkleranlage ist es, einen Brand selbständig zu entdecken, Alarm auszulösen und das Schadenfeuer bis zum Eintreffen der Feuerwehr unter Kontrolle zu halten oder günstigstenfalls

zu löschen. Sprinkleranlagen sollen Entstehungsbrände bekämpfen und auf ihren Entstehungsherd begrenzen. Um dieses Ziel erreichen zu können, muß nicht nur die Sprinkleranlage selbst, sondern auch das zu schützende Gebäude bestimmte Anforderungen erfüllen. Anforderungen an das Gebäude bestehen z.B., wenn gesprinklerte und nicht gesprinklerte Bereiche aneinandergrenzen oder wenn bestimmte Gebäudebereiche nicht in den Sprinklerschutz mit einbezogen werden. Gemäß der VdS-Richtlinie 2092 6/87 (6) [27] müssen Bereiche mit Sprinkleranlagen von anderen Bereichen durch Brandwände (Anforderung u.a.: Feuerwiderstandsklasse F 90-A), bauliche (Anforderung: u.a. Feuerwiderstandsklasse F 180-A) oder räumliche Komplextrennung (Anforderung: u.a. Mindestabstände zweier Gebäude/Läger zwischen 5 m und 20 m) getrennt sein. Horizontale Abtrennungen (Decken und Dächer) werden nicht berücksichtigt. Wenn keine entsprechende Trennung zwischen Bereichen mit und ohne Sprinkleranlage erfolgt, dann ist die Schutzfunktion nicht mehr gewährleistet. Im Brandfall besteht dann die Gefahr, daß die Sprinkleranlage von einem Brand, der außerhalb des gesprinklerten Bereiches entstanden ist, großflächig beansprucht und unterlaufen wird.

Da eine Sprinkleranlage einen Brand häufig nur begrenzt, muß bis zum endgültigen Ablöschen durch die Feuerwehr genügend Löschwasser über eine ausreichend lange Zeit zur Verfügung stehen. In der oben aufgeführten VdS-Richtlinie finden sich z.B. auch Angaben über die Anforderungen an die Wasserversorgung von Sprinkleranlagen.

Entsprechend der unterschiedlichen Einsatzgebiete und der zu erwartenden Schäden bei Fehlauslösungen (z.B. Frosteinwirkung, Auslösung mit zusätzlichen Brandmeldeanlagen, etwa in EDV-Bereichen) werden neben der Naßanlage zusätzlich Trockenanlagen, Tandemanlagen, Trockenschnellanlagen und vorgesteuerte Trockenschnellanlagen eingesetzt. Auf diese Anlagentypen wird jedoch hier nicht näher eingegangen.

Nach ihrer Wasserverteilung und deren Montageposition unterscheidet man u.a. folgende Sprinklertypen:

- Normalsprinkler

Diese haben eine zum Boden und zur Decke gerichtete kugelförmige Wasserverteilung und können sowohl stehend als auch hängend installiert werden.

Da sie nach Herstellerangaben bis zu 40% des Löschwassers nach oben sprühen, sind sie

besonders für den Einbau unter brennbaren Decken geeignet.

Dieser Sprinklertyp ist für die Brandgefahrenklassen BG 1 bis BG 4 nach VdS zugelassen.

- Schirmsprinkler

Schirmsprinkler haben eine zum Boden gerichtete paraboloidförmige Wasserverteilung und können sowohl stehend als auch hängend montiert werden.

Dieser Sprinklertyp ist für die Brandgefahrenklassen BG 1 bis BG 4 nach VdS zugelassen.

- Seitenwandsprinkler

Diese Sprinkler haben eine zum Boden gerichtete, einseitige (halbparaboloidförmige) Wasserverteilung. Sie sind in Bereichen nach BG 4 des VdS nicht zulässig.

Von einer Reihe von Sprinklern für spezielle Einsatzgebiete soll hier nur der ESFR-Sprinkler (Early [früh] - Suppression [unterdrückend] - Fast [schnell] - Response [auslösend]) erwähnt werden. Dieser ist ein Spezialsprinkler für Schutzbereiche wie z.B. Lagerräume, der durch frühzeitiges Ansprechen, hohe Wasserbeaufschlagung, relativ große Tropfen und große kinetische Energie der Tropfen gekennzeichnet ist.

**Bild 6** zeigt die Funktionsweise eines Sprinklers nach [2]. Nach **Kunkelmann [28]** hängt die Löschwirksamkeit einer Sprinkleranlage von den in der **Tabelle 4** aufgeführten Einflußgrößen ab.

Für das Auslösen eines Sprinklers ist es entscheidend, daß eine bestimmte Wärmemenge von den Flammen und den Brandgasen an das Auslöseelement des Sprinklers übertragen und dieses dadurch zerstört wird.

Die Nennöffnungstemperatur ist hierbei ein im Labor ermittelter Wert, der in einem Wasser- oder Ölbad mit geregelter Temperatursteuerung erfaßt wird. Die Nennöffnungstemperatur der Sprinkler hängt ab von der in den Glasfäßchen eingeschlossenen Flüssigkeit (in der Regel Alkohol) bzw. vom Material der Schmelzloten. Sie wird grundsätzlich so gewählt, daß sie ca. 30°C über der maximalen Umgebungstemperatur liegt. Damit ist sichergestellt, daß Sprinkler zwar einen Brand frühzeitig erkennen, aber nicht durch betriebsbedingte Temperaturschwankungen ungewollt öffnen. Nach den Auslöseelementen unterscheidet man Schmelzlot- und Glasfaßsprinkler. Die Auslöseelemente der Sprinkler werden entsprechend der Nennauslösetemperatur farbig ausgeführt. Ein Sprinkler mit einem Glasfaß mit roter Flüssigkeit weist z.B. eine Nennöffnungstemperatur von 68°C auf.

Ein weiterer Labormeißwert ist der RTI (Response Time Index) - Wert [29], der das dynamische Ansprechverhalten des Sprinklers beschreibt und mit dem Plunge-Test ermittelt wird. Hierbei wird der Sprinkler in einen definierten heißen Luftstrom eingetaucht und die Zeit vom Eintauchen bis zum Auslösen bestimmt. Der RTI-Wert ist ein Maß für die thermische Trägheit des Sprinklers. Physikalische Kenngrößen sind hierbei die spezifische Wärmekapazität und Masse des Auslöseelementes, der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Brandgas/Luft und Auslöseelement und die Strömungsgeschwindigkeit des Brandgases bzw. der Luft. Die Aufwärmzeit z.B. eines Glasfäßchens nimmt mit dem Durchmesser ab. Daher reagieren dünne Fäßchen schneller als dickere. Der RTI-Wert reicht hierbei nach Job [30] von ca.  $30 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$ , entsprechend einem Glasfäßchen mit einem Durchmesser von 2,5 mm in schnellansprechenden Sprinklern, bis ca.  $320 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$ , entsprechend einem Glasfäßchen mit 8 mm Durchmesser in Normalsprinklern. Bei der Zuordnung der RTI-Werte zu den Glasfäßchendurchmessern handelt es sich um ungefähre Werte, da die RTI-Werte nicht nur von den Durchmessern, sondern auch vom Einbau in den Sprinkler und von Herstellungstoleranzen abhängen.

Zur Charakterisierung des Auslöseverhaltens eines Sprinklers ist zusätzlich der Wärmeleitfaktor C zu berücksichtigen. Dieser beschreibt die Wärmeableitung vom Auslöseelement an das wassergefüllte Sprinklerrohrnetz. Die Wärmeableitung bewirkt, daß die Temperatur im Inneren des Auslöseelementes immer zwischen der der Brandgase und der des Sprinklerrohrnetzes liegt.

Diese Werte sind von Bedeutung für die Verzögerungszeit bis zum Auslösen eines Sprinklers, die auftritt, obwohl die Brandgastemperatur die Nennöffnungstemperatur des Sprinklers überschreitet.

Schnell ansprechende Sprinkler haben den Vorteil, daß durch den frühzeitigen Löschvorgang Brände bereits zu Beginn der Brandentwicklungsphase bekämpft werden können. Dies ist besonders von Bedeutung bei sich schnell ausbreitenden Bränden wie z.B. bei Polyäthylen (PE) und Polypropylen (PP). Durch die hohe Wärmefreisetzung bei diesen Stoffen entstehen bereits in kurzer Zeit hohe Temperaturen im Flammen/Brandgasbereich und ein beträchtlicher Anteil von Wärmestrahlung. Dadurch ergibt sich auch eine hohe thermische Aufbereitung des den Brandherd umgebenden Materials. Bei Sprinklern mit zu tragem Ansprechverhalten kann dies dazu führen, daß schon nach dem Öffnen des Sprinklers dem Brandherd nicht mehr genügend Wärme durch Kühlung entzogen wird, um die Brandreaktion wirkungsvoll zu beeinflussen. Dies kann weiterhin

dazu führen, daß durch die Auftriebsströmung der Brandgase insbesondere kleinere Tropfen mit dem Heißgasstrom nach oben getragen werden und somit nicht mehr für den Löschvorgang zur Verfügung stehen. Weiterhin ist die schnelle Auslösung von Sprinklern auch für die Belange des Personenschutzes ein entscheidender Vorteil, da zum einen eine starke Hitzebildung verhindert und zum anderen die Entstehung toxischer Stoffe und Brandgase vermindert wird bzw. diese niedergeschlagen werden. Auch die Umweltbelastung wird geringer, da kleinere Mengen an kontaminiertem Löschwasser anfallen.

Eine entscheidende Bedeutung für die Löschwirkung von Sprinklern hat deren Wasserbeaufschlagung sowie die Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsverteilung und deren Veränderung bei der Wechselwirkung mit den Flammen und der Brandgasströmung.

Der Löscheffekt von Sprinkleranlagen bei Feststoffbränden beruht hauptsächlich auf der Kühlwirkung der Wassertropfen, die die brennende Oberfläche des Brandstoffes erreichen. Der Brandstoff muß hierbei soweit abgekühlt werden, daß keine brennbaren Zersetzungsgase mehr entstehen. In der Praxis ist allerdings zu beachten, daß nicht nur die Verbrennungszone unter eine Mindest-Verbrennungstemperatur abgekühlt werden muß, sondern gleichzeitig auch hochoberhitzte Oberflächen in der nächsten Umgebung. Diese müssen sogar bis unter die Zündtemperatur der vorhandenen brennbaren Stoffe abgekühlt werden, da sonst die Gefahr einer Rückzündung besteht.

Von **Fuchs et al.** [31] sind theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt worden, um die zum Ablöschen, z.B. einer brennenden Holzoberfläche, minimal erforderliche Löschwassermenge zu bestimmen.

Nach **Kunkelmann** [28] treten die in **Tabelle 5** aufgeführten Wechselwirkungen und Einflußfaktoren im System Sprinkler/Brand/Umgebung auf.

Nach **Schremmer** [32] treten für die verschiedenen Formen von Löschwasser die in **Tabelle 6** aufgeführten Durchmesserbereiche der Wassertropfen auf.

**Tabelle 7** nach **Brein** [33] zeigt die wesentlichen Einflußgrößen auf die Brandausbreitung bei gelagerten Stoffen.

Sprinkleranlagen sind so zu konzipieren, daß sie bei unterschiedlichen Risiken und Einsatzgebieten wirksam sind. Die von Sprinkleranlagen zu schützenden Gebäude und Schutzbereiche werden z.B. nach VdS-Richtlinie 2092 für Sprinkleranlagen [27] in verschiedene Brandgefahrenklassen (BG) nach **Tabelle 8** eingeteilt.

Die Art der Materialien in Lager- und Produktionsbereichen sowie deren Verarbeitung bestimmen die Zuordnung zur Brandgefahr. Die erforderliche Mindestwasserbeaufschlagung (BG1: 2,5 mm/min, BG 4.4: 7,5 - 30 mm/min), Mindestbetriebszeit (z.B. BG 1: 30 min, BG 4.4: 90 min), Maximale Schutzfläche je Sprinkler (z.B. BG 1: 21 m<sup>2</sup>, BG 4.4: 9 m<sup>2</sup>) ergibt sich aus der Brandgefahr, der Lagerart (Regallager, Lager mit mobilen Lagerhilfen, Kompaktlager) und der Lagerhöhe. Hochregallager sind nach der VdS-Richtlinie Regallager, bei denen die Lagerhöhe in BG 1 bis BG 4 höher als 7,5 m und in BG 4.4 höher als 4,4 m ist. Für Lagerhöhen, die über diese Grenzwerte hinausgehen, müssen zusätzlich zu den Deckensprinklern Regalsprinkler in Zwischenebenen installiert werden. Z.B. ist der maximale vertikale Abstand in BG 4.1 5,0 m und in BG 4.4 2,0 m. Wird die Wasserverteilung durch die Regalkonstruktion entscheidend behindert, so ist diese Behinderung durch zusätzliche Sprinkler auszugleichen.

