

Einsatz von Niederdruck-Wasserebellöschanlagen in Gebäuden

von Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Einleitung

Jährlich werden zahlreiche Menschen Opfer von Brandrauch und Feuer in Altwohngebäuden. Weiterhin werden durch Feuer, Rauch, Ruß und Löschwasser Millionenwerte in Altwohn- und denkmalgeschützten Gebäuden vernichtet (**Bild 1**). Die ältesten Mietwohnhäuser stammen etwa aus dem Zeitraum zwischen 1850 bis 1940. 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 hierbei einen hohen Stellenwert. Obwohl 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. Das Hauptziel der Denkmalpflege ist die Erhaltung des Denkmals in seiner Originalsubstanz und in seinem historischen Erscheinungsbild. Um ein Denkmal in seiner Originalsubstanz und in seinem historischen Erscheinungsbild zu erhalten, sind aber nicht nur konservatorische, sondern auch brandschutztechnische Maßnahmen zum Personen- und Sachschutz erforderlich. Alle Umgestaltungs- und Instandsetzungsarbeiten an Kulturdenkmälern bedürfen der Genehmigung durch die Denkmalbehörden.



Bild 1: Beispiele für Gebäude aus dem Bereich des Denkmalschutzes

In den letzten Jahren geht die Tendenz bei Architekten in die Richtung, Bauwerke unter Verwendung von sichtbarem Stahl, Leichtmetallen, Holz und Kunststoff zu errichten (**Bild 2**). Eine brandschutztechnisch wirksame Verkleidung dieser durch einen Brand zerstörbaren Materialien mit nicht-brennbaren Materialien ist daher häufig nicht vorgesehen. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts führten die Fortschritte in der Glastechnologie und neue Herstellungsverfahren auch zu der Möglichkeit, Bauwerke, Fassaden und Trennwände weitestgehend aus Glas herzustellen. Diese Konstruktionen können im Brandfall ebenfalls zu besonderen Problemen führen. Zum Beispiel werden folgende Gebäude mit und in Glasbauweise errichtet: Büro- und Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, Lagergebäude, Fabriken, Montagehallen, Parkhäuser, Bahnhöfe, Mehrzweckhallen, Arenen etc.



Bild 2: Beispiel für ein Gebäude mit einer Ganzflächendoppelfassade

Gleichzeitig erlangt der moderne Holzbau z.B. in Holzständer- oder Holzrahmenbauweise (**Bild 3 und 4**) als Beitrag zur ökologischen Bauweise immer mehr an Bedeutung.



Bild 3: Beispiel für ein Gebäude in Holzständerbauweise



Bild 4: Beispiele für unterschiedliche Fassadengestaltungen bei Gebäuden in Holzbauweise

Besonders Lagergebäude und die gelagerten Güter (**Bild 5**) sind aufgrund der beträchtlichen Brandlasten, ihrer Ausdehnung und der Lagerart beträchtlich gefährdet, falls keine geeigneten anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen ergriffen werden.



Bild 5: Beispiele für Lageraufbauten

Eine besondere Bedeutung haben hierbei im Brandfall außer den Flammen und heißen Brandgasen die Toxizität von Brandgasen und der Sauerstoffmangel auf Menschen und Tiere sowie die Verrauchung von Flucht- und Rettungswegen. Weiterhin führen die Brandgase ggf. zu beträchtlichen Sachschäden z.B. in Form von Korrosionsschäden.

Der vorliegende Beitrag beleuchtet die besonderen Gefahren bei diesen Gebäuden und welche brandschutztechnischen Vorkehrungen zu treffen sind.

Allgemeine Problematik bei Bränden in Gebäuden

Die Aufgaben und Schutzziele des Brandschutzes sind:

- Personenschutz (vorrangig): Schutz der Bewohner, Besucher, Beschäftigten und Rettungskräfte
- Sachschutz: Schutz der Sachgüter
- Nachbarschutz: Schutz der Nachbarn und deren Besitz
- Umweltschutz: Schutz natürlicher Lebensgrundlagen
- Kulturgutschutz: Schutz der wertvollen Kulturgüter

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.

Ausreichende Brandsicherheit ist hierbei dann gegeben, wenn durch anlagentechnische und bauliche Maßnahmen die Ausbreitung von Feuer und Brandrauch weitgehend verhindert und die wirksame Rettung und Brandbekämpfung ermöglicht wird.

Bild 6 zeigt die vielfältigen Brand- und Rauchausbreitungsmöglichkeiten innerhalb und zwischen Gebäuden. Diese müssen im Brandschutzkonzept für ein Gebäude berücksichtigt werden. Die Gefährdung der Gebäude durch eine Brandbelastung von außen wie z.B. durch Brände von Fahrzeugen, Müllcontainern oder durch Waldbrände muß durch entsprechende Frei-flächen oder sonstige Maßnahmen nachhaltig begrenzt werden um eine Personengefährdung auszuschließen. Einen entscheidenden Einfluß auf die Brandübertragung von außen sowie die anschließende Brandweiterleitung haben hierbei die zu berücksichtigenden Windeinwirkungen auf die Gebäude. Eine schnelle Branddetektion ist hierbei wesentlich für die rechtzeitige Einleitung von Brandbekämpfungsmaßnahmen.

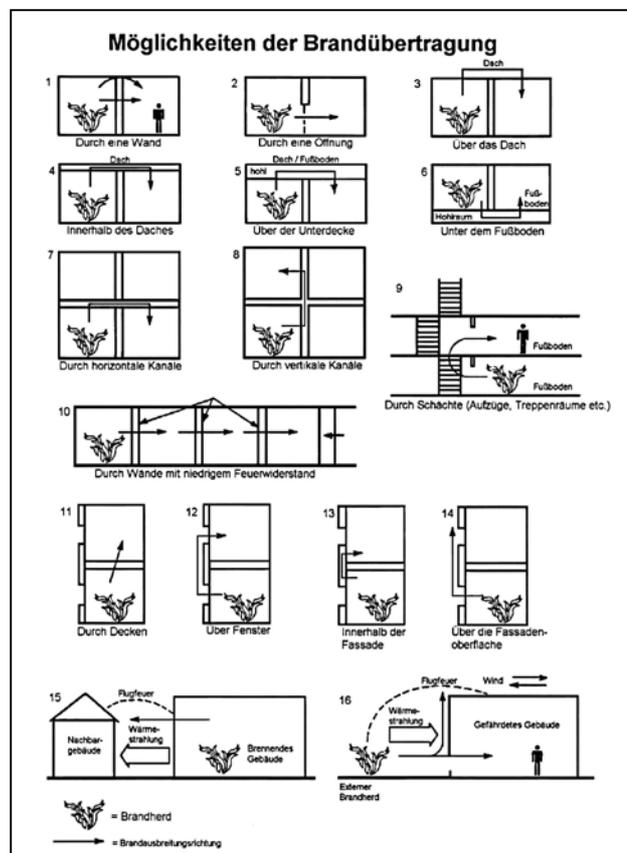


Bild 6: Möglichkeiten der Brandübertragung

Bei einem Brand in einem Raum ist ohne schnelle Alarmierung, ohne frühzeitige Löschmaßnahmen bzw. schnellen Feuerwehreinsatz mit erheblichen Personen- und Sachschäden durch die schnelle Brand- aber vor allem Rauchausbreitung zu rechnen. Besonders schlafende Personen sind durch die entstehenden toxischen Brandgase sowie Sauerstoffmangel beträchtlich gefährdet.