Trotz der bestehenden Richtlinien für die Auslegung von Sprinkleranlagen gibt es Einsatzbereiche, in denen die Wirksamkeit von Sprinkleranlagen bewertet werden muß, um eine Optimierung der Anlagen und Lageraufbauten zu ermöglichen. In einem mehrjährigen Forschungsprojekt wurde die Brandausbreitung und der Löscheinsatz mit Sprinklern bei gelagerten Stoffen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik [28, 33, 34, 35, 36] untersucht. Dazu wurden experimentelle Arbeiten durchgeführt, die durch theoretische Betrachtungen und numerische Simulationen sowie dem Studium der in- und ausländischen Literatur ergänzt wurden. In einer großen Anzahl von Brand- und Löschversuchen wurde die Flammenausbreitung, Wärmefreisetzung und Löschwirkung bei unterschiedlichen Lageraufbauten (Blocklager aus Kartons, Palettenblocklager, Regalpalettenlager, Lager mit Gitterboxen), Brandlasten und Sprinklertypen untersucht. Die hier gewonnenen Ergebnisse sind dazu geeignet, Lageraufbauten und Löschanlagen zu projektieren und numerische Simulationen zu kalibrieren. Weiterhin können thermische Belastungen von Gebäude- und Lagerbauteilen im Brandfall abgeschätzt werden. Bei der numerischen Simulation wurden die Wechselwirkungen eines mono- und polydispersen Tropfenschwammes mit Tropfendurchmessern zwischen 0,2 mm und 4,0 mm mit einer Flammensäule/Heißgasströmung untersucht. Hierbei wurde der Wärme-, Stoff- und Impulsaustausch zwischen der Flammen-

säule/Heißgasströmung und dem Tropfenschwarm berücksichtigt. Die Berechnungsergebnisse wurden mit experimentell ermittelten Daten, z.B. der Wasserbeaufschlagung, verglichen. Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsmessungen mit einem Phasen/Doppler-Teilchenanalysator für verschiedene Sprinklertypen fanden als Anfangsbedingungen Eingang in die Berechnungen. Es wurde festgestellt, daß Tropfen mit 1 mm Durchmesser nicht in der Lage sind, einen Brandherd in 3 m bzw. 4 m vertikaler Entfernung von der Düse bei einer größeren Wärme-freisetzung als ca. 400 kW bzw. 200 kW zu erreichen. Durch die Brandgasgegenströmung kehren diese und kleinere Tropfen ihre Bewegungsrichtung um und werden aus dem Flammen-/Brandgasbereich hinausgetragen. Wesentlich kleinere Tropfen als z.B. 0,2 mm verdampfen. Die untersuchten größeren Tropfen mit 2 mm und 4 mm Durchmesser sind in der Lage, den Brandherd zu erreichen. Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, daß das System Sprinkler/Brand durch eine große Anzahl von Einflußgrößen bezüglich der Brandausbreitung, der Sprinkleranlage und der Wechselwirkungen zwischen Sprinkler/Brand/Umgebung gekennzeichnet ist. Numerische Beschreibungen des Brand- und Löschauflaufes scheitern zum Teil daran, daß die dafür wesentlichen Vorgaben nicht bekannt sind, da Probleme bezüglich der meßtechnischen Erfassung von wichtigen Brandkenngrößen vorliegen. Die physikalisch/chemischen Größen sind zum Teil nur mit unzureichender Meßgenauigkeit oder gegenwärtig überhaupt nicht meßtechnisch erfaßbar, wie z.B. Tropfengrößenmessungen sowie die Bestimmung des Tropfengehaltes und der Feuchtigkeit in einer Brandgasströmung bzw. Flamme, die Bestimmung von Sauerstoffkonzentrationsgradienten innerhalb des Lagerstapels, z.B. durch den Einfluß des Sprühnebels bei einem realen Brand oder die Bestimmung der Luftansaugung durch den Brand und den Sprinklersprühnebel durch die Zwischenräume im Lager. Dies hat Auswirkungen auf numerische Simulationen. Hier fehlen dann die erforderlichen Anfangs- und Randbedingungen, oder aber die Meßgenauigkeit der Meßgröße ist so unzureichend, daß sich diese Fehler bei numerischen Iterationen vervielfachen. Bei numerischen Simulationen ist zu beachten, daß bei der Brandausbreitung und dem Löscheinsatz dreidimensionale, instationäre Wärme-, Stoff- und Impulstransportprozesse zwischen Tropfenschwarm/Brandlast, zwischen Brandgas/Flamme und Brandlast sowie zwischen Brandgas/Flamme und Tropfenschwarm ablaufen. Umfassungsbauteile und Ventilationsbedingungen haben ebenfalls einen entscheidenden Einfluß. Diese Problematik kann mit Zonenmodellen nicht hinreichend gelöst werden. Feldmodelle wären unter Berücksichtigung aller relevanten Anfangs- und Randbedingungen in der Lage, die Problematik zu beschreiben. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige Ergebnisse dieser Untersuchungen. Die **Bilder 7 und 8** zeigen die Abhängigkeit der Tropfengrößenverteilungen

und des Sauter-Durchmessers bei verschiedenen Schirmsprinklern und einem ESFR-Sprinkler in Abhängigkeit vom Volumenstrom bzw. dem Betriebsdruck. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, sollen in allen physikalischen und chemischen Vorgängen zur Bildung des mittleren Durchmessers die Teilchenabmessungen verwendet werden, die Einfluß auf den ablaufenden Prozeß haben. Für den Wärme- und Stoffaustausch, gekoppelt mit einer Bewegung der Tropfen, ist dies der Sauter-Durchmesser oder gleichwertiger Kugeldurchmesser  $D_{32}$ , der die Summe aller Tropfenvolumina zu der Summe aller Tropfenoberflächen ins Verhältnis setzt. Die Bilder zeigen, daß sich mit zunehmendem Betriebsdruck bzw. zunehmendem Volumenstrom die Tropfengrößen verringern.

Die **Bilder 9 und 10** zeigen die Wasserbeaufschlagungen bei einem Schirmsprinkler und einem ESFR-Sprinkler. Es hat sich gezeigt, daß bei dem untersuchten Schirmsprinkler (**Bild 9**) ein beträchtlicher Wasseranteil außerhalb des Auffangwannenbereiches auf den Boden gelangte (u.a. auch an den ansteigenden Wasserbeaufschlagungen im Randbereich erkennbar). Beim ESFR-Sprinkler (**Bild 10**) ergab sich eine erhöhte Wasserbeaufschlagung zentral unter dem Sprinkler.

**Bild 11** zeigt einen Vergleich von mit dem Programm DETACT-T2 [37] berechneten Auslösezeiten bei Sprinklern mit drei verschiedenen RTI-Werten bei langsamer, mittlerer und schneller Brandausbreitung und drei verschiedenen Höhen der Sprinkler über dem Brandherd mit den an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik aus Lösversuchen bei Lager- und Raumbränden mit Sprinklern ermittelten Werten. Man erkennt an den berechneten Werten, daß z.B. bei einer schnellen Wärmefreisetzung, einer Höhe von 9 m zwischen Sprinkler und Brandherd und einem langsam ansprechenden Sprinkler zum Auslösezeitpunkt bereits eine Wärmefreisetzung von fast 4 MW erreicht wird. Hier wird deutlich, daß ein Kleinbrand bereits weit überschritten ist. An den experimentellen Untersuchungen der Forschungsstelle für Brandschutztechnik erkennt man weiterhin, daß eine erhebliche Streubreite der Versuchsergebnisse bei den Brand- und Lösversuchen auftritt. Hierfür sind zum einen die unterschiedlichen Versuchskonfigurationen und Lageraufbauten verantwortlich, zum anderen können bei identischem Versuchsaufbau die Meßwerte z.B. aufgrund unterschiedlicher Umgebungsbedingungen wie schwankende Feuchtigkeitsgehalte und Temperaturen von Luft und Brandlast sowie unterschiedliche Ventilationsbedingungen zu diesen Abweichungen führen. Weiterhin ist zu erkennen, daß erhebliche Unterschiede zwischen den berechneten und gemessenen Auslösezeiten auftreten.



Bei den durchgeführten Lagerbrandversuchen lagen die gemessenen Auslösetemperaturen der Sprinkler zwischen 79°C und 257°C, bei den Raumbrandversuchen zwischen 114°C und 222°C. Bei einem Raumbrandversuch mit geringer Brandlast (ca. 7 kg: Holzkrippe, Kartons, Holzwohle) direkt unter dem Sprinkler wurden gleichzeitig drei verschiedene Sprinkler in Form von Indikatorsprinklern ohne Löschwirkung mit drei verschiedenen RTI-Werten eingesetzt. Der Abstand zwischen Sprinkler und Brandlast betrug ca. 1,9 m. Hierbei ergaben sich die in **Tabelle 9** aufgeführten Auslösetemperaturen und Auslösezeiten.

Die Anwendungsgrenzen von Sprinkleranlagen bei Feststoffbränden sind dann erreicht, wenn die brennende Oberfläche durch die vom Sprinkler aufgebrauchte Wasserbeaufschlagung nicht mehr ausreichend abgekühlt werden kann. Die Tropfen des Sprinklersprays müssen aufgrund ihres Impulses in der Lage sein, in ausreichender Menge die Brandgasgegenströmung zu überwinden, um den Brandherd zu erreichen. Weiterhin stößt der Einsatz von Sprinkleranlagen dort an Grenzen, wo das Löschmittel Wasser, die Wirkungsweise und das Ansprechverhalten der Sprinkleranlagen dem Risikopotential nicht oder nicht allein gewachsen sind. Hierzu zählen z.B. nach Merkblatt VdS 2377 11.93 (01) [38]

- Elektrische Betriebsräume  
Durch die Leitfähigkeit von Wasser ist mit Folgeschäden zu rechnen.
- Räume zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten  
Durch das unterschiedliche spezifische Gewicht und die Eigenschaften vieler brennbarer Flüssigkeiten, sich nicht ohne weiteres mit Wasser zu vermischen, besteht die Gefahr, daß ein Brand in Verbindung mit dem aufgebrauchten Löschwasser nicht gelöscht, sondern in die Umgebung ausgebreitet wird.
- Explosionsgefährdete Anlagen  
Explosionen sind gekennzeichnet durch überdurchschnittlich hohe Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, spontanen Druckanstieg u. plötzliche Zerstörungen. Sprinkleranlagen eignen sich wegen ihrer systembedingten Ansprechzeit nicht zur Beherrschung derartiger Vorgänge.

Für diese und weitere Einsatzgebiete müssen dann entsprechend modifizierte Sprinkleranlagen (z.B. Zumischung von filmbildendem Schaummittel), Inertgas-Feuerlöschanlagen, Funkenlöschanlagen u.s.w. eingesetzt werden.

Neue Einsatzgebiete für Sprinkleranlagen sind z.B. der Einsatz in Lägern des Dualen Systems,

der Einsatz in automatischen Parksystemen und in Schienenfahrzeugen.

## **7.2 WASSERNEBELLÖSCHANLAGEN - DEFINITION - LÖSCHWIRKUNG - EINSATZGEBIETE - AUSFÜHRUNGSFORMEN**

Ortsfeste Wassernebellöschanlagen sind Sprühwasser-Feuerlöschanlagen, die im Dauer- oder Intervallbetrieb Wasser in fein verteilter Form versprühen. Ausführliche Angaben zu Anlagentypen, Löschemechanismen, bisher durchgeführten Brandversuchen und Normungstätigkeit, etc. finden sich bei [32, 39]. Im Gegensatz zu konventionellen Sprinkleranlagen, deren Löscheffekt hauptsächlich auf der Kühlwirkung der größeren Wassertropfen auf der brennenden Oberfläche des Brandstoffes beruht, weisen Wassernebellöschanlagen folgende Löscheffekte auf :

- Kühlwirkung durch Verdampfung in der Reaktionszone und an der Grenzfläche Flammensäule/Brandgasströmung
- Ausbildung einer lokalen Inertisierung (Sauerstoffverdrängung) am Brandherd infolge Verdampfung und einer entsprechenden Teilchendichte an Wassertropfen
- Verdünnung der Reaktionszone durch Verdampfung
- Heterogene Inhibition in der Mischungszone der Flamme durch die Erzeugung eines Wandeffektes mit einem Löschmittelstrahl entsprechender Tropfendichte durch Energieentzug. Dies führt zu Kettenabbruchreaktionen und zum Verlöschen der Flamme
- Verhinderung der Strahlungswärmerückkopplung durch Sedimentation der Wassertropfen in der Verbrennungszone oder durch Erreichen des Trenneffektes

Bei Wassernebellöschanlagen unterteilt man in Nieder-, Mittel- und Hochdruckanlagen. Niederdruck-Wassernebellöschanlagen weisen speziell den Vorteil auf, daß diese in das Hauswasserleitungsnetz integriert werden können, falls die Anforderungen für die Wasserversorgung der Löschanlage gewährleistet sind. Hier sei bemerkt, daß Sprinkleranlagen ebenfalls im Niederdruckbereich arbeiten.

Die Wassernebellöschanlage weist aufgrund ihres gegenüber Sprinkleranlagen abweichenden Löschrinzips auch ohne Löschmittelzusätze Vorteile bei der Löschwirkung auf Flammenbrände, insbesondere bei flüssigen Brandstoffen und Kunststoffen, bei gleichzeitig niedrigem Löschwasserverbrauch auf.

Wie Versuche von **Kunkelmann [39]** an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik mit einer Niederdruck-Wasserebellöschanlage bei Zimmerbränden im Zusammenhang mit Gebäuden mit Doppelfassaden gezeigt haben, kann Wasserdampf bei schneller Auslösung in der Brandentwicklungsphase den Brand von Möbeln und Textilien wirksam bekämpfen und die Brand- und Rauchausbreitung in benachbarte Räume verhindern bzw. auf ein unbedenkliches Maß reduzieren. **Bild 12** zeigt verschiedene Temperaturverläufe für diese Versuche mit und ohne Niederdruckwasserebellöschanlage.