Es ergeben sich folgende für den Menschen kritischen Konzentrationen (siehe Mommsen [1], Bogenberger [2], Hommel [3]):

Sauerstoff: < 12 Vol. %: Sauerstoffmangelkrankheit, < 3 Vol. %: baldiger Erstickungstod

Kohlendioxid: MAK-Wert: 5.000 ppm (0,5 Vol. %)
Kurzzeiteinwirkung von 30.000 ppm (3 Vol. %): 300%ige Erhöhung der Atmung
120.000 ppm (12 Vol. %) - 150.000 ppm (15 Vol. %): nach wenigen Minuten bewusstlos

Kohlenmonoxid: MAK-Wert: 30 ppm (0,003 Vol. %)
800 ppm (0,08 Vol. %): Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 45 Minuten
1.600 ppm (0,16 Vol. %): Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 20 Minuten
3.200 ppm (0,32 Vol. %): Kopfschmerzen, Schwindel nach 5 -10 Minuten, Bewußtlosigkeit und Tod nach 20 Minuten
6.400 ppm (0,64 Vol. %): Kopfschmerzen, Schwindel nach 2 - 3 Minuten, Tod nach 10 - 15 Minuten
12.000 ppm (1,2 Vol. %): Tod nach 5 Minuten

Durch körperliche Anstrengungen und Stress wird hierbei das Risiko von gesundheitlichen Schäden durch Kohlenmonoxid noch deutlich erhöht (siehe Cagliostro [4]).

Die Gefahren durch die Brandgasbestandteile Ruß, aromatische Kohlenwasserstoffe und sonstige Pyrolyseprodukte für den Menschen sind jedoch zusätzlich zu berücksichtigen. Wie diese Brandgasbestandteile sowie die Sauerstoff-, Kohlendioxid und Kohlenmonoxidkonzentration in ihrer Zusammenwirkung den menschlichen bzw. tierischen Organismus schädigen, ist bis jetzt unzureichend geklärt.

Ohne schnelle Brandbekämpfungsmaßnahmen besteht bei einem Raumbrand die Gefahr eines „Flashover“ oder „Backdraft“.

Ein Flashover tritt auf, wenn sich in einem Raum die Oberfläche des brennbaren Materials durch Wärmestrahlung aus den Flammen und aus der heißen Rauchgasschicht unterhalb der Decke soweit aufgeheizt hat, daß flächendeckend brennbare Dämpfe entstehen. Mit der im Raum vorhandenen Luft bilden diese ein zündfähiges Gemisch, das sich durch die vorhandenen Flammen oder durch andere Zündquellen entzündet. Nach dem Flashover brennt in der Regel das gesamte im Raum befindliche brennbare Material. Als Temperaturkriterium wird häufig ein Wert zwischen 500°C bis 600°C in der Rauchsicht angenommen, ab dem ein Flashover auftritt.

Im Gegensatz dazu tritt ein Backdraft auf, wenn brennbare Dämpfe, die im Brandbereich entstanden sind, aufgrund von Sauerstoffmangel und/oder starker Abkühlung (z.B. an kalten Wänden) nicht vollständig verbrennen konnten.

Durch Einmischen von Frischluft (z.B. Öffnen einer Tür oder Zerstörung eines Fensters) und/oder einer zusätzlichen Zündquelle können diese brennbaren Dämpfe wieder entzündet werden und verbrennen dann schlagartig mit dem Erscheinungsbild einer Verpuffung. Als Zündquellen kommen die im Brandraum herrschende Temperatur, Bereiche mit Flammenbildung oder glimmende Bereiche in Betracht.

Bild 7 zeigt Phasen eines sich bis zum Vollbrand entwickelnden Raumbrandes in einem Wohnzimmer mit Löscheinsatz durch die Feuerwehr nach dem Flashover. Das Beispiel stammt von einem Brandversuch in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.



Bild 7: Brand in einem Wohnzimmer mit Löscheinsatz der Feuerwehr nach dem Flashover.

Personen werden im Brandraum in den meisten Fällen zunächst durch die aus der Inneneinrichtung der Räume resultierende Brandlast und dann im weiteren Brandverlauf durch die Brandlast, welche die Gebäudekonstruktivi-

on beinhaltet, gefährdet.

Gebäude weisen zum Teil sehr große Brandlasten auf, die bis nahe an die Decken bzw. Glasfassaden reichen und somit bei ungenügenden brandschutztechnischen Maßnahmen eine große Gefahr darstellen.

Brandschutzproblematik bei Gebäuden mit Stahl- bzw. Leichtmetall-Glasfassaden

Brandschutztechnische Maßnahmen müssen neben den im Brandfall auftretenden Belastungen insbesondere die Materialeigenschaften der verwendeten Baustoffe, und insbesondere deren Verhalten bei hohen Temperaturen berücksichtigen. Im Brandfall kommt es ohne schnelle Brandbekämpfung nicht nur zum direkten Kontakt der Bauteile mit den heißen Brandgasen, sondern auch zum direkten Flammenkontakt.

Zum Beispiel verringert sich der Ausnutzungsfaktor μ_0 bei Stahl [5] ab einer kritischen Temperatur von 350°C ($\mu_0 = 1$). Bei einer Temperatur von ca. 500°C besitzt Stahl nur noch die Hälfte seiner Tragfähigkeit. Baustähle, die im Brandfall nicht wärmer als ca. 700°C werden, erreichen bei langsamer Abkühlung, wie es nach Brandfällen in der Regel trotz Löschwasserbeanspruchung der Fall ist, wieder nahezu ihre ursprünglichen Eigenschaften.

Werden zur Befestigung von Verglasungen Bauteile aus Aluminiumlegierungen verwendet, ist zu berücksichtigen, daß diese einen relativ niedrigen Schmelzpunkt von ca. 660°C aufweisen. Bei ca. 250°C sinkt die Tragfähigkeit von Aluminiumlegierungen bereits auf ungefähr die Hälfte ab [6].

Bisherige Untersuchungen über die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit Doppelfassaden und Stahl-Glasfassaden von Kunkelmann [7,8] haben

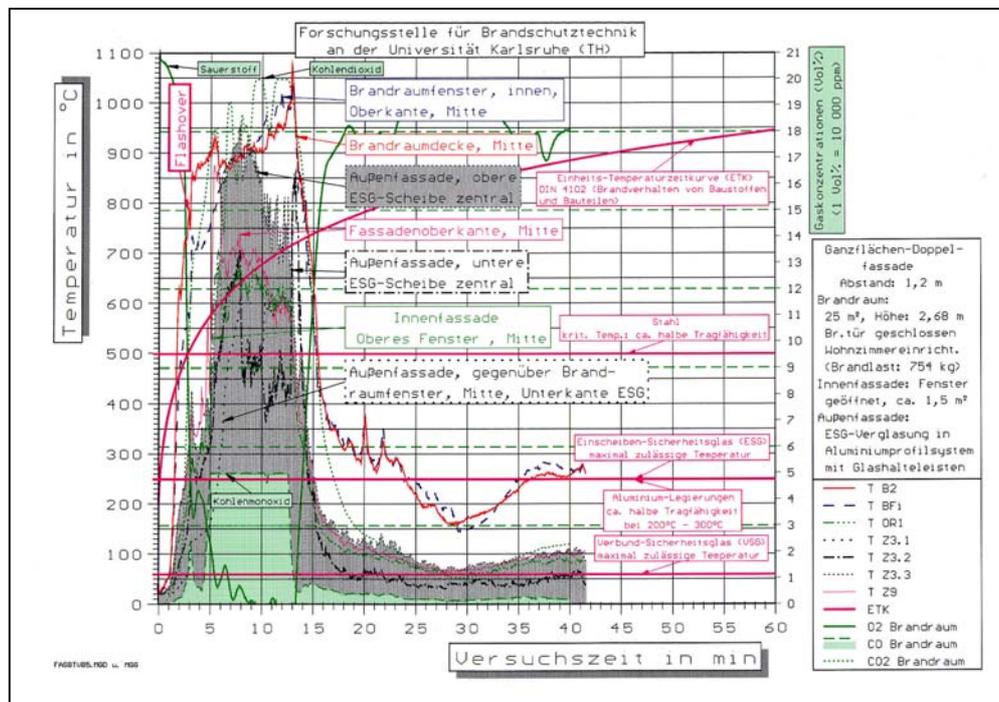


Bild 8: Brandversuch in einem Wohnzimmer mit vorgesetzter Ganzflächendoppelfassade.

gezeigt, daß ohne ortsfeste Löschanlage oder sehr schnellen Feuerwehreinsatz z.B. bei einem Wohnzimmerbrand sehr schnell für den Menschen tödlich wirkende Konzentrationen von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Sauerstoff erreicht werden können. Bei einem Wohnzimmerbrand (**Bild 8, Bild 9**) wurden diese Konzentrationen in weniger als 3 Minuten erreicht. Der Flashover wurde bei diesem Versuch bereits nach 3 min erreicht. Die maximale Brandraumtemperatur betrug ca. 1.100°C nach 13 min. An der Außenfassade in 1,2 m Abstand von der Innenfassade traten Temperaturen von ca. 960°C nach 8 min auf. Bei der zur Bemessung von Bauteilen ver-

wendeten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK, siehe [5, 9]) werden vergleichbare Temperaturen erst nach ca. 110 min (1.000°C) erreicht.