Weiterhin wurde an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik von **John und Kunkelmann [40]** die Löschwirksamkeit einer Niederdruck-Wasserebellöschanlage in einem Hochregallager, in dem unter anderem Lagerbehälter aus Polypropylen, Plastikgehäuseteile, Kabel und Verpackungskartons auf Holzpaletten gelagert waren, untersucht. Der Brand konnte durch diese Löschanlage ohne Zusatz von bildbildendem Schaummittel nahezu vollständig abgelöscht werden. Durch die schnelle Auslösung der Anlage innerhalb von 2 Minuten waren von 84 Paletten mit Lagergut nur 4 Stück teilweise verbrannt.

### 7.3 EINSATZ VON SPRINKLERANLAGEN IN TREPPENRÄUMEN

Der Löscheffekt von Sprinkleranlagen beruht hauptsächlich auf der Kühlwirkung von Wassertropfen auf der brennenden Oberfläche. Sprinkleranlagen können daher nur Bereiche ablöschen, die von den Wassertropfen erreicht werden. Die Anwendungsgrenzen bei Feststoffbränden sind dann erreicht, wenn diese Oberfläche durch die vom Sprinkler aufgebraute Wasserbeaufschlagung nicht mehr ausreichend abgekühlt werden kann. Die Tropfen des Sprinklersprays müssen aufgrund ihres Impulses (Masse, Geschwindigkeit) in der Lage sein, in ausreichender Anzahl die Brandgasströmung zu überwinden. Weiterhin stößt der Einsatz von Sprinkleranlagen dort an Grenzen, wo das Löschmittel Wasser, die Wirkungsweise und das Ansprechverhalten der Sprinkleranlagen dem Risikopotential nicht oder nicht allein gewachsen sind. Speziell in einen Treppenraum ergeben sich durch das Öffnen von Fenstern und Türen Luft- und Rauchgasströmungen, die dazu führen können, daß Sprinkler in Bereichen auslösen können, die zunächst nicht vom Brand betroffen sind. Durch die weitere Brandentwicklung kann dadurch die Sprinkleranlage unterlaufen werden und der Brand außer Kontrolle geraten.

#### **7.4 EINSATZ VON WASSERNEBELLÖSCHANLAGEN IN TREPPENRÄUMEN**

Aufgrund der bei Wassernebellöschanlagen gegenüber Sprinkleranlagen abweichenden Lösch-  
effekte (siehe Abschnitt 7.2) und dem Einhausungseffekt des Wassernebels durch das frühzeitige,  
gleichzeitige Auslösen mehrerer Wassernebelsprühköpfe im Treppenraum werden sowohl  
brennende als auch nichtbrennende Bereiche abgedeckt. Die feinen Wassernebeltropfen sind, im  
Gegensatz zu Sprinkleranlagen, in der Lage, auch in verdeckte Bereiche zu gelangen.

#### **8. VERSUCHSPROGRAMM DER FORSCHUNGSSTELLE FÜR BRAND- SCHUTZTECHNIK**

Ausgehend von den bisher gewonnenen Erkenntnissen über Wassernebellöschanlagen im Ver-  
gleich zu Sprinkleranlagen, z.B. Vorteile bei der Löschwirkung auf Flammenbrände, insbesonde-  
re bei flüssigen Brandstoffen und Kunststoffen sowie erfolgversprechender Einsatz bei Raum-  
bränden mit Möbeln bei gleichzeitig niedrigem Löschwasserverbrauch, wurde ein 4-geschossiges  
Versuchstreppenhaus mit einer Niederdruck-Wassernebellöschanlage System Herzog konzipiert.  
Hiebei sollen insbesondere folgende Brand- und Löschversuche durchgeführt werden, um die  
Brand- und Rauchausbreitung sowie die Löschwirkung der Wassernebellöschanlage zu untersu-  
chen.

Die Literaturswertung hat gezeigt, daß sehr oft die Brandentstehung in einem an das Treppen-  
haus angeschlossenen Raum mit geöffneter Tür (Szenario: flüchtende Personen lassen die Tür  
offen stehen), mit einer Tür ohne Feuerwiderstand oder bei einer Tür mit einfacher Verglasung  
bzw. Oberlicht für eine schnelle Brand- und Rauchausbreitung in den Treppenraum verant-  
wortlich ist.

Des weiteren ist die Brandentstehung im Treppenraum selbst für die Brand- und Rauchaus-  
breitung im Treppenraum sowie besonders auch in darüberliegende Räume von großer Bedeu-  
tung. Beim Brand im Treppenraum sollen insbesondere folgende Szenarien untersucht werden:

- Entstehungsbrand am Treppenfuß im Bereich des Treppenauges
- Entstehungsbrand am Treppenfuß unter dem Podest

- Entstehungsbrand im Treppenraum auf einem Zwischenpodest

Weiterhin sollen der Einfluß von Holztreppen mit und ohne Setzstufen auf die Brand- und Rauchausbreitung sowie die Löschwirkung untersucht werden.

An dieser Stelle soll noch einmal betont werden, daß eine Wassernebellöschanlage möglichst schnell in der Anfangsphase eines Brandes ausgelöst werden muß und nicht erst bei vollentwickeltem Brand, um die Schäden durch Brand- und Raucheinwirkung sowie die Löschwasserschäden auf ein Minimum zu reduzieren.

## 8.1 VERSUCHSAUFBAU

Die **Bilder 13 und 14** zeigen den Aufbau des 4-geschossigen Versuchstreppenhauses (Erdgeschoß und 3 Obergeschosse) mit Holztreppen und Holzverkleidung sowie Niederdruck-Wassernebellöschanlage.

An der rückwärtigen Tür mit Oberlicht wird im Zusammenhang mit einem anderen Forschungsprojekt ein Brandraum mit Abbrandwaage angeschlossen.

In **Tabelle 10** werden Details zum Versuchsaufbau des Treppenraumes und dessen Abmessungen, zum Aufbau der Wassernebellöschanlage, der Meßtechnik und Meßdatenerfassung sowie zur Versuchsdokumentation aufgeführt.

Die Treppen- bzw. Treppenraumkonstruktion besteht aus einläufigen, gegenläufigen Treppen mit Podesten in den jeweiligen Geschoßhöhen. Bei der Treppenbauform handelt es sich im Grundaufbau um aufgesattelte Treppen mit Treppenwangen, Tritt- und Setzstufen aus Fichte/Tanne- bzw. Kiefernholz.

Im oberen Treppenraumabschluß befindet sich ein Ansaugstutzen der Abgasreinigungsanlage. Hierdurch können unterschiedliche Ventilationsbedingungen im Treppenraum sowie ein maschineller Rauch- und Wärmeabzug simuliert werden.

Bei der Wassernebellöschanlage handelt es sich um eine Niederdruckanlage der Firma Systemtechnik Herzog GmbH in 39387 Oschersleben. Diese Anlage besteht aus 3 getrennt aktivierbaren Sprührohreinheiten mit 8 getrennt aktivierbaren Sprühdüsen je Sprührohreinheit. Jeder Sprühdüse besteht aus einer bis fünf offenen Dralldüsen. Die Auslösung der Wassernebellöschanlage erfolgt für die Versuchszwecke zunächst manuell aufgrund des Auslösens von Indikatorsprinklern mit unterschiedlichen RTI-Werten oder nach dem Ansprechen von Brandmeldern an verschiedenen Positionen im Treppenraum.

Im Bereich des Ergeschosses und der Podeste wurden Beobachtungsfenster angebracht, um die Brand- und Rauchausbreitung sowie die Löschwirkung mittels Videokameras beobachten zu können.

## **8.2 MESSTECHNIK**

Die Messtechnik zur Beschreibung der Brand- und Rauchausbreitung im Treppenraum umfaßt folgende Positionen:

- Temperaturen an diversen Meßpositionen
- Wasservolumenstrom an diversen Meßpositionen
- Wasserdruck an diversen Meßpositionen
- Dynamischer Druck der Luft bzw. der Brandgase ( $\Rightarrow$  Luft- bzw. Brandgasgeschwindigkeit) an diversen Meßpositionen
- Wärmefreisetzung (mittels der Sauerstoffverbrauchs-Meßmethode und aus dem zeitlichen Verlauf der Abbrandmasse)
- Rauchdichte an diversen Meßpositionen
- Brandgasanalyse an diversen Meßpositionen

Die Meßdatenerfassung und -auswertung erfolgt mittels PC. Weiterhin werden mehrere Farbvideokameras an verschiedenen Positionen und Fotoapparate zur Dokumentation eingesetzt.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewertung der internationalen Untersuchungen bezüglich der Brand- und Rauchausbreitung in Altbauten mit Holztreppen und/oder Holzverkleidungen sowie in denkmalgeschützten Gebäuden hat folgende Problematik aufgezeigt, denen aufgrund der extrem schnellen Brand- und Rauchausbreitung in diesen Gebäuden unbedingt Beachtung geschenkt werden muß:

- ☞ In Rettungswegen von Holzbauwerken müssen freiliegende, brennbare Baustoffe vermieden werden bzw. bei Holztreppen und/oder Treppenräumen mit Holzverkleidung in Gebäuden geringer Höhe sollten Kompensationsmaßnahmen wie z.B. der Einbau von Brandmeldern ergriffen werden, wenn die Holzterapie der einzige bauliche Rettungsweg ist.
- ☞ Bei Altwohngebäuden ist die Verbesserung der brandschutztechnischen Qualität der Wohnungseingangstüren (z.B. rauchdicht, Feuerwiderstand, Selbstschließenrichtungen, Vermeidung von Verglasungen ohne Feuerwiderstand in den Türen und bei Oberlichten (=> Einbau von Brandschutzverglasungen)) der zweckmäßigste Weg, damit der Treppenraum auch bei Wohnungsvollbränden für die Bewohner noch längere Zeit benutzbar ist => schnellere Gefährdung von Personen durch Verrauchung des Treppenhauses als durch direkte Flammeneinwirkung. Weiterhin müssen die Türen bei einem Brand im Treppenraum die Brand- und Rauchausbreitung in die Räume entsprechend verzögern.
- ☞ Durch die nachträgliche Verkleidung der Unterseiten von Holztreppen und Podesten mit nichtbrennbaren Baustoffen wird die Sicherheit des Rettungsweges im Brandfall nur wenig verbessert.
- ☞ Die Brand- und Rauchweiterleitung über Hohlräume und Fugen muß verhindert werden.
- ☞ Holzbauteile mit entsprechender Feuerwiderstandsdauer müssen so dimensioniert sein, daß diese für die geforderte Zeit, entsprechend der Abbrandgeschwindigkeit für die jeweilige Holzart, ihre Tragfähigkeit bzw. Funktionsfähigkeit beibehalten.
- ☞ Geeignete Brandabschnittsbildung.
- ☞ Vorbeugende Holzschutzmaßnahmen gegen Feuereinwirkungen können werkstofftechnischer, konstruktiver und chemischer Art sein. Durch diese Schutzmaßnahmen soll die Gefahr der Entzündung und die Schnelligkeit der Verbrennung verringert werden. Der Feuerwiderstand tragender und auch raumabschließender Wände wird durch eine Oberflächenbehandlung mit chemischen Feuerschutzmitteln (z.B. Imprägnierung mit Feuerschutzsalzen) nicht erhöht. Hierdurch ergibt sich keine Reduzierung der Brennbarkeit, sondern nur der Entflammbarkeit,

und dies auch nur innerhalb von Gebäuden. Diese Stoffe sind witterungsempfindlich, insbesondere gegen Feuchtigkeit.

☞ Für Gebäude mit erhöhten Risiken, z.B. mehrgeschossig bzw. Gebäude besonderer Art oder Nutzung (z.B. Krankenhäuser, Altenheime etc.) stehen zusätzlich folgende Maßnahmen zur Verfügung:

- Verwendung von Holzbauteilen mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen
- Einbau von Brandmeldeanlagen
- Einbau von ortsfesten Löschanlagen wie z.B. Sprinkleranlagen oder Wassernebellöschanlagen mit frühzeitiger Auslösung in der Brandentwicklungsphase
- Einbau von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen

☞ Nach § 6 der Musterbauordnung darf die Tiefe der Abstandsflächen vor den Außenwänden von Gebäuden 5 m nicht unterschreiten bei

- Wänden aus brennbaren Baustoffen, die nicht mindestens feuerhemmend sind sowie
- feuerhemmenden Wänden, deren Oberfläche aus normalentflammbaren Baustoffen besteht oder die überwiegend eine Verkleidung aus normalentflammbaren Baustoffen haben.

Weiterhin wird in der Arbeit der Aufbau eines Holztreppenraumes mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage mit der entsprechenden Meßtechnik beschrieben, der für die experimentellen Untersuchungen der Brand- und Rauchausbreitung dient.