Bild 9: Brandversuch in einem Wohnzimmer mit vorgesetzter Ganzflächendoppelfassade

Nichtverbrannte Brandgase entzündeten sich im Versuch im Zwischenfassadenbereich. Die ESG-Verglasung der Außenfassade wurde hierbei bereits nach 5 min 53 s zerstört. Die großen Flammenlängen von mehreren Metern in Verbindung mit der auftretenden hohen Wärmestrahlung und den hohen Temperaturen an der Innenfassade führen in kurzer Zeit zu einem Feuerüberschlag in darüberliegende Geschosse. An einem über dem Brandraum liegenden Geschosß traten Bestrahlungsstärken an der Fassade von ca. 6,7 W/cm² auf. Dieser Wert liegt wesentlich über den Werten der Bestrahlungsstärken für die Selbstentzündung von Holz (2,5 W/cm² bis 3,4 W/cm²) und Textilien (2,4 W/cm² bis 3,4 W/cm²). Die Bestrahlungsstärken für die Fremdentzündung dieser Stoffe liegen noch wesentlich darunter. Es

traten Flammenlängen von 2 m bis 3 m an der Fassade auf. An dieser Stelle soll erwähnt werden, daß bei diesen großen Flammenlängen und Bestrahlungsstärken in jedem Fall mit einem Feuerüberschlag in darüberliegende Geschosse zu rechnen ist. Hierbei ist es zunächst unerheblich, ob es sich um eine nichtbrennbare oder brennbare Außenfassade handelt.

Es wurde bei den Versuchen [7] weiterhin festgestellt, daß bei Kasten-Doppelfassaden mit vertikalen und horizontalen Aluminiumabschottungen die Abschottungen selbst bei einer kleinen Brandlast von 166 kg nach ca. 17,5 min durchschmolzen. Bei Kastendoppelfassaden mit vertikalen und horizontalen Stahlabschottungen wurde festgestellt, daß zwar die Abschottungen der Brandbelastung standhielten, jedoch das Einscheiben-Sicherheitsglas seine Vorspannung verlor und vollflächig nach unten fiel. Hierdurch sind aus dem Gebäude fliehende Personen, Rettungskräfte sowie Passanten durch herabfallende große Verglasungsteile als auch durch Glaskrümel beträchtlich gefährdet.



Bild 10: Brandversuch mit einer Kastendoppelfassade

Die Meßergebnisse bei diesen Untersuchungen haben gezeigt, daß die entstehenden Temperaturen weit über den zulässigen Temperaturen für normale Verglasungen wie Einfachglas (Floatglas), Einscheiben-Sicherheitsglas, teilvorgespanntem Glas und Verbund-Sicherheitsglas sowie für Bauteile aus Stahl und Leichtmetalllegierungen liegen.

Für Verglasungen gelten nach VEGLA [10] die folgenden maximalen Betriebstemperaturen:

- Einfachglas (Floatglas): maximal ± 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche (z.B. zwischen Scheibenmitte und Scheibenrand) bei üblichen Umgebungstemperaturen.
- Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG): ca. 250°C , (kurzzeitig: 300°C), maximal 150 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.
- Teilvorgespanntes Glas (TVG): ca. 200°C , maximal 100 K Temperatur-

unterschied in der Scheibenfläche.

- Verbund-Sicherheitsglas (VSG): maximale Dauertemperatur: ca. 60°C, (kurzzeitig: 80°C), maximal ± 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.

Brandschutzverglasungen sind hierbei gesondert zu betrachten.

Die Gefährdung der Gebäude mit Glas- und Doppelfassaden durch eine Brandbelastung von außen z.B. durch Brände von Fahrzeugen, Müllcontainern oder durch Waldbrände muß durch entsprechende Freiflächen oder sonstige Maßnahmen verhindert bzw. rechtzeitig detektiert werden, um eine Personengefährdung auszuschließen. Einen entscheidenden Einfluß auf die Brandübertragung von außen sowie die anschließende Brandweiterleitung haben hierbei die auftretenden Windverhältnisse an den Gebäuden.

Eine weitere Problematik ergibt sich z.B. bei Parkhäusern, Montage- und Lagerhallen für Fahrzeuge und bei Bahnhöfen: Durch die immer häufigere Verwendung von Leichtmetall-Legierungen (z.B. Aluminium, Magnesium) bei Leichtmetall-Glasfassaden als auch im Fahrzeugbau besteht die Gefahr eines Metallbrandes [11, 12]. Leichtmetallbrände erzeugen Verbrennungstemperaturen von 2000°C bis 3000°C. Bei diesen Temperaturen kommt es zur thermischen Dissoziation des Wassers und damit zur Wasserstoff- bzw. Knallgasbildung. Diese Brände dürfen daher nicht mit Wasser gelöscht werden. Als Löschmittel dienen feinkörniger Quarzsand oder Metallbrandpulver (D-Pulver). Metallbrandpulver sind Gemische verschiedener Salze (Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Magnesiumchlorid). Beim Einsatz von Metallbrandpulver werden bei 100°C auch Salzsäure und andere giftige Zersetzungsprodukte abgespaltet. Durch die Verbrennung von PVC-Kabeln in Elektroinstallationen wird der Chlorid-

Elektroinstallationen wird der Chlorid-Gehalt zusätzlich erhöht. Die Chlorid-Konzentrationen führen zu Korrosionsschäden an Stahltragwerken, Bauteilen, Maschinen und Einrichtungen. Aus dieser Sachlage ist ersichtlich, wie wichtig eine schnelle Detektierung und Brandbekämpfung ist. Wird eine ortsfeste Wasserlöschanlage in den betreffenden Gebäuden eingesetzt, muß gewährleistet sein, daß diese so schnell ausgelöst wird, daß der Brand in der frühen Entwicklungsphase gelöscht wird, bevor es zu einem Metallbrand kommt.

Brandschutztechnische Eigenschaften von Holz

Die Ausbreitung eines Feuers über Brandabschnitte hinaus wird durch entsprechend dimensionierte Holzbauteile genauso behindert wie durch Bauteile aus anderen Baustoffen gleicher Feuerwiderstandsdauer. 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 [9, 13]). 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. Somit wird die Feuerwiderstandsdauer verringert. Es wird in ein-, zwei-, drei- oder allseitige Brandbeanspruchung unterschieden.

Die Entzündungstemperatur und die Abbrandgeschwindigkeit von Holz hängen von der Erwärmungsdauer, dem Feuchtigkeitsgehalt, der Rohdichte, der Porenstruktur und dem Harzgehalt ab. Weiterhin entscheidend ist

die spezifische Oberfläche sowie die eigentliche Oberflächenbeschaffenheit des Bauteils, verbunden mit den evtl. auftretenden Schwindrissen. 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 (Selbstentzündung) führen.

Weiterhin hat die Feuchte einen großen Einfluß auf die Entzündbarkeit des Holzes. Holz mit einem Feuchtegehalt < 20 % ergibt 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

auf benachbarte Bauteile z.B. Wände vermieden. 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.