## 10. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Kabat, S.: Brandschutz in Baudenkmälern.  
Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 1996
- [2] Mayr, J.: Brandschutzatlas.  
Baulicher Brandschutz Band 1 und 2  
FeuerTRUTZ GmbH, Verlag für Brandschutzpublikationen;  
Wolfratshausen, 1995
- [3] Arndt, W.: Brandschutzkonzept bei der Altbausanierung. Gesetzliche Grundlagen;  
Gestaltung der Flucht- und Rettungswege, Zugänge und Zufahrten für  
die Feuerwehr, Schutzziele, Anforderungen, Maßnahmen.  
VdS-Fachtagung Altbausanierung, Köln, 1997
- [4] Knödler, F.;  
Haase, J.;  
Wessels, M.: Brand in der Stuttgarter Altstadt.  
Brandhilfe 10/1994, S.314 - 321
- [5] Kabat, S.: Analyse der Brandschutzlage in Altbauten und ihre Ertüchtigung,  
Teil 1, Bausubstanz, 15. Jahrg., April 99, S. 36 - 37
- [6] Kabat, S.: Analyse der Brandschutzlage in Altbauten und ihre Ertüchtigung,  
Teil 2, Bausubstanz, 15. Jahrg., Mai 99, S. 32 - 34
- [7] Daiber, G.: Die Treppenkonstruktionen in Mietshäusern von 1850 bis 1940.  
Aspekte zu ihrer Entwicklung und Verbreitung am Beispiel Berlin,  
Hamburg und Hannover.  
Werner-Verlag, Düsseldorf, 1986
- [8] Rösler, W.;  
Stiller, J.: Sicherheitsbetrachtungen für Treppenhäuser mit Holztreppe in  
mehrgeschossigen Altbaugebäuden.  
Bauforschungsbericht F 2228 des Bundesministers für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau, IRB Verlag, Stuttgart 1993
- [9] Limprecht, O.: Brandschutzkonzepte für Treppenhäuser in bestehenden Gebäuden mit  
Holztreppe  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, Fachbereich A/RU/BI, Inte-  
grierte Hochbautechnik, 1998
- [10] Beilicke;  
Aradi;  
von Lieben;  
Wesche, J.: Brandschutztechnische Beurteilung und Ertüchtigung von Holzkon-  
struktionen in bestehenden Gebäuden.  
AIF-Forschungsvorhaben 175-D, TU "Otto von Guericke" Magde-  
burg, im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung,  
IRB-Verlag, Stuttgart 1993

- [11] Seifert, P.; Holztreppen.  
Menzebach, B.: Informationsdienst Holz; Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, 1979
- [12] Steinmetz D.; Handwerkliche Holztreppen.  
Gösele K.: Informationsdienst Holz;-Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, 1987
- [13] Kress, F.: Der Treppen- und Geländerbauer.  
Verlag Th. Schäfer, Hannover 1988
- [14] Nutsch, W. et al.: Fachkunde für Schreiner.  
Verlag Europa-Lehrmittel, 13. Auflage, Haan-Gruiten, 1987
- [15] Kordina, K.; Holz Brandschutz Handbuch  
Meyer-Ottens, C.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., 2. Auflage, München, 1994
- [16] Kordina, K.; Brandverhalten von Holzkonstruktionen.  
Meyer-Ottens, C.: Informationsdienst Holz;  
Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, 1977
- [17] Jens, J.: Spitzhacke oder Renaissance für den Althausbau?  
Problematik der Althausanierung aus brandschutztechnischer Sicht.  
Dargestellt am Beispiel eines Wohnhausbrandes im Hamburger Stadtteil St. Georg.  
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 3/1977, S. 62 - 64
- [18] Gihl, M.: Wohnhaus-Großbrand in Hamburg  
Brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung, 5/1971, S.148 - 149
- [19] Lehmeier, R.; Großfeuer im historischen Maltesergebäude in der Amberger Altstadt.  
Strobel, B.; Brandwacht 1/1994, S. 9 13  
Platzer, M.:
- [20] Gräser, T.: Naturstoffe in Wohnungen und ihre Verbrennungsprodukte.  
Brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung, 7/1994, S.426 - 434
- [21] vfdb Schadstoffe bei Bränden.  
vfdb-Richtlinie, Referat 10: Umweltschutz, Entwurf Mai 1996, vfdb-Zeitschrift 3/96, S. 134 - 142

- [22] Buff, K.; Greim, H.: Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden. Literaturstudie Teilbereich Toxikologie Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern, neue Folge Band 25, Bundesamt für Zivilschutz, Bonn 1997
- [23] Beilicke, G.: Überblick über die brandschutztechnischen Probleme bei der Sanierung der bestehenden Altbausubstanz. VdS-Fachtagung Altbausanierung, Köln, 1997
- [24] Fischer, B.: Technischer Brandschutz im Rahmen des Brandrettungskonzeptes. 8. Brandschutz-Tagung: Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGFH), Nürnberg 1998
- [25] Becker, K.; Tichelmann, K.: Holzbau und Brandschutz in Hessen. Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf 1994
- [26] Kunkelmann, J.: Sprinkleranlagen - Auslösung, Löschwirksamkeit, Anwendungsgrenzen. Fachtagung "Wasser als modernes Löschmittel" Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge (1999)
- [27] VdS: Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau VdS 2092 6/87 (6), VdS Schadenverhütung e.V. Köln
- [28] Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind. Teil 12: - Zusammenstellung von Erkenntnissen aus theoretischen, numerischen und experimentellen Untersuchungen als Planungshilfe zur Ausführung von Lägern und Sprinkleranlagen sowie zur Überprüfung von numerischen Simulationen. - Darstellung der Problematik bei der meßtechnischen Erfassung von physikalisch/chemischen Größen bei Brand- und Lösversuchen insbesondere im Hinblick auf die Verwendung bei numerischen Simulationen. Forschungsbericht Nr. 95 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1995)
- [29] Heskestad, G. Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers  
Bill, Robert G. Jr.: Including Conduction Effects.  
Fire Safety Journal, 14 (1988) , S. 113 - 125
- [30] Job, E.J.: Standard Orientation RTI and C Factor Limits  
Firmenunterlagen der Firma Eduard J. Job  
Ahrensburg 1997

- [31] Fuchs, P.:  
Widmann, P.  
Bodamer, M.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern.  
Teil I - VI,  
Forschungsbericht Nr. 36, 41, 44, 48, 51, 56 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1979, 1980, 1981, 1982, 1984, 1985)
- [32] Schremmer, U.: Stationäre automatische Wasservernebelungsanlagen  
- Grundsätze, Wirkungsweise, Gestaltung und Einsatzgrenzen.  
Dissertation, Universität Magdeburg, 1996
- [33] Brein, D.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.  
Teil 1: Literaturlauswertung.  
Teil 2: Großbrandversuche 1  
Teil 3: Großbrandversuche 2  
Forschungsberichte Nr. 55, 58, 64 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1985, 1986, 1988)
- [34] Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.  
Teil 4: Großbrandversuche 3.  
Teil 5: Großbrandversuche 4.  
Teil 6: Großbrandversuche 5.  
Teil 7: Literaturübersicht über die Wechselwirkungen eines Tropfenschwarmes mit einer Heißgasströmung.  
Teil 8: Simulation der Wechselwirkungen eines Tropfenschwarmes mit einer Heißgasströmung.  
Teil 9: Simulation der Wasserbeaufschlagung eines Sprinklers.  
Teil 10: Weiterführende Literaturübersicht über die Brandausbreitung sowie über die Wechselwirkungen des Tropfenschwarmes eines Sprinklers mit einer Heißgasströmung.  
Teil 11: Großbrandversuche 6 - Brandausbreitung in Palettenlagern und Vergleich mit Gitterbox- und Blocklagerung.  
Forschungsbericht Nr. 65, 68, 72, 76, 80, 84, 88 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1988, 1989, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994)
- [35] Schatz, H.: Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.  
Teil 1: Literaturlauswertung und Errichtung der Versuchsanlage.  
Teil 3: Entwicklung und Einsatz von Sprinkler  
Teil 4: Löscheversuche mit Sprinklern 1.

Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2.  
Teil 6: Löschversuche mit Sprinklern 3.  
Teil 7: Literaturlauswertung und Simulation der Wasserbeaufschlagung.  
Teil 8: Literaturlauswertung Sprinkler  
Teil 9: Messung und Simulation der Wasserbeaufschlagung - Flüssigkeitsverteilungen - Bestimmung von Tropfengrößen.  
Teil 10: Literaturlauswertung - Tropfenverteilungen - Löschversuche.  
Teil 11: Literaturlauswertung - Sprinklereinsatz bei Palettenlager  
Forschungsbericht Nr. 53, 57, 62, 67, 70, 74, 78, 82, 85, 87 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe: Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994)

- [36] Schatz, H. Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen.  
Kunkelmann, J.: Teil 2: Literaturübersicht und Berechnungsgrundlagen für die Wärmeübertragung bei Tropfen in einer Heißgasströmung.  
Forschungsbericht Nr. 54 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1985)
- [37] Evans, David D.: Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large unobstructed Ceilings.  
NBSIR 85-3167, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, National Engineering Laboratory, Gaithersburg 1985
- [38] VdS: Sprinkleranlagen - Grenzen der Einsatzmöglichkeiten.  
VdS 2377, 11.93 (01), VdS Schadenverhütung e.V. Köln
- [39] Kunkelmann, J.: Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wassernebellöschanlagen auf die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fassaden.  
Teil 3: - Literaturlauswertung (Wassernebellöschanlagen: Entwicklung, Löschprinzipien, Einsatzgebiete, Anwendungsgrenzen, Anlagentechnik, Normung)  
- Brand- und Löschversuche in einem Gebäudeausschnitt mit einer Ganzflächendoppelfassade  
Forschungsbericht Nr. 108 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.  
Arbeitskreis V - Ausschluß für Feuerwehrangelegenheiten.  
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1998)
- [40] John, R., Brandschutztechnisches Gutachten zur Bewertung der Löschwirksamkeit einer Wassernebellöschanlage System Herzog in einem Hochregallager.  
Kunkelmann, J.: Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1995)  
(unveröffentlicht)

## 11. Tabellen

**Tabelle 1: Anforderungen an Treppen nach § 31 MBO (nach [2]).**

Gebäudeart	Wohngebäude		Wohngebäude und andere Gebäude	
	≤ 2 Whg.	≤ 2 Whg.	> 2 Whg.	> 2 Whg.
Gebäudehöhe	-	geringe Höhe		mittlere Höhe
h oberster AR	-	h ≤ 7 m		h > 7 m, ≤ 22 m
Erfordernis von notwendigen Treppen	Mindestens eine Treppe (notwendige Treppe) ist erforderlich für <ul style="list-style-type: none"> <li>● jedes nicht zu ebener Erde liegende Geschöß und</li> <li>● den benutzbaren Dachraum.</li> </ul>			
Weitere Treppen	Weitere Treppen können gefordert werden, wenn die Rettung von Menschen im Brandfall nicht auf andere Weise möglich ist.			
Rampen	Rampen mit flacher Neigung können statt notwendiger Treppen gestattet werden.			
Einschiebbare Treppen und Rolltreppen	Als notwendige Treppen unzulässig.			
Einschiebbare Treppen und Leitern	Zul. als Zugang zu Dachraum ohne AR	können gestattet werden als Zugang zu sonstigen Räumen, die keine Aufenthaltsräume (AR) sind, wkBb.		
Verlauf notwendiger Treppen	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● in einem Zuge zu allen angeschlossenen Geschossen,</li> <li>● müssen mit Treppen zum Dachraum unmittelbar verbunden sein.</li> </ul>	
Tragende Teile notwendiger Treppen	-	-	nichtbrennbar oder F 30-B	feuerbeständig (F 90-AB)
Nutzbare Breite notwendiger Treppen	80 cm (gilt auch für Treppen innerhalb von Wohnungen)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mindestens 1 m.</li> <li>● Für Treppen mit geringer Benutzung können geringere Breiten gestattet werden.</li> </ul>	
Handlauf	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mindestens ein fester und griffsicherer Handlauf,</li> <li>● Für breite Treppen können Handläufe auf beiden Seiten gefordert werden.</li> </ul>			
Geländer	Erforderlich für freie Seiten der Treppen, Treppenabsätze und Treppenöffnungen			
Sicherung	Erforderlich für Fenster, die unmittelbar an Treppen liegen und deren Brüstungen unter der notwendigen Geländerhöhe liegen.			
Geländerhöhe mindestens	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 90 cm bei bis zu 12 m Absturzhöhe,</li> <li>● 1,1 m bei über 12 m Absturzhöhe.</li> </ul>			
Beginn einer Treppe	Treppe darf nicht unmittelbar hinter einer Tür beginnen, die in Richtung der Treppe aufschlägt. Zwischen Treppe und Tür ist ein Treppenabsatz anzuordnen, der mindestens so tief sein soll, wie die Tür breit ist.			

**Tabelle 2: Anforderungen an Treppenräume nach § 32 MBO (nach [2]).**

Gebäudehöhe	geringe Höhe	mittlere Höhe
h oberster AR	$h \leq 7 \text{ m}$	$h > 7 \text{ m}, \leq 22 \text{ m}$
Erfordernis von Treppenräumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Jede notwendige Treppe muß in einem eigenen, durchgehenden und an einer Außenwand angeordneten Treppenraum liegen.</li> <li>● Innenliegende Treppenräume können gestattet werden, wenn ihre Benutzung durch Raucheintritt nicht gefährdet werden kann und wkBb.</li> </ul>	
Maisonette-Wohnungen	Für innere Verbindung von Geschossen derselb. Wohnung (Maisonette) sind innenlieg. Treppen ohne eigenen Treppenraum zulässig, wenn in jed. Geschoß ein anderer Rettungsweg erreicht werden kann.	
Erreichbarkeit des Treppenraums / Ausgang ins Freie	Der Treppenraum mindestens einer notwendigen Treppe oder ein Ausgang ins Freie muß von jeder Stelle eines Aufenthaltsraumes sowie eines Kellergeschosses in <u>höchstens 35 m Entfernung</u> erreichbar sein.	
Mehrere Treppen	Mehrere Treppen sind sie so zu verteilen, daß die Rettungswege möglichst kurz sind.	
Sicherer Ausgang ins Freie	Jeder notwendige Treppenraum muß auf möglichst kurzem Wege einen sicheren Ausgang ins Freie haben.	
Treppenräume ohne unmittelbaren Ausgang	Der Raum zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie muß: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. mindestens so breit sein, wie die dazugehörigen Treppen,</li> <li>2. Wände haben, die die Anforderungen an die Treppenraumwände erfüllen,</li> <li>3. rauchdichte und selbstschließende Türen zu notwendigen Fluren haben,</li> <li>4. ohne Öffnungen zu anderen Räumen, ausgenommen zu notwendigen Fluren sein.</li> </ol> Ausnahmen von Nr. 2 und 4 können gestattet werden, wkBb.	
Anordnung von Fluren	In Geschossen > 4 Whg. oder Nutzungseinheiten vergleichbarer Größe müssen notwendige Flure angeordnet sein. Dies gilt nicht für Wohngebäude geringer Höhe.	
Übereinanderliegende Kellergeschosse	Jeweils mindestens zwei Ausgänge zu notwendigen Treppenräumen oder ins Freie erforderlich.	
Wände von notw. Treppenräumen und Ausgängen ins Freie	feuerbeständig (F 90-AB)	Bauart von Brandwänden
	Gilt nicht, soweit Treppenraumwände Außenwände sind, aus nichtbrennb. Baustoffen bestehen und durch andere, an diese Außenwände anschl. Gebäudeteile im Brandfall nicht gefährdet werden können.	
Verkleidungen, Dämmstoffe, Unterdecken, Einbauten, Bodenbeläge	Anforderungen bestehen in notwend. Treppenräumen sowie Räumen zwisch. notwend. Treppenräumen u. dem Ausgang. Aus nichtbrennbaren Baustoffen: Verkleidungen, Putze, Dämmstoffe, Unterdecken u. Einbauten. Aus mind. schwerentflamm. Baustoffen: Bodenbeläge, ausgenommen Gleitschutzprofile	
Leitungsanlagen	Nur zulässig, wenn Bedenken wegen des Brandschutzes nicht bestehen.	
Oberer Abschluß des Treppenraums	feuerhemmend	feuerbeständig (F 90-AB)
	Dies gilt nicht wenn der obere Abschluß das Dach ist.	
Sicherung von Öffnungen	mindestens feuerhemmende, rauchdichte u. selbstschließende Türen	zu Kellergeschossen, zu nichtausgebauten Dachräumen, Werkstätten, Läden, Lagerräumen u. ähnl. Räumen sowie zu sonst. Räumen u. Nutzungseinheiten mit einer Fläche von mehr als 200 m <sup>2</sup> . ausgen. Wohnungen
	rauchdichte und selbstschließende Türen	zu notwendigen Fluren
	mindestens dichtschließende Türen	zu sonstigen Räumen und sonstigen Nutzungseinheiten
Lüftung und Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Treppenräume müssen zu lüften und zu beleuchten sein.</li> <li>● In Gebäuden mit mehr als 5 oberirdischen Geschossen müssen innenliegende Treppenräume eine von der allgemeinen Beleuchtung unabhängige Beleuchtung haben.</li> </ul>	
Erfordernis einer Rauchabzugsvorrichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Treppenräume an Außenwänden müssen in jedem Geschoß Fenster von mindestens 60 cm x 90 cm erhalten, die geöffnet werden können.</li> <li>● Treppenräume in Gebäuden mit mehr als 5 oberirdischen Geschossen und innenliegende Treppenräume müssen einen Rauchabzug an der obersten Stelle des Treppenraumes haben.</li> </ul>	
Ausführung der Rauchabzugsvorrichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mindestgröße: 5 % der Grundfläche, mindestens jedoch 1 m<sup>2</sup>.</li> <li>● Muß vom Erdgeschoß und vom obersten Treppenabsatz zu öffnen sein.</li> <li>● Ausnahmen können gestattet werden, wenn der Rauch auf andere Weise abgeführt werden kann.</li> </ul>	
Auf Wohngebäude mit bis zu zwei Wohnungen sind die Anforderungen dieser Tabelle nicht anzuwenden.		

**Tabelle 3:** Werkstoffe im Treppenbau nach [12].

Holzwerkstoff	Verwendungszweck
<b>Nadelhölzer</b>	
Tanne, Fichte	Wangen, Setzstufen
Kiefer	Wangen
Lärche	Wangen, Setzstufen
<b>Laubhölzer</b>	
Eiche	alle Treppenteile, besonders Trittstufen
Rotbuche	Trittstufen, Handläufe
Ahorn	Trittstufen, Handläufe
Esche	Trittstufen, Handläufe
<b>Sonstiges</b>	
Sperrholz (DIN 68705) (Furnier- und Tischlerplatten)	Trittstufen, Wangen
Flachpreßplatten (DIN 68763)	Tritt- u. Setzstufen, Wangen
Furnierschichtholz	keine Angabe

**Tabelle 4:** Auslegungsparameter für Sprinkleranlagen [28].

Konstruktive Gestaltung der Löschdüse	Düsen im Raum	Betriebsbedingungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprinklergehäuse</li> <li>• Düse (k-Wert, Nennweite)</li> <li>• Deflektor (Form und Anzahl der Verzahnung)</li> <li>☞ Tropfengrößenverteilung</li> <li>☞ Tropfengeschwindigkeitsverteilung</li> <li>☞ Sprühkegelform,</li> <li>☞ Flugweite der Tropfen</li> <li>☞ Wasserbeaufschlagung</li> </ul> <p>Das Auslöseverhalten ist abhängig von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nennauslösetemperatur</li> <li>• Trägheitsindex RTI</li> <li>• Wärmeleitfaktor C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ort</li> <li>• Anzahl</li> <li>• Sprührichtung</li> <li>• Abstand zwischen Sprinkler und Brandlast</li> <li>• Berücksichtigung von Sprühhindernissen</li> <li>☞ Wasserbeaufschlagung der Brandlast</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsdruck</li> <li>• Volumenstrom</li> <li>• Verwendung von Zusatzstoffen (z.B. Schaummittel, Querkörper)</li> <li>☞ Tropfengrößenverteilung</li> <li>☞ Tropfengeschwindigkeitsverteilung</li> <li>☞ Flugweite bzw. Impuls der Tropfen</li> <li>☞ Wasserbeaufschlagung</li> </ul>



**Tabelle 5: Wechselwirkungen und Einflußfaktoren im System Sprinkler/Brand/Umgebung [28].**



**Tabelle 6: Bezeichnung verschiedener Tropfendurchmesserbereiche [32].**

Mittlerer Tropfendurchmesser [ $\mu\text{m}$ ]	Bezeichnung der Strahlart
$\leq 10$	Wasseraerosol
$> 10 \dots \leq 100$	Wassernebel
$> 100 \dots \leq 400$	Wassersprühnebel
$> 400 \dots \leq 1000$	Sprühwasser
$> 1000 \dots \leq 6000$	Grobsprühwasser

**Tabelle 7: Einflußgrößen auf die Brandausbreitung bei gelagerten Stoffen [28].**

Stoffliche Einflußgrößen	Geometrische Einflußgrößen	Zündquelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügbare Masse</li> <li>• Brennbarkeit</li> <li>• Heizwert</li> <li>• Mindestzündenergie</li> <li>• Zündverhalten</li> <li>• Zündtemperatur</li> <li>• thermische Stoffgrößen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stapelabstände</li> <li>• Volumenanteil des brennbaren Materials</li> <li>• Stapelhöhe</li> <li>• Umfassungsbauteile                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anordnung</li> <li>- thermische Eigenschaften</li> <li>- Ventilation</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lage</li> <li>• Ausdehnung</li> <li>• Wärmefreisetzung</li> </ul>

**Tabelle 8:** Brandgefahrenklassen nach VdS [27].

<p><b>BG 1:</b> Schutzbereiche mit kleiner Brandbelastung und geringer Brennbarkeit.</p>
<p><b>BG 2:</b> Schutzbereiche mit mittlerer Brandbelastung und mittlerer Brennbarkeit.</p> <p>Diese Schutzbereiche werden entsprechend ihrer Brandbelastung und Brennbarkeit weiter unterteilt, und zwar in BG 2.1 bis BG 2.3.</p>
<p><b>BG 3:</b> Schutzbereiche in Produktionsbereichen mit großer Brandbelastung und hoher Brennbarkeit.</p> <p>Diese Schutzbereiche werden entsprechend ihrer Brandbelastung und Brennbarkeit weiter unterteilt, und zwar in BG 3.1 bis BG 3.3.</p>
<p><b>BG 4:</b> Schutzbereiche mit Lagerung von Stoffen und Waren.</p> <p>Diese Schutzbereiche werden entsprechend dem Brandverhalten der verschiedenen Stoffe unterteilt, und zwar in BG 4.1 bis BG 4.4. Die Einstufung von Lagermaterialien in Brandgefahrenklassen ergibt sich aus der Brandgefährlichkeit der Lagermaterialien selbst (L1 (nicht brennbar) - L4 (hoher Schaumstoffanteil)) und ihrer Verpackung (V1 (nicht brennbar) - V3 (mit Schaumstoffanteil))</p>

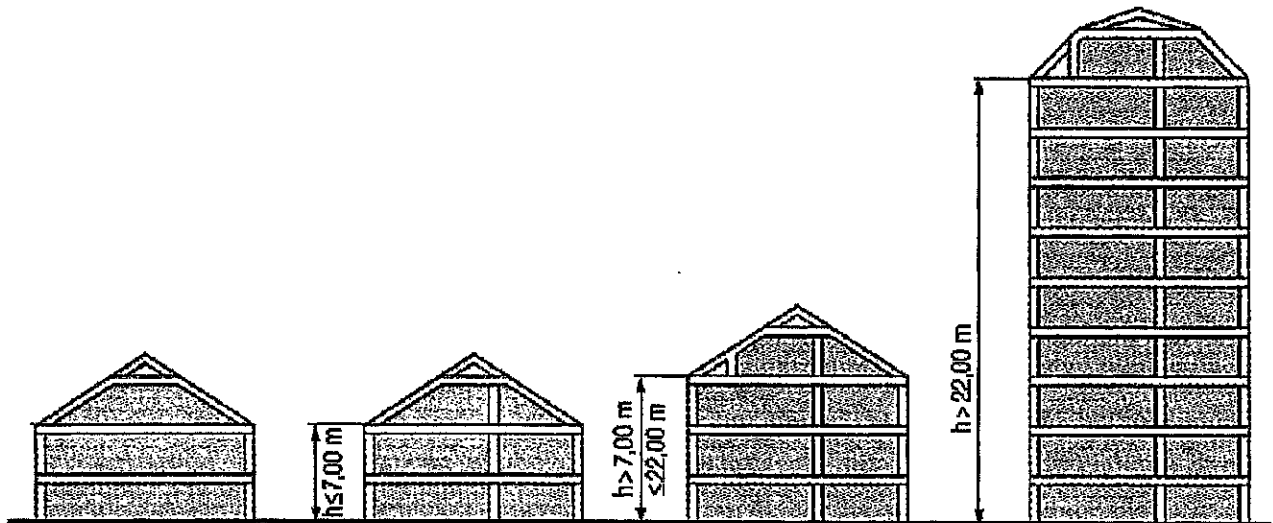
**Tabelle 9:** Auslösezeiten und Auslösetemperaturen bei einem Raumbrandversuch mit drei Sprinklern mit unterschiedlichen RTI-Werten [26].

RTI [ $\text{m}^2 \text{s}^2$ ]	Auslösezeit	Auslösetemperatur
ca. 50 (68°C, 3 mm)	4 min 32 s	115°C
ca. 100 (68°C, 5 mm)	5 min 21 s	157°C
ca. 250 (68°C, 8 mm)	5 min 41 s	222°C