Brandschutzproblematik bei Altwohn- und denkmalgeschützten Gebäuden.

Brände breiten sich in Altwohngebäuden und denkmalgeschützten Gebäuden aufgrund ihrer besonderen Bauweise, dem jeweiligen Bauzustand und der Nutzung in der Regel schnell aus (siehe [14,16]). Durch die schnelle Brand- und Rauchausbreitung sind die Bewohner und Einsatzkräfte erheblich gefährdet. In höheren Gebäuden als Gebäude mit geringer Höhe (Gebäudehöhe > 7 m) muß dieser Sachverhalt aufgrund des größeren Zeitaufwandes für die Personenrettung und die Brandbekämpfung besonders berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung des Brandschadens ist außer den Schäden infolge der direkten Brandeinwirkung insbesondere auf tragende Teile der Gebäudekonstruktion auch die schädigende Wirkung des Löschwassers auf die gegen Feuchtigkeit empfindlichen Teile wie z.B. Dämmstoffe aus Naturprodukten, Holzbauteile, wertvolle Inneneinrichtungen etc. zu berücksichtigen. Die durch Brandeinwirkung, Ruß und Löschwasser zerstörten Gebäude und wertvollen Kulturgüter sind oft endgültig verloren. Häufige Brandursachen in historischen Gebäuden sind Brandstiftungen sowie Brände infolge von defekten oder fahrlässig genutzten elektrischen Anlagen, Heizungsanlagen (incl. defekter Kamine), Fahrlässigkeit (offenes Feuer, brennende Zigaretten), Dach- und Reparaturarbeiten (Schweißen, Löten, Auftauen, Trennschleifarbeiten) und Blitzschlag.

Kritisch zu betrachten sind brennbare Oberflächen und Treppen (insbesondere offene Treppenanlagen über mehrere Geschosse) in notwendigen Rettungswegen, da sie im Brandfall durch die schnelle Brand- und Rauchausbreitung (altes trockenes Holz, evtl. mit Wachs oder Ölen behandelt, leicht entzündliche Ausstattung aus Stoff, Papier, Leder) die Rettung der Bewohner als auch wirksame Löscharbeiten erheblich erschweren. Ein weiteres Problem stellen brennbare im Treppenraum bzw. auf den Podesten abgestellte Gegenstände (z.B. Kinderwagen, Schuhregale, Müll, Farbdosen, etc.) dar.

Den Abschluß des Treppenraumes zur Wohnung stellen oft brandschutztechnisch ungenügend ausgebildete Türen ohne Feuerwiderstand dar. Die Türen sind gekennzeichnet durch mangelnde Rauchdichtigkeit, geringe Holzdicken, teilweise Verglasung sowie Oberlichte oberhalb der Tür. Gerade Oberlichte und Türverglasungen aus normalem Floatglas in Altbaugebäuden werden durch Brand schnell zerstört. Hierdurch kommt es zu einer raschen Brand- und Rauchausbreitung in den angrenzenden Treppenraum und weiter in darüberliegende Geschosse. Die starke Verrauchung macht eine gefahrlose Evakuierung zum Teil unmöglich.

Weitere Probleme stellen die Brandausbreitung in den Hohlräumen der Holzbalkendecken und durchbrennende Holzbalkendecken dar. Kirchturmspitzen sind für wirksame Löschröhren in der Regel unerreichbar. Besonders brennende Kirchen und Schlösser erzeugen in der Vollbrandphase des Dachstuhles oder der Turmspitze sehr starkes Flugfeuer. Metaldächer erschweren den Zugang für Löschwasser zu den Zwischenräumen in der Dachkonstruktion und verhindern den Rauch- und Wärmeabzug aus den Dachräumen. Eine erschwerte Brandbekämpfung ergibt sich ebenfalls bei

Kuppeln aus Holz, schweren Kassettendecken sowie ausgedehnten und hohen Holzdachstühlen. Die Feuerwehren können diese Bereiche zum Teil weder von außen wegen ihrer Höhe, noch von innen wegen akuter Einsturzgefahr mit wirksamen Löschstrahlen erreichen. Aus denkmalpflegerischen, statischen und konstruktiven Gründen können dort oft keine baulichen Schutzmaßnahmen vorgenommen werden. In Bereichen mit Altbauten (z.B. historische Stadtkerne) wird die wirksame Brandbekämpfung durch Feuerwehreinsatzkräfte oft durch geringe Gebäude- bzw. Grenzabstände sowie unzureichende Feuerwehrezufahrten und Aufstellflächen erheblich behindert.

Ein weiteres Problem besteht bezüglich der baurechtlichen Anforderungen (siehe Arndt [15]). Derzeit geltende Baugesetze beziehen sich auf zu errichtende Gebäude und sind für bereits bestehende Gebäude uneingeschränkt nicht ohne weiteres anwendbar. Bauliche Anlagen haben 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. Die Bauaufsichtsbehörde kann bei bestehenden baulichen Anlagen in den Bestand eingreifen, wenn konkrete Gefahren für Leben und Gesundheit vorliegen als auch bei Nutzungsänderungen, Modernisierungen und Sanierungen von baulichen Anlagen. 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. erforderliche Kompensationsmaßnahmen ausweist.

Brandschutzproblematik beim mehrgeschossigen Holzbau

Der moderne mehrgeschossige Holzbau erlangt immer mehr an Bedeutung. Hochbauten in Deutschland und in Mitteleuropa werden gegenwärtig jedoch meistens in Massivbauweise aus Mauerwerk und Stahlbeton errichtet. Das entscheidende Hemmnis gegen die Verwendung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen war und ist der Brandschutz. Dies rührt aus verheerenden Stadtbränden in der Vergangenheit, z.B. dem Brand im August 1988 in der Altstadt von Lissabon, her. Der betroffene Stadtteil wurde, wie viele andere Stadtviertel Lissabons, 1755 von einem schweren Erdbeben zerstört. Beim Wiederaufbau verwendeten die Architekten besonders viel Holz, um die Gebäude erdbebensicher zu machen. Beim Brand 1988 standen mehr als 1000 Feuerwehrleute im Einsatz.

Die Ausbreitung eines Feuers über Brandabschnitte hinaus wird durch entsprechend dimensionierte Holzbauteile genauso behindert wie durch Bauteile aus anderen Baustoffen gleicher Feuerwiderstandsdauer [9,13]. Die Brand- und Rauchausbreitung in andere Geschosse bzw. Wohneinheiten ist bei der Elementbauweise in Holz (z.B. Holzständerbauweise, Holzrahmenbauweise, siehe auch Bild 3) nach Wesche [17] kritischer zu bewerten, da über Hohlräume, brennbare Dämmungen und Fugen Ausbreitungswege vorgegeben werden. In höheren Gebäuden als Gebäude mit geringer Höhe (Gebäudehöhe > 7 m) muß wiederum dieser Sachverhalt aufgrund des größeren Zeitaufwandes für die Personenrettung und die Brandbekämpfung besonders berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung des Brandschadens ist außer den Schäden infolge der direkten Brandeinwirkung insbesondere auf

tragende Teile der Gebäudekonstruktion auch die schädigende Wirkung des Löschwassers auf die gegen Feuchtigkeit empfindlichen Teile wie z.B. Dämmstoffe oder Gipskartonplatten zu berücksichtigen sowie die Möglichkeit, daß brennbare Wärmedämmungen durch das Löschwasser verdichtet werden können und damit Glutnester nicht mehr gelöscht werden können.

Brandschutztechnische Maßnahmen für Gebäude in Holzbauweise

Nachfolgend werden ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige mehr oder weniger wirksame, brandschutztechnische Maßnahmen für denkmalgeschützte Gebäude und Altwohngebäude aufgeführt. Bei ihrer Umsetzung müssen sie mit den Richtlinien des Denkmal- sowie des Bestandsschutzes in Einklang gebracht werden.