Tabelle 10: Versuchsaufbau und Meßtechnik

<p><b>Treppenraum</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 geschossig (EG + 3 Obergeschosse), Gesamthöhe: 10 m, Stockwerkshöhe: 2,5 m</li> <li>• Tragkonstruktion: Regallagerkonstruktion aus Stahlprofilen</li> <li>• Verkleidung: Fichte/Tanne Rauhsplund mit Nut und Feder (Breite: ca. 130 mm, Stärke: 20 mm)</li> <li>• Treppen: Einläufige gegenläufige Treppen mit Podesten in den jeweiligen Geschoßhöhen Treppenauflänge: 3.650 mm Treppenlaufbreite: 1.050 mm Steigung: 175 mm Steigungen: 14 Treppenbauform: aufgesattelte Treppen mit             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trittstufen aus Fichte/Tanne-Massivholzdielen (14 Stück je Treppe, Länge: 1.050 mm, Breite: 300 mm Stärke: 40 mm)</li> <li>- Setzstufen (optional) aus Fichte/Tanne-Massivholzbrettern (Länge: 1.050 mm, Breite: 174 mm, Stärke: 20 mm)</li> <li>- Treppenwangen aus Kiefer-Massivholzdielen (Länge: 4.500 mm, Breite: 320 mm, Stärke: 70 mm)</li> </ul> </li> <li>• Podeste: Länge: 1.400 mm, Breite: 2.650 mm 1 Podest bestehend aus 3 Podestbalken (Fichte/Tanne Bauholz, Länge: 1.400 mm, Breite: 160 mm, Stärke: 100 mm) und Fichte/Tanne Rausplund-Dielung (Stärke: 20 mm)</li> <li>• Geländer: Geländerabstand: 130 mm             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geländerhöhe (senkrecht): 900 mm</li> <li>- Geländerpfosten und Geländerfüllung aus Fichte/Tanne-Latten (24 * 48 mm)</li> <li>- Geländerhandlauf aus Fichte/Tanne Rauhsplund (Breite: 130 mm, Stärke: 20 mm)</li> </ul> </li> <li>• Treppenauge: Abstand der Treppen: 580 mm</li> <li>• Tür - Brandversuchshalle &lt;=&gt; Treppenraum Öffnung gesamt: Breite: 1000 mm, Höhe: 2000 mm</li> <li>• Tür - Treppenraum &lt;=&gt; Brandraum hinter dem Treppenraum Öffnung gesamt: Breite: 970 mm, Höhe: 2200 mm Oberlicht: Glasfläche: Breite: 970 mm, Höhe: 390 mm (Höhe mit Holzrahmen: 470 mm) Floatglas, Stärke: 4 mm</li> <li>• Beobachtungsfenster: im Bereich der Podeste, in der Tür (Brandversuchshalle &lt;=&gt; Treppenraum), seitlich neben der Tür (Brandversuchshalle &lt;=&gt; Treppenraum)</li> <li>• Rauch- und Wärmeabzug:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- natürlich und/oder</li> <li>- maschinell (Absaugung durch Abgasreinigungsanlage direkt aus dem Treppenraum)</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Wasserebellöschanlage</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System Herzog</li> <li>• Niederdruckanlage</li> <li>• Wassertropfengröße <math>\leq 100 \mu\text{m}</math></li> <li>• 3 Sprührohreinheiten - getrennt aktivierbar</li> <li>• 8 Sprühköpfe je Sprührohreinheit - getrennt aktivierbar</li> <li>• 1 - 5 offene Dralldüsen je Sprühkopf</li> <li>• Betriebsüberdruck: minimal: 4 bar maximal: 8 bar</li> <li>• Wasservolumenstrom in Abhängigkeit vom Betriebsüberdruck, der aktivierten Sprührohreinheiten, der aktivierten Sprühköpfe, der Anzahl von Düsen je Sprühkopf u. dem Düsentyp (Maximaler Volumenstrom eines Sprühkopfes mit 5 Einzeldüsen: je nach Düsentyp ca. 42 l/min - 94 l/min im Bereich des zulässigen Betriebsüberdruckes)</li> <li>• manuelle Auslösung der Löschanlage u.a. nach Auslösen von Indikatorsprinklern mit unterschiedlichen RTI-Werten oder nach Auslösen von Brandmeldern an verschiedenen Positionen im Treppenraum</li> </ul>
<p><b>Meßtechnik und Meßdatenerfassung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen an diversen Meßpositionen</li> <li>• Wasservolumenstrom an diversen Meßpositionen</li> <li>• Wasserdruck an diversen Meßpositionen</li> <li>• Dynamischer Druck der Luft bzw. der Brandgase (=&gt; Luft- bzw. Brandgasgeschwindigkeit) an diversen Meßpositionen</li> <li>• Wärmefreisetzung (mittels der Sauerstoffverbrauchs-Meßmethode und aus dem zeitlichen Verlauf der Abbrandmasse)</li> <li>• Rauchdichte an diversen Meßpositionen</li> <li>• Brandgasanalyse an diversen Meßpositionen</li> <li>• Meßdatenerfassung und -auswertung mittels PC</li> </ul>
<p><b>Kamera- und Videotechnik</b></p>	<p>Mehrere Farbvideokameras, Fotoaufnahmen</p>

## 12. BILDER

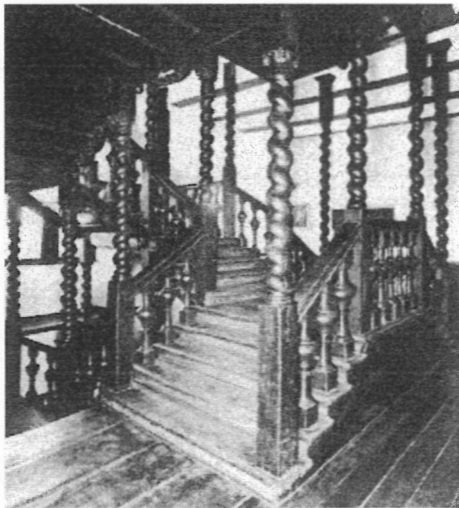


<b>Klasse 1)</b> Gebäude freistehend, bis 1 Whg.	Gebäude geringer Höhe <b>Klasse 2)</b> bis 2 Whg. <b>Klasse 3)</b> mehr als 2 Whg.	<b>Klasse 4)</b> Gebäude mittlerer Höhe: Gebäude, die höher sind als Gebäude geringer Höhe, außer Hochhäuser.	<b>Klasse 5)</b> Hochhäuser.
---	--	---	------------------------------

**Bild 1:** Gebäudeklassen nach Musterbauordnung bzw. Landesbauordnung.

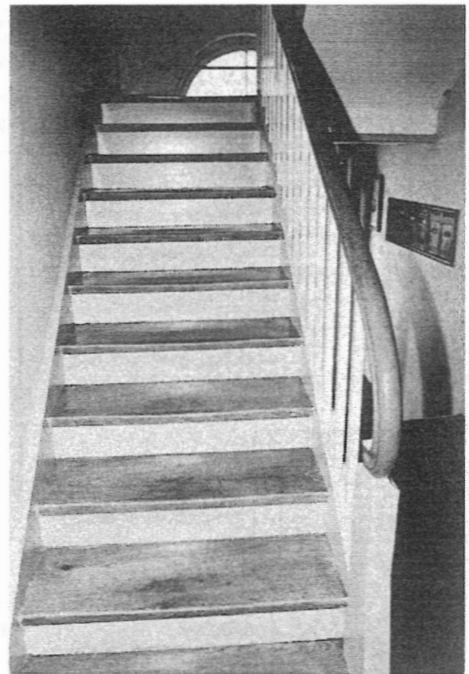
	<p>einläufige, gerade Treppe</p>	<p><b>max. Treppenbreite für alle dargestellten Systeme <math>b_{max} = 1,20\text{ m}</math></b></p>	<p><b>eingeschobene (halbgestemmte) Treppe:</b></p>
	<p>zweiläufige, gegenläufige Treppe mit Zwischenpodest</p>	<p><b>eingestemmte Treppe:</b> Alle Ausführungsformen möglich</p>	<p>Alle Ausführungsformen möglich</p>
	<p>zweiläufige, gewinkelte Treppe mit Zwischenpodest</p>	<p>Treppenschraube (Spannschraube)</p>	
	<p>dreiläufige, zweimal abgewinkelte Treppe mit Zwischenpodesten</p>	<p><b>Bild 1:</b> Eingestemmte Treppe</p>	<p><b>Bild 3:</b> Eingeschobene (halbgestemmte) Treppe Im Bereich der Podeste bzw. der Wendelungen zusätzliche Spannschraube anordnen.</p>
	<p>einläufige, halbgewendelte Treppe</p>	<p><b>Wandwange eingestemmt Lichtwange aufgesattelt</b> Alle Ausführungsformen möglich</p>	<p><b>aufgesattelte Treppe</b> Alle Ausführungsformen möglich</p>
	<p>einläufige, im Antritt viertelgewendelte Treppe</p>	<p>Wandwange mit eingestemmt Stufen Lichtwange mit aufgesattelten Stufen</p>	
	<p>einläufige, zweimal viertelgewendelte Treppe</p>	<p><b>Bild 2:</b> Eingestemmte - aufgesattelte Treppe bei freitragender Lichtwange:</p>	<p><b>Bild 4:</b> Aufgesattelte Treppe</p>
	<p>einläufige, gewendelte Treppe</p>	<p>Stufen im Bereich der Podeste bzw. der Wendelungen druck- und zugfest (z.B. mit Holzschrauben nach Detail 21 bzw. 22) auf der Wange befestigen.</p>	<p>Stufen im Bereich der Podeste bzw. der Wendelungen druck- und zugfest (z.B. mit Holzschrauben nach Detail 21 bzw. 22) auf der Wange befestigt.</p>
	<p>Spindelstreppe</p>		

**Bild 2:** Ausführungsformen von Treppen nach [12].

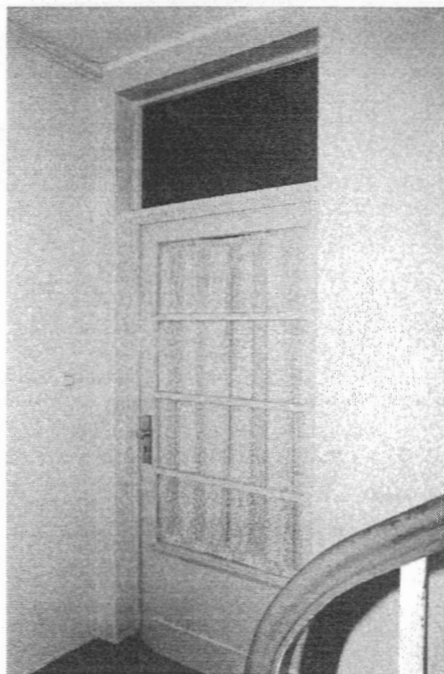


Treppe im Schloß Eringersfeld. Krs. Lippstadt (WI)

**Bild 3.1:** Beispiel für eine Holztreppenkonstruktion aus dem Bereich des Denkmalschutzes.



**Bild 3.2.1:** Beispiel für eine Holztreppenkonstruktion aus dem Bereich des Mietwohnungsbaus von 1924.



**Bild 3.2.2:** Beispiel für eine Tür mit Verglasung und Oberlicht aus dem Bereich des Mietwohnungsbaus von 1924.

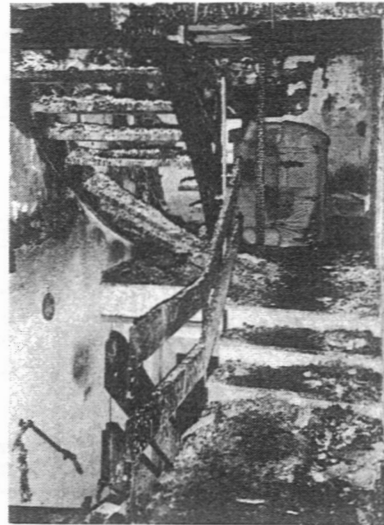


**Bild 3.3:** Beispiel für eine aktuelle Holztreppenkonstruktion.

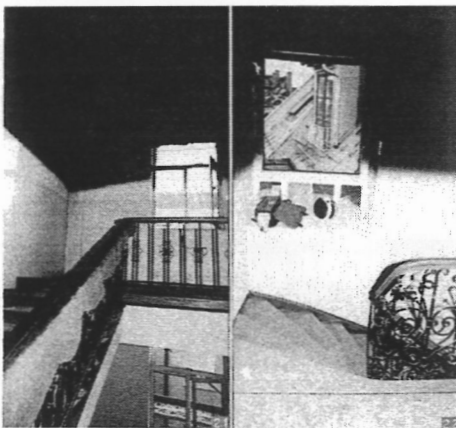
**Bild 3:** Beispiele für Holztreppenkonstruktionen.



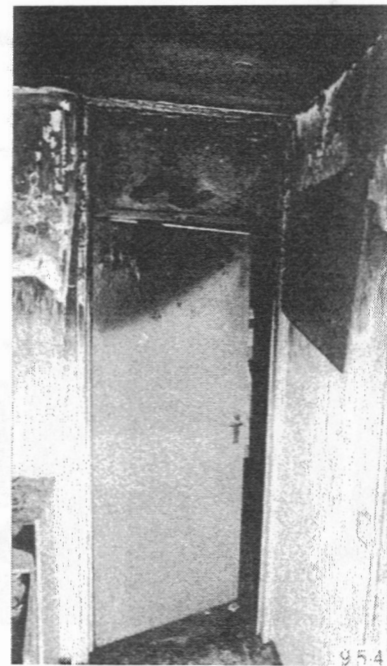
**Bild 4.1:** Brandbeanspruchung der Holztreppe nimmt von unten nach oben zu.