- In Rettungswegen von Holzbauwerken müssen freiliegende, brennbare Baustoffe vermieden werden. Bei Holztreppen in Gebäuden geringer Höhe sollten Kompensationsmaßnahmen wie z.B. der Einbau von Brandmeldern ergriffen werden, wenn die Holzterappe der einzige bauliche Rettungsweg ist.
- Die Verbesserung der brandschutztechnischen Qualität der Wohnungseingangstüren (z.B. rauchdicht, Feuerwiderstand, Selbstschließeinrichtungen) ist der zweckmäßigste Weg, damit der Treppenraum auch bei Wohnungsvollbränden für die Bewohner noch längere Zeit benutzbar ist. Personen werden durch die Verrauchung des Treppenhauses schneller gefährdet als durch direkte Flammeneinwirkung.
- Die Brand- und Rauchweiterleitung über Hohlräume und Fugen muß ver-

verhindert werden. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk auf brennbare bzw. zum Glimmen neigenden Dämmstoffe und deren Verarbeitung zu legen.

- 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.
- Bildung geeigneter Brandabschnitte z.B. durch Errichtung von Brandwänden oder Wänden in der Bauart von Brandwänden
- Sicherstellung von Angriffswegen und Einrichtung von Flächen für die Feuerwehr
- Ausreichende Löschwasserversorgung
- Vorbeugende Holzschutzmaßnahmen gegen Feuereinwirkungen können werkstofftechnischer, konstruktiver und chemischer Art sein. Durch diese Schutzmaßnahmen sollen 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, so daß die Nachhaltigkeit dieser Schutzmaßnahmen für außenliegende Holzbauteile und Holzverkleidungen nicht gewährleistet ist.
- Durch die nachträgliche Verkleidung der Unterseiten von Holztreppen und Podesten mit nichtbrennbaren Baustoffen wird die Sicherheit des Rettungsweges im Brandfall nur wenig verbessert (siehe Rösler und Stiller [16]).

- Für Gebäude mit erhöhten Risiken, z.B. mehrgeschossig, Gebäude besonderer Art oder Nutzung (z.B. Krankenhäuser, Altenheime etc.), Kirchturmspitzen, Kuppeln aus Holz, schwere Kassettendecken, ausgedehnte und hohe Holzdachstühle stehen zusätzlich folgende Maßnahmen zur Verfügung, sofern diese aus Gründen des Denkmalschutzes zulässig sind.
 - 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

Aufgrund der Problematik bei einem Brand ist das primäre Ziel eines Brandrettungskonzeptes die Alarmierung und Information der von Brandeinwirkungen bedrohten Menschen und ihrer Helfer sowie die Sicherstellung der Selbstrettung.

Daraus ergeben sich folgende Aufgaben:

- 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

Wassernebellöschanlagen

Ortsfeste Wassernebellöschanlagen sind Sprühwasser-Feuerlöschanlagen, die im Dauer- oder Intervallbetrieb Wasser in fein verteilter Form versprühen. Ausführliche Angaben zu Anlagentypen, Löschmechanismen, bisher durchgeführten Brandversuchen und Normungstätigkeit etc. finden sich bei Kunkelmann [7, Forschungsbericht Nr.108].

Im Gegensatz zu konventionellen Sprinkleranlagen (siehe Kunkelmann [14]), 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
- Verminderung der Strahlungswärmerückkopplung durch Sedimentation der Wassertropfen in der Verbrennungszone oder durch Erreichen des Trenneffektes

Bei Wassernebellöschanlagen unterteilt man in Nieder-, Mittel- und Hoch-

druckanlagen. Niederdruck-Wassernebellöschanlagen weisen speziell den Vorteil auf, daß diese in das Hauswasserleitungsnetz integriert werden können, falls die Anforderungen für die Wasserversorgung der Löschanlage im Brandfall erfüllt sind. Eine Feuerwehnoteinspeisung ist hierbei problemlos möglich.

Der Sauter-Durchmesser D_{32} (Definition: siehe Kunkelmann [18]) als ein für Wärme-, Stoff- und Impulstransportprozesse maßgeblicher mittlerer Tropfendurchmesser liegt bei der an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik im Detail untersuchten Niederdruck-Wassernebellöschanlage im Bereich um $20\ \mu\text{m}$. Im Gegensatz hierzu beträgt der Sauter-Durchmesser bei Sprinkleranlagen je nach Typ und Betriebsdruck zwischen ca. $350\ \mu\text{m}$ und $1250\ \mu\text{m}$.

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

Die Anlagen können über alle Arten von vorzugsweise schnellen Auslöseelementen wie Glasfaß, Brandmelder etc. ausgelöst werden. Hierbei ist die Auslösung von Einzelsprühköpfen als auch die Gruppenauslösung von mehreren an Sprührohren angeordneten Sprühköpfen möglich.

Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden

Der durch einen Brand entstehende Rauch breitet sich im ganzen Gebäude aus, wenn keine besonderen Schutzmaßnahmen getroffen werden. Dieser Brandrauch stellt die größte Gefahr für Personen dar. Anteilig werden die meisten Todesfälle bei Gebäudebränden durch die Einwirkung des Brandrauches hervorgerufen. Hierbei sollte die Gefahr durch Verbrennungen nicht unterschätzt werden. Zunehmende Fortschritte in der medizinischen Behandlung von Verbrennungen führen jedoch zu einer weiteren Verschiebung zu Ungunsten der Raucheinwirkung und deren Folgen.

Brandrauch wirkt in mehrfacher Weise auf den Menschen ein. Neben der direkten Gesundheitsgefahr durch toxische Gase, z.B. Kohlenmonoxid oder die Atemwege reizende Säureanteile ergeben sich durch die Sichtbehinderung so große psychologische und physiologische Auswirkungen, daß Rettungswege nicht mehr benutzt werden bzw. benutzt werden können. Diese Sichtbehinderung stellt auch eine Gefahr für die Personen dar, die mit Atemschutzgeräten ausgerüstet sind. Insbesondere handelt es sich hierbei um Feuerwehrkräfte, die zur Rettung von Personen, wie z.B. Kranken und Verletzten, sowie zur Brandbekämpfung in das Gebäude eindringen müssen.

Dabei ist weiterhin zu berücksichtigen, daß gewisse toxische Gase im Brandrauch bei kurzen Einwirkungszeiten noch keine Gesundheitsschäden verursachen. Durch die eingeschränkten Sichtverhältnisse wird jedoch die Zeit für das Verlassen der mit den toxischen Gasen angefüllten Räume vergrößert bzw. die Zeit bis zum Auffinden von an der Flucht gehinderten Personen durch Retter verlängert, wodurch die Einwirkungsdauer so groß werden kann, daß dadurch Gesundheitsschäden auftreten.

Die Sicht innerhalb von Rettungswegen stellt daher sowohl für die Perso-

nen, die im Brandfall das Gebäude verlassen müssen als auch für die Rettungsmannschaften eine große Gefahr dar.

Die durch Brandrauch verursachte Sichtbehinderung wird durch die Bestimmung der optischen Dichte des Brandrauches bzw. des Gemisches aus Luft und Brandrauch gekennzeichnet. Die Grundlage für diese Messungen ist das Gesetz der Lichtabsorption. Die Werte für die optische Dichte können mit verschiedenen Meßverfahren bestimmt werden. Ebenso werden verschiedene Einheiten zur Angabe der optischen Dichte verwendet. Ein Vergleich von Werten ist daher nur bei gleichen Bezugsgrößen möglich, die mit vergleichbaren Meßsystemen gewonnen wurden.

In den vorliegenden Untersuchungen wird zur Beurteilung der optischen Brandrauchdichte der wellenabhängige Extinktionskoeffizient $\sigma(\lambda)$ herangezogen. Dieser beschreibt im vorliegenden Fall die Schwächung der Intensität eines Lichtstrahles durch Brandrauch.

Es hat sich gezeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient σ_{zul} für Personen, die nicht an Brandrauch gewöhnt sind und nicht mit den Örtlichkeiten vertraut sind (Allgemeinheit)

$$\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$$

beträgt. Da in den Untersuchungen (siehe John [19]) ab diesem Grenzwert z.B. bei der Verschwelung von Holz der Pulsschlag anstieg und das Konzentrationsvermögen nachließ, ist dies als Maximalwert anzusehen, auch wenn bezüglich der Sichtverhältnisse im Einzelfall höhere optische Brandrauchdichten zulässig wären.

Weitere ausführliche Angaben über die chemische Zusammensetzung des Brandrauches, Art und Größe der Rauchpartikel, maximal zulässige Brandrauchkonzentrationen, Verdünnung des Brandrauches etc. finden sich bei John [19, 20, 21].

Die Aufgabe von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) besteht darin, im Brandfall Rauch und Wärme abzuführen und damit dazu beizutragen,

- Rettungs- und Angriffswege rauchfrei zu halten,
- die Brandbekämpfung durch Schaffung einer rauchfreien Schicht zu erleichtern,
- den Flashover und damit den Vollbrand zu verzögern bzw. zu vermeiden,
- Einrichtungen zu schützen,

Die Problematik der Verrauchung von Treppenräumen durch Brandgase und Wasserdampf unter Berücksichtigung der für den Menschen kritischen optischen Brandrauchdichte wird ebenfalls bei Kunkelmann [22, 23] behandelt. Von entscheidender Bedeutung ist die Brand- und Rauchausbreitung in angrenzende Treppenräume durch nicht rauchdichte bzw. offene Türen, zerstörte Verglasungen etc. Aufgrund der unterschiedlichen Ventilationsbedingungen in einem Treppenraum in Abhängigkeit von offenen Türen, unterschiedlichen Treppen- und Treppenraumkonstruktionen (=> unterschiedliche Strömungswiderstände), Windeinfluß auf offene Fenster, Rauch- und Wärmeabzugsöffnungen (insbesondere seitlich an der Fassade angebrachte) und unterschiedlichen Temperaturgradienten zwischen Treppenraum und Umgebung am Tag und in der Nacht sowie im Sommer und im Winter ergeben sich demgemäß zahlreiche Einflußmöglichkeiten auf die Brandgasströmung in einem Treppenraum. Einen weiteren bedeutenden Einfluß

haben die Größe des Brandes und die von diesem erzeugte Brandgasströmung mit geringem oder großem thermischen Auftrieb.

Durch im Treppenraum eingebaute ortsfeste Löschanlagen, z.B. Sprinkler- oder Wassernebellöschanlagen wird der thermische Auftrieb weiterhin beeinflusst.

Experimentelle Untersuchungen mit Niederdruck-Wassernebel

Zur Durchführung der Brand- und Löschversuche wurden Versuchseinrichtungen mit Doppelfassade, Stahl- und Leichtmetallbauteilen, ein Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum sowie ein Palettenregallager in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gemäß den **Bildern 9, 10, 13 bis 16 und 23** errichtet (siehe Kunkelmann [7, 8, 14, 22, 23, 24]). Aus den bisherigen Erfahrungen, die sowohl bei Versuchen mit Sprinkleranlagen als auch mit Niederdruck-Wassernebellöschanlagen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gewonnen wurden, wurde bei den in diesen Untersuchungen durchgeführten Brand- und Löschversuchen eine ortsfeste Niederdruck-Wassernebellöschanlage mit einem minimalen Betriebsdruck von 4 bar eingesetzt.

Bild 12 zeigt, daß durch die frühzeitige Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage ungeschützte Stahl- und Leichtmetallbauteile sowie Verglasungen zu keiner Zeit gefährdet sind (siehe u.a. Temperatur an Stahlträger 1 im Fensterbereich).

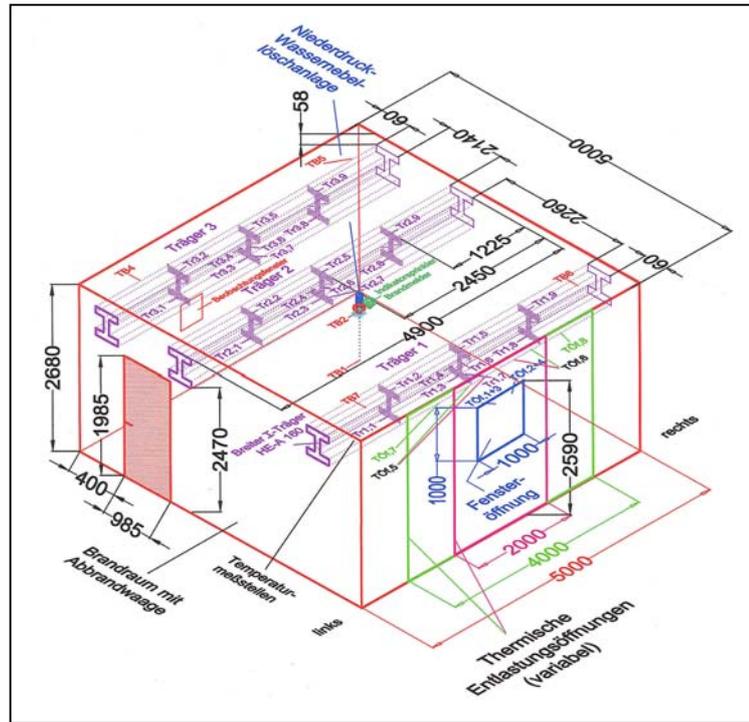


Bild 11: Versuchsaufbau zur Untersuchung der thermischen Belastung von Stahlbauteilen

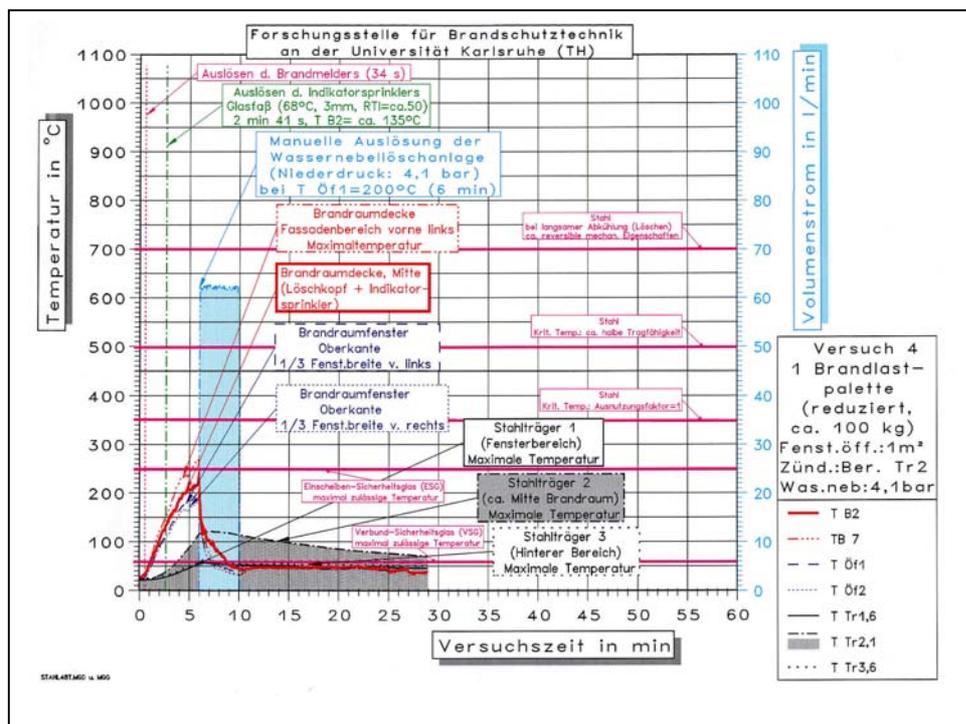


Bild 12: Thermische Belastung von Stahl- und Glasbauteilen – Brand- und Löschversuch



Bild 13: Versuchsholzgebäude – Gesamtansicht und Brandraum



Bild 14: Versuchsholzgebäude – Brandraum: Wand- und Deckenkonstruktionen

De



Bild 15: Versuchsholzgebäude – Treppenraum



Bild 16: Brandlasten im Treppenraum

Die Brandversuche wurden sowohl in einem an den Treppenraum angrenzenden Raum im Erdgeschoß als auch im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage durchgeführt. Es wurden sowohl Brandversuche mit Holz, Flüssigbrandstoff (Pflanzenöl), Textilien (Vorhang) als auch mit Kunststoffstapelboxen (Polypropylen) und Babywindeln als Brandlast durchgeführt. Als Zündquelle diente eine mit Heptan gefüllte Blechwanne. Bei den Versuchen wurden u.a. die zeitlichen Verläufe von Temperaturen, Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), Wärmefreisetzung, Löschwasservolumenstrom und -druck ermittelt. Die Brandversuche wurden mit mehreren Videokameras am Brandraum und an den verschiedenen Etagen des Treppenraumes dokumentiert.