**Bild 4.2:** unteres Geschoß massive Steintreppe (nicht zerstört), oberes Geschoß: Holztreppe (zerstört).

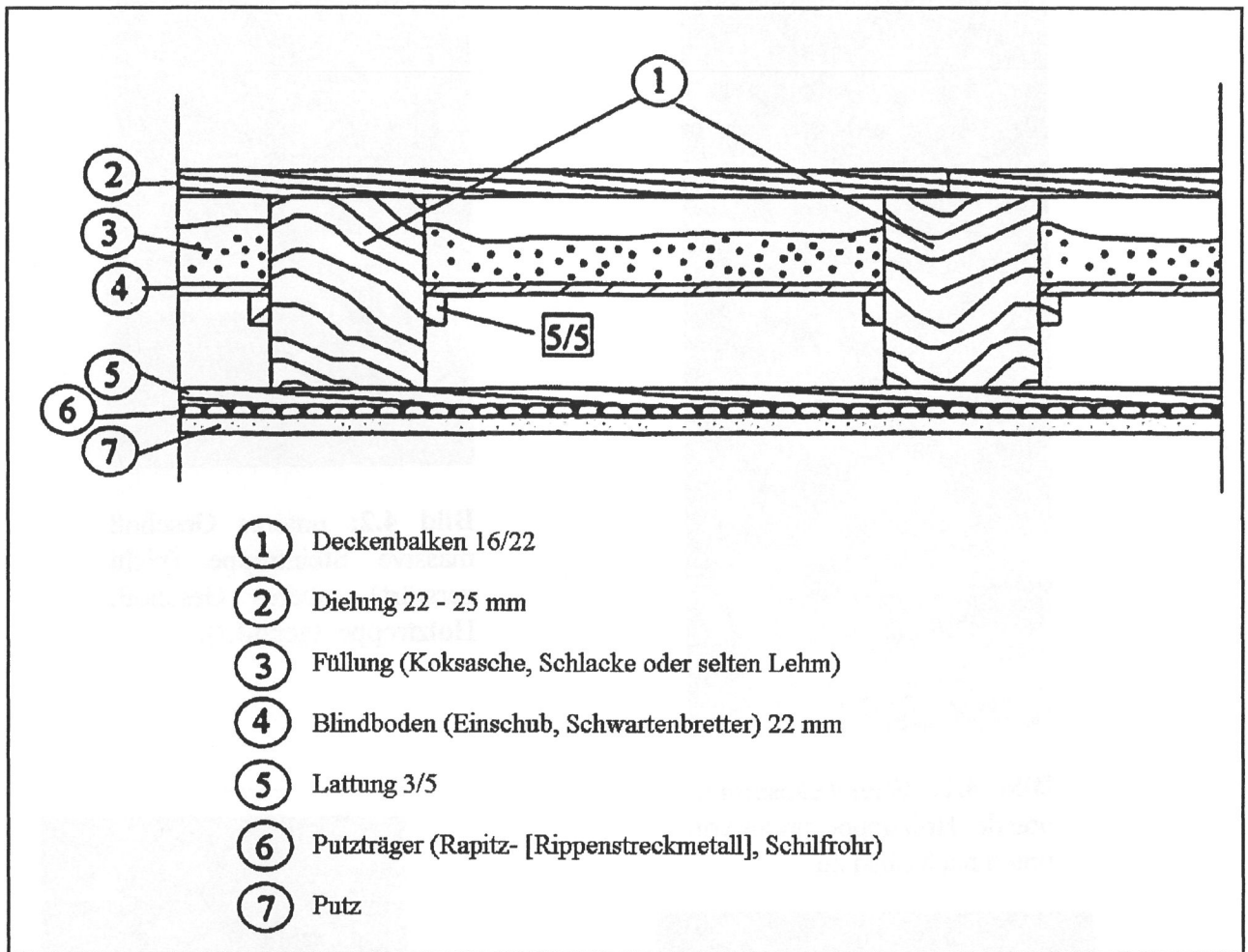


**Bild 4.3:** Funktion von Treppenraumfenstern an Außenwänden als Rauch- und Wärmeabzugsvorrichtungen: Es wurde nur der Treppenraum oberhalb des geöffneten Treppenraumfensters verrauchert. Der Bereich darunter blieb rauchfrei und stand damit als Flucht- und Rettungsweg zur Verfügung.

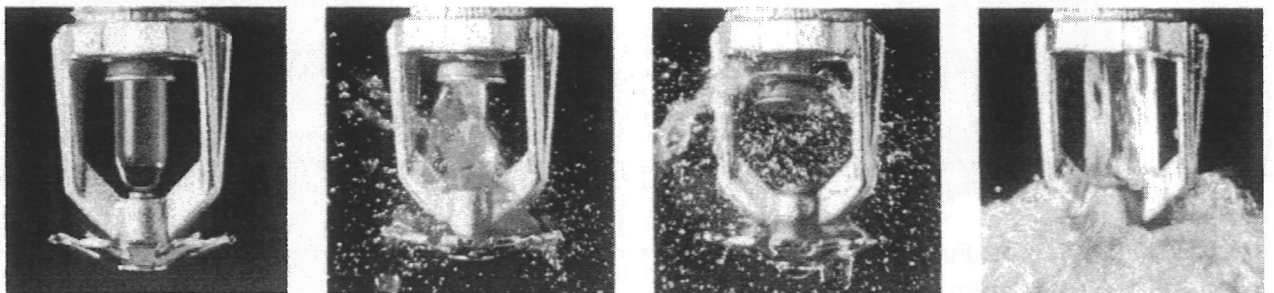


**Bild 4.4:** Im Brandfall werden die Oberlichte von Türen am meisten beansprucht.

**Bild 4:** Beispiele für die Brand und Rauchausbreitung auf Treppen und in Treppenträumen (nach [2]).

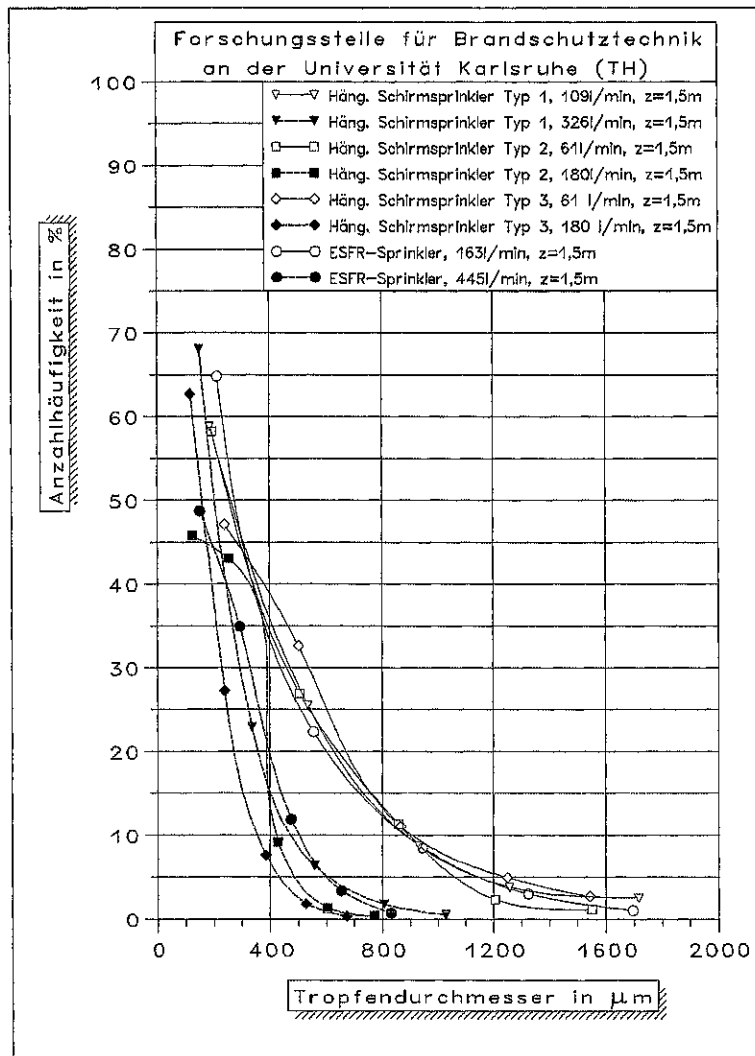


**Bild 5:** Beispiel für eine Holzbalkendecke nach [9].

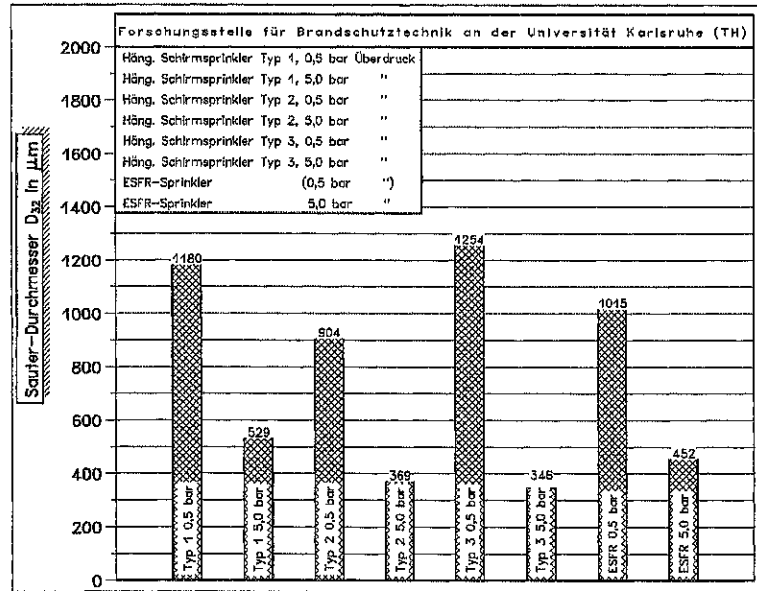


**Bild 6:** Funktionsweise eines Sprinklers mit Glasfaßauslöseelement: Beim Erreichen der Auslösetemperatur der Sprinklerflüssigkeit zerplatzt das Sprinklerfäßchen, das Verschlußelement wird durch den Wasserdruck herausgedrückt und das Wasser strömt, durch den Sprühteller (Deflektor) verteilt, auf den Brandherd nach [2].

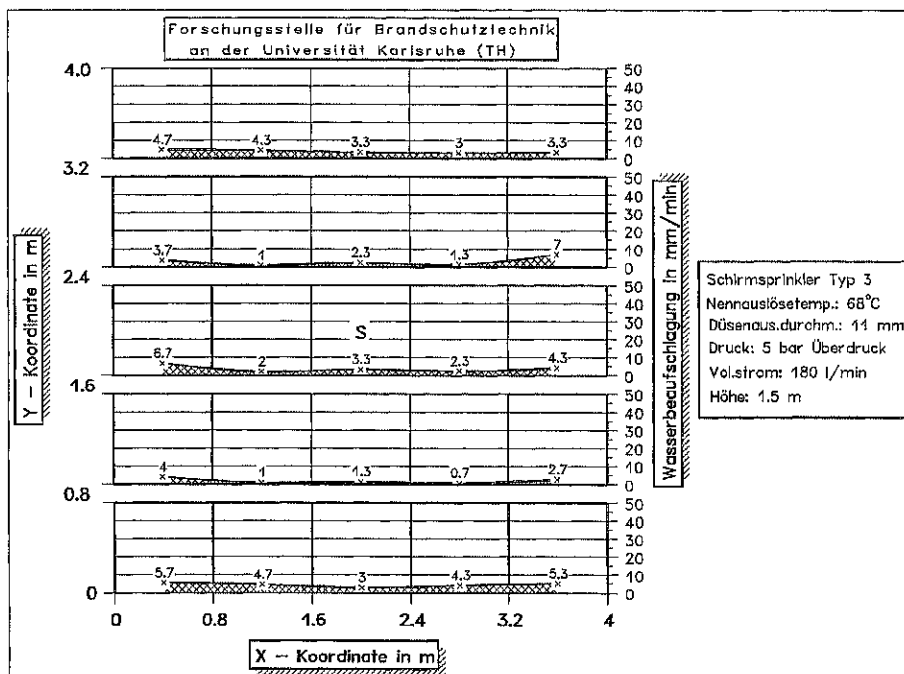




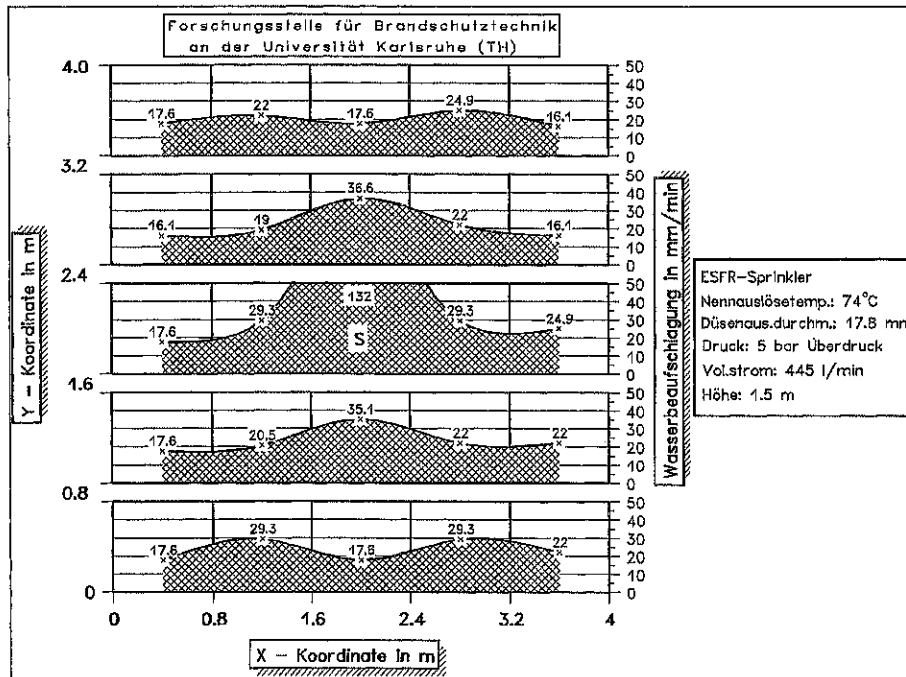
**Bild 7:** Anzahlhäufigkeit von Tropfendurchmessern bei verschiedenen Sprinklertypen und zwei verschiedenen Volumenströmen (Betriebsüberdruck: 0,5 und 5 bar) in einer Entfernung von 1,5 m vom Sprinkler.



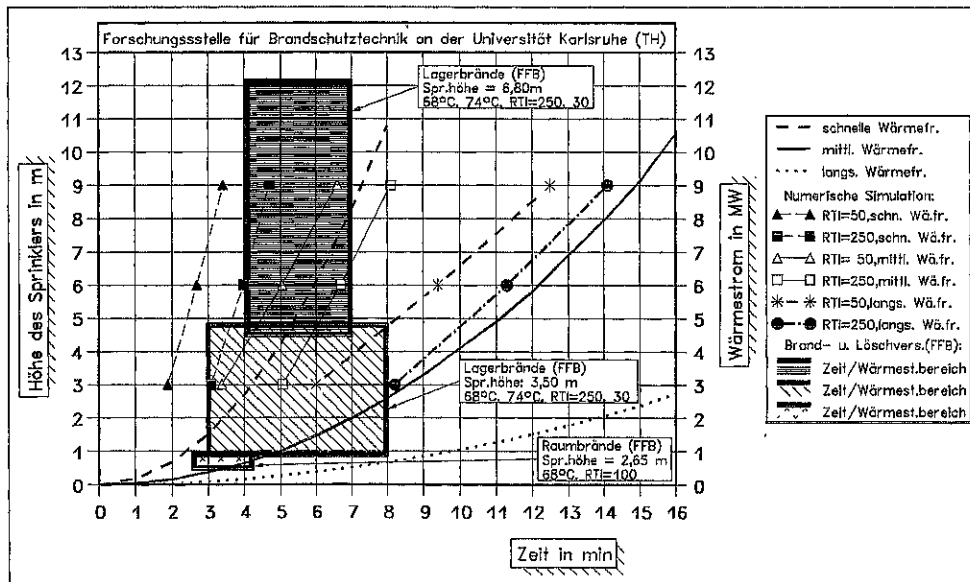
**Bild 8:** Über dem Sprühkegelradius gemittelter Sauter-Durchmesser von verschiedenen Sprinklertypen bei zwei verschiedenen Betriebsdrücken bzw. Volumenströmen in einer Entfernung von 1,5 m vom Sprinkler.