Die **Bilder 17 bis 19** zeigen einen Versuch im Brandraum (Fest- und Flüssigbrandstoff) mit absichtlich verspäteter Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage nach 6 min 47 s. Es sind zum einen zwar nur relativ geringe Brandschäden im Brandraum und am Zellulosedämmstoff erkennbar. Die Verglasungen der Oberlichter über den Türen zeigten aber Rißbildung und die zulässigen Extinktionskoeffizienten im Treppenraum auf der 2. und 3. Etage wurden beträchtlich überschritten.

Die **Bilder 20 bis 22** zeigen den gleichen Versuch bei schneller (nicht verzögerter) Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage nach 1 min 43 s. Man erkennt die noch weitaus geringeren Brandschäden sowie die geringe Verrauchung des Treppenraumes. Die Verglasungen der Oberlichter wurden nicht beschädigt.

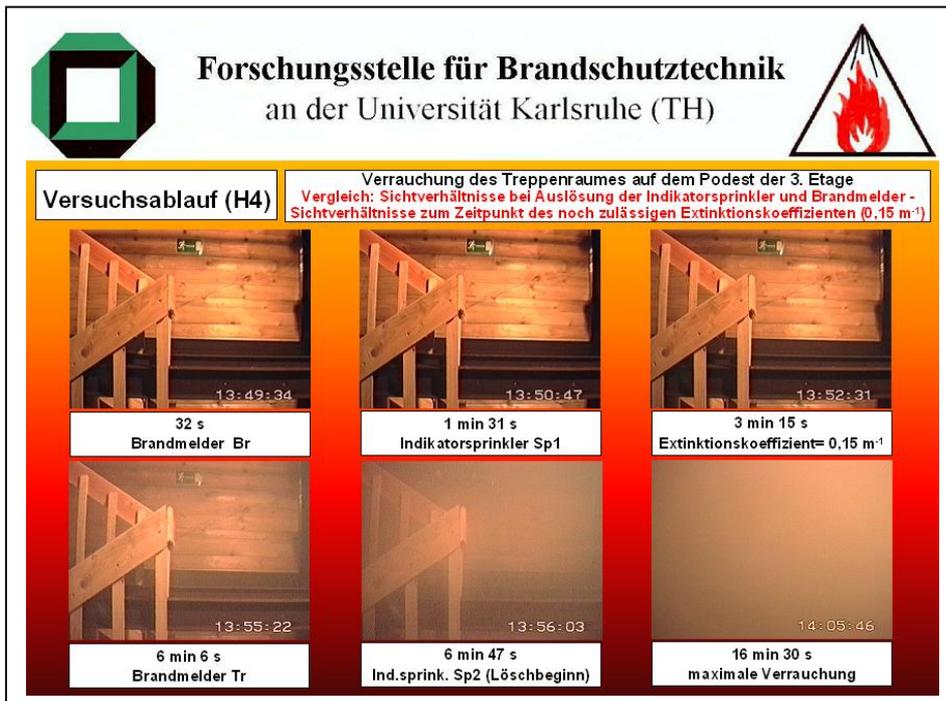


Bild 17: Brand- und Löschversuch mit absichtlich verspäteter Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage – Verrauchung 3.Podest



Bild 18: Brandschäden bei absichtlich verzögerter Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage

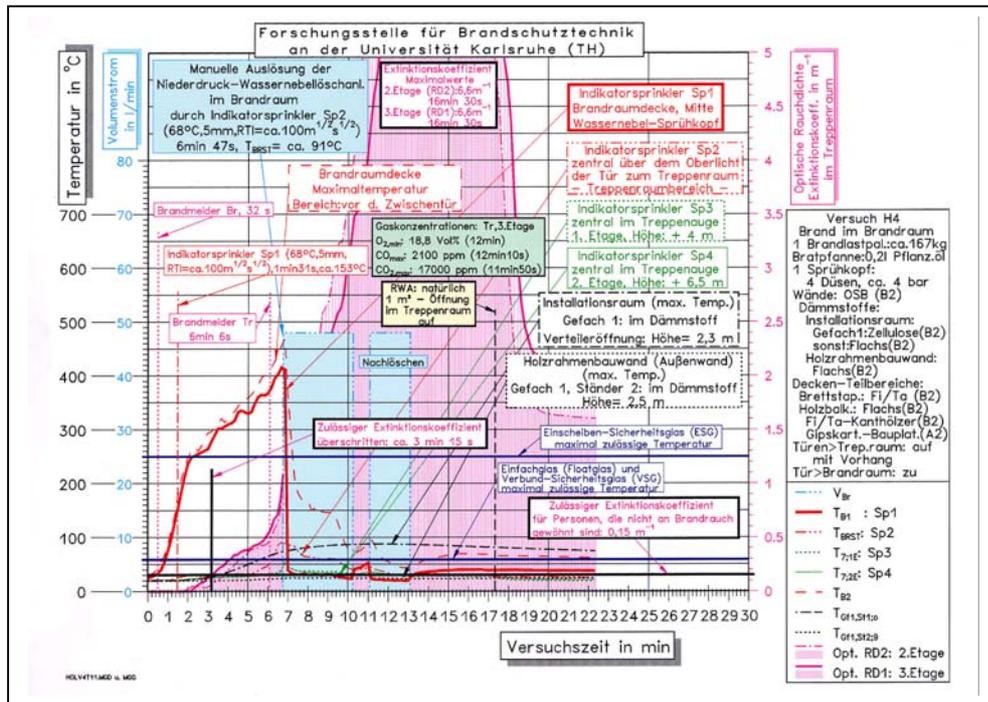


Bild 19: Brand- und Löschversuch mit absichtlich verzögerter Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage



Bild 20: Brand- und Löschversuch mit schneller Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage im Brandraum



Brandschäden bei Versuch H6



Bild 21: Brand- und Löschversuch mit schneller Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage im Brandraum

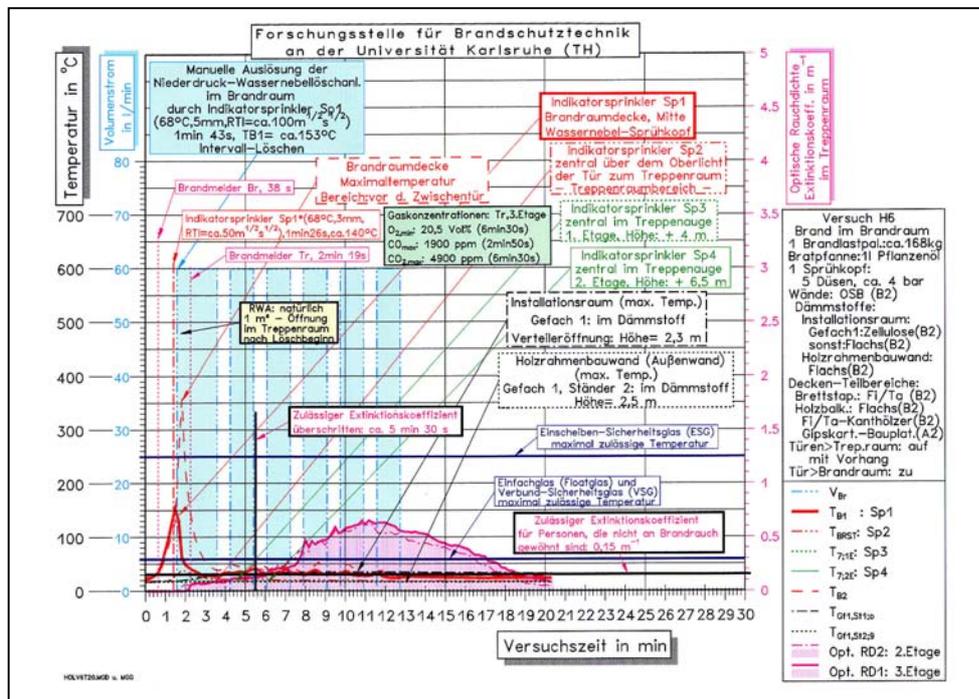


Bild 22: Brand- und Löschversuch mit schneller Auslösung der Niederdruck-Wasserebellöschanlage im Brandraum

Die **Bilder 23 und 24** zeigen Brand- und Löschversuche in einem Palettenregallager mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage (John und Kunkelmann [24]). Die Brandlast bestand aus Stapelbehältern aus Polypropylen unterschiedlicher Größe mit (Plastikgehäuseteile, Teile von Elektromotoren, Kabel, Elektronikschrott) und ohne Füllung, Verpackungskartons teilweise in Schrumpffolie eingeschweißt, Metallkörbe und Metallboxen auf Euro-Holzpaletten 800 mm * 1200 mm, gelagert war durchgeführt. Die Auslösung der Löschanlage erfolgte durch einen hydrothermischen Linienmelder, einem unter Druck stehenden wassergefüllten Schlauch, der im Brandfall zerstört wird und das Löschwasser in der jeweiligen Löschsektion freigibt. Die Auslösung erfolgte nach ca. 1,5 bis 2 min nach der Entzündung des Brandgutes. Das Löschen erfolgte in der 1. Löschphase im kontinuierlichen Betrieb und danach zu Versuchszwecken in einem weiteren Intervallbetrieb (kurze Pausen zwischen den Löschintervallen). Die Versuche haben gezeigt, daß mit diesem Wassernebellöschverfahren die o.g. Lagergüter im Brandfall ohne Schaummittelzusatz nahezu vollständig abgelöscht werden können. Der Brand wurde hierbei bereits in der Anfangsphase vor dem Intervallbetrieb soweit eingedämmt, daß ein Ablöschen durch die Feuerwehr problemlos möglich gewesen wäre. Der Brandschaden nach dem Versuch beschränkte sich auf 4 teilweise angebrannte Paletten mit Lagergut .



Bild 23: Brand- und Löschversuch in einem Palettenregallager mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage



Bild 24: Brand- und Löschversuch in einem Palettenregallager mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage – Betriebsbedingungen der Löschanlage

Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß Personen in Räumen, in denen ein Brand entsteht, nur dann überleben können, wenn durch eine schnelle Alarmierung eine ebenso rasche Brandbekämpfung eingeleitet wird. Dies ist besonders im Hinblick auf schlafende Personen zu berücksichtigen. In den Versuchsergebnissen hat sich gezeigt, daß die Alarmierung und Brandbekämpfung innerhalb von 2 Minuten erfolgen muß.

Der Personen- als auch der Sachschutz kann für den Fall, daß kein schneller Feuerwehreinsatz möglich ist, nur durch den Einsatz ortsfester Löschanlagen geleistet werden. Der Einsatz von ortsfesten Niederdruck-Wassernebellöschanlagen hat hierbei besonders positive Ergebnisse gezeigt. Hierdurch werden die Entstehung der giftigen Brandgasbestandteile bedeutend reduziert. Die Sauerstoffkonzentration liegt nach Löschanfang im Brandraum mit ca. 16 % - 18,5 % O₂ über dem für den Stickeffekt erforderlichen Wert bei Löschgasen (z.B. bei Kohlendioxid: < 15 % O₂) sowie im Bereich bzw. über der O₂-Konzentration der Ausatemluft eines Menschen (16 % - 17,5 % O₂). Sie liegt auch wesentlich über dem Wert, bei dem die Sauerstoffmangelkrankheit auftritt (< 12 % O₂).

Die bei einem Vollbrand eines Wohnzimmers entstehende

Kohlendioxid-Konzentration von ca. 200.000 ppm (20 Vol.%) und Kohlenmonoxid-Konzentration von mehr als 50.000 ppm (5 Vol.%) im Brandraum (Meßstelle: zentral im Brandraum, 1,5 m über dem Fußboden) wird durch

die frühzeitige Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage auf ei-

ne

Kohlendioxid-Konzentration von ca. 21.000 ppm (2,1 Vol.%) –
35.000 ppm (3,5 Vol.%) bzw.

Kohlenmonoxid-Konzentration von 1.500 ppm (0,15 Vol.%)–
4.100 ppm (0,41 Vol%) reduziert.

Die Gefährdung von Stahl-, Leichtmetall-, Holz-, Glas- und Kunststoffbauteile in Gebäuden als auch von normalentflammbaren Dämmstoffen durch Brandeinwirkung wird durch eine einwandfrei funktionierende und schnell auslösende Brandmelde- und Niederdruck-Wassernebellöschanlage bedeutend vermindert. Die Gefährdung durch Flashover, Backdraft und Feuerüberschlag wird wirksam reduziert. Die zu erwartende Beschädigung der Inneneinrichtung des Raumes (eingebrachte Brandlast, Vorhänge etc.) ist als sehr gering einzustufen.

Bei einer schnellen Auslösung der Löschanlage unter 2 Minuten ergab sich bei offener Tür zwischen Brand- und Treppenraum eine relativ geringe Ver-
rauchung des Treppenraumes durch Brandgase und Wasserdampfbildung.

Bei verzögerter Auslösung der Löschanlage im Brandraum oder im Treppenraum durch langsame Auslöseelemente oder durch „Unterlaufen“ von Auslöseelementen (insbesondere bei thermischen Auslöseelementen wie Glasfaß- oder Schmelzlotauslöseelementen) z.B. aufgrund ungünstiger Ventila-

tionsbedingungen oder bei verdeckten Bränden, ist mit einer starken Sicht-
behinderung durch Wasserdampf zu rechnen. Der zulässige Extinktionskoeffizient wurde hierbei je nach Versuchsbedingungen sowohl auf dem Podest der 2. und der 3. Etage als auch im Erdgeschoß des Versuchstreppenraumes beträchtlich überschritten. Dies hat zur Folge, daß

penraumes beträchtlich überschritten. Dies hat zur Folge, daß bei höheren Gebäuden, trotz der im Vergleich zu einem Vollbrand auftretenden relativ unschädlichen Sauerstoff- und Brandgaskonzentrationen auf einen Rauch- und Wärmeabzug nicht verzichtet werden kann.

Bei den Versuchen hat sich außerdem gezeigt, daß die nach § 32 der Musterbauordnung bei Gebäuden mit mehr als fünf oberirdischen Geschossen sowie bei innenliegenden notwendigen Treppenräumen an der obersten Stelle eines notwendigen Treppenraumes notwendige Rauch- und Wärmeabzugsöffnung (Querschnitt von mindestens 5 % der Grundfläche, mindestens jedoch von 1 m²) aufgrund des geringen thermischen Auftriebs nicht ausreicht, den Treppenraum schnell zu entrauchen. Erst ein maschineller Rauch- und Wärmeabzug mit der Spülluftmenge für einen innenliegenden Treppenraum (10.000 m³/h im Normzustand) erbrachte den gewünschten Erfolg. Diese Tatsache wurde durch weitere Untersuchungen im Versuchstreppe nraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik belegt.

Bei einem Brand auf dem