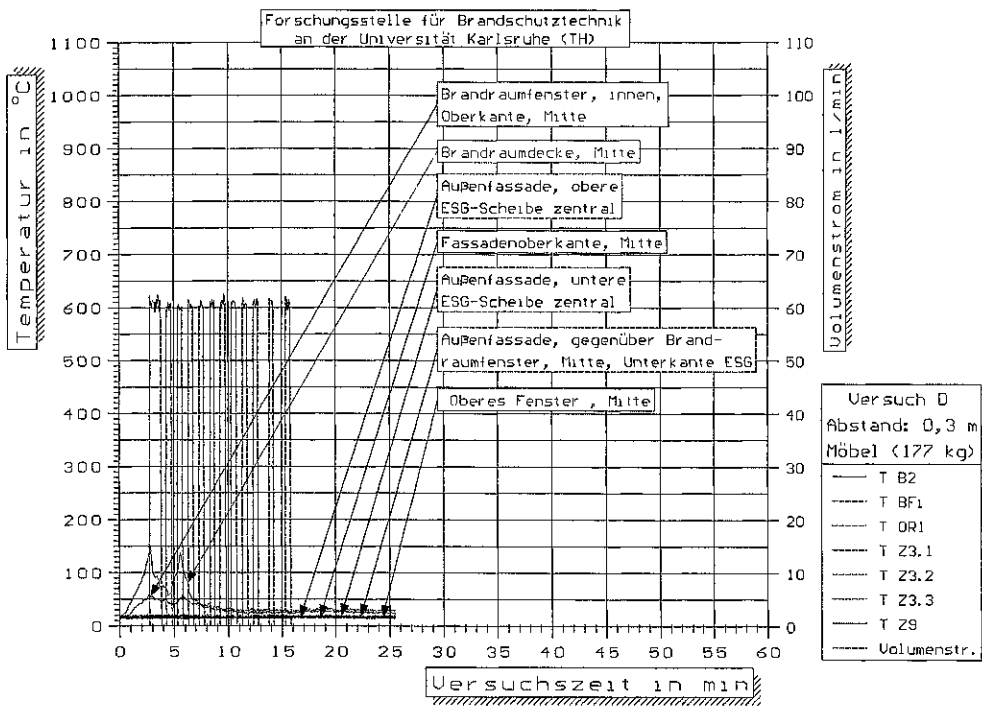
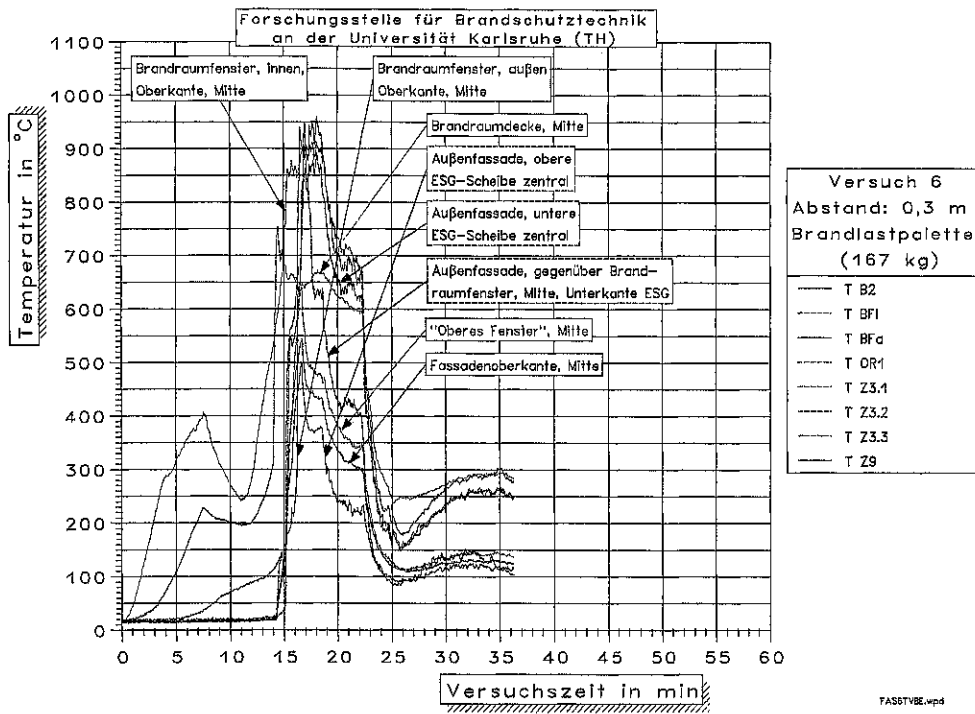
**Bild 9:** Wasserbeaufschlagung von 25 Auffangwannen beim Schirmsprinkler Typ 3 (Höhe: 1,5 m, Betriebsdruck: 5 bar).



**Bild 10:** Wasserbeaufschlagung von 25 Auffangwannen bei einem ESFR-Sprinkler (Höhe: 1,5 m, Betriebsdruck: 5 bar).



**Bild 11:** Vergleich von berechneten und experimentell ermittelten Auslösezeiten von Sprinklern bei Lager- und Raumbränden.



**Bild 12:** Beispiel für einen Brand- und Löschversuch in einem 25 m<sup>2</sup> großen Raum ohne (Bild oben) und mit (Bild unten) Niederdruck-Wasserebellöschanlage.

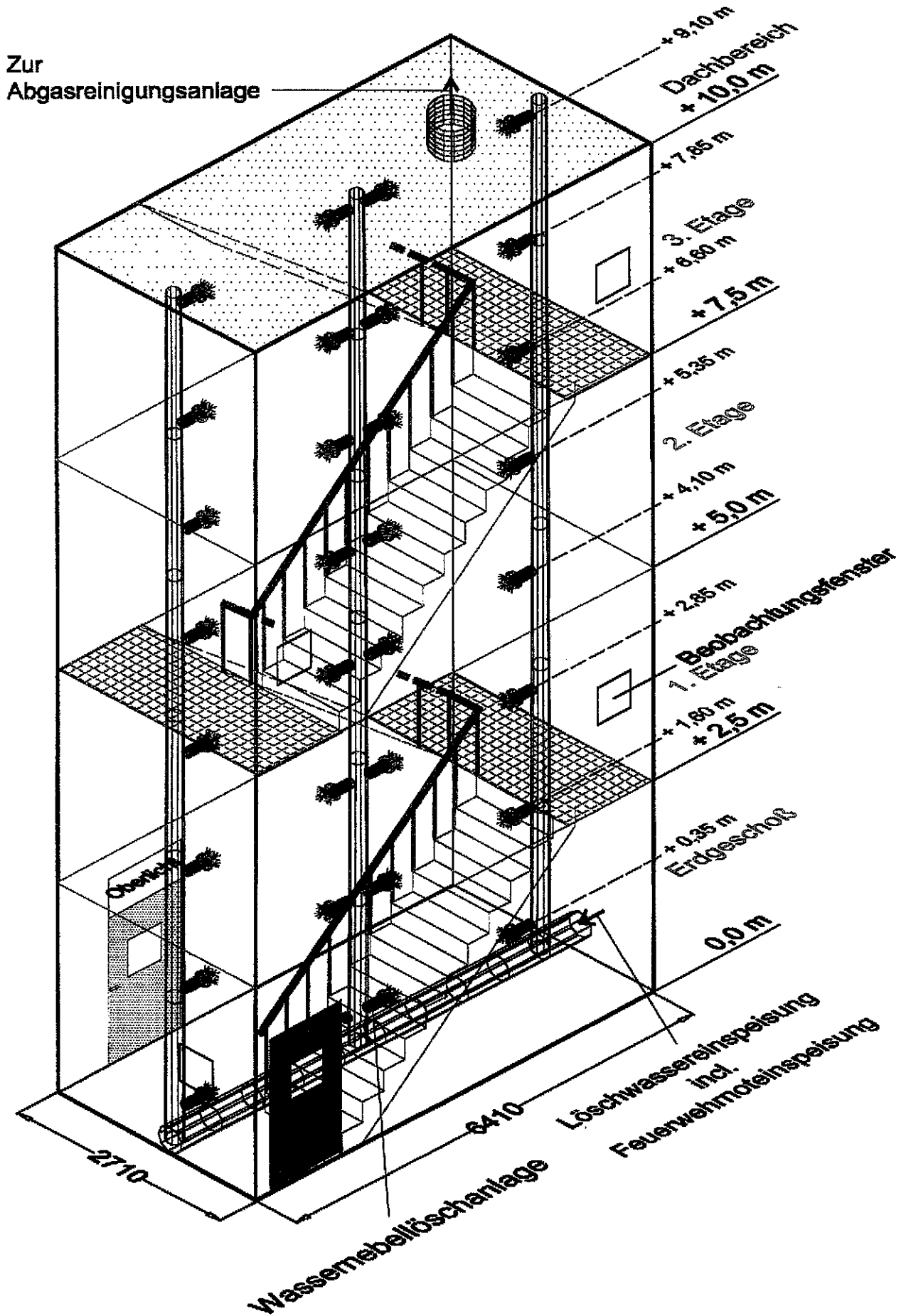
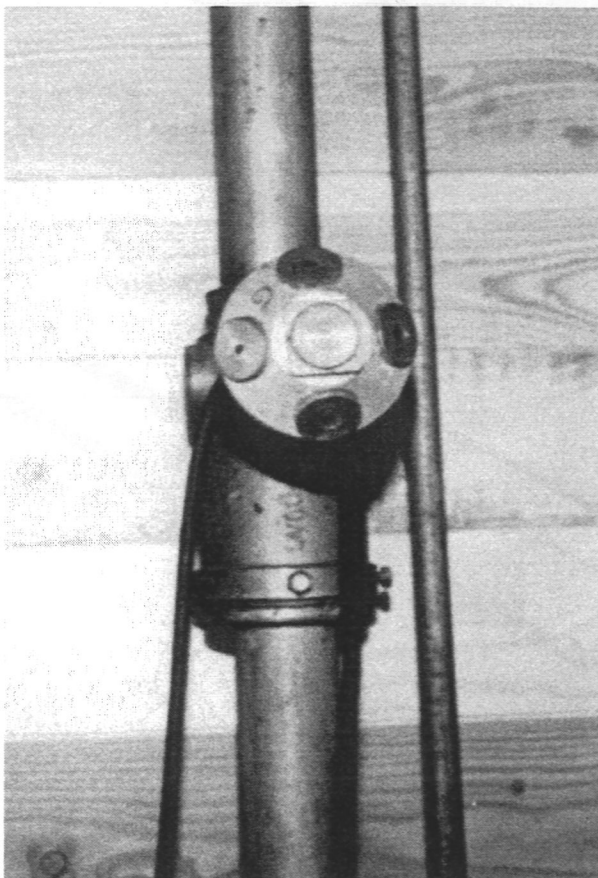
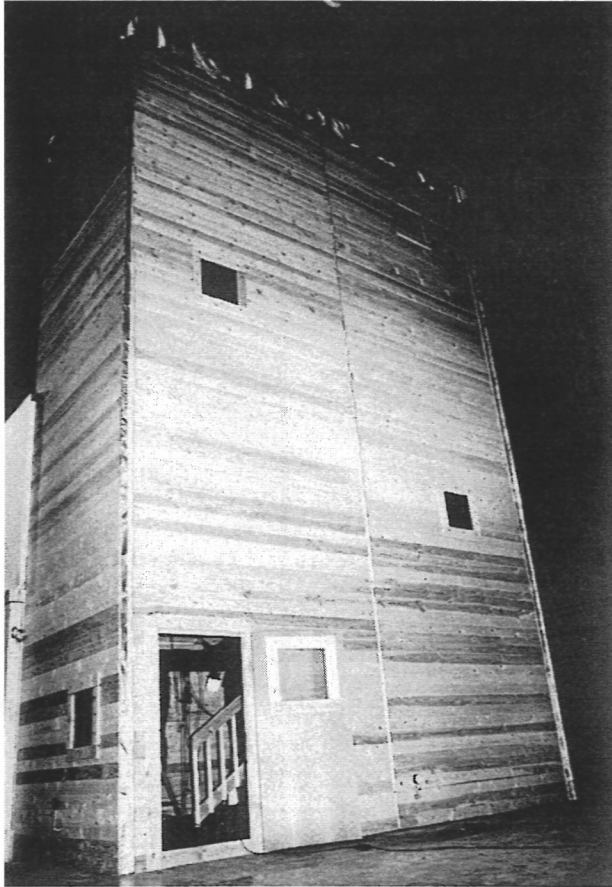


Bild 13: Versuchstreppehaus mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage (Skizze zum Versuchsaufbau)



**Bild 14:** Versuchstreppenhaus mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage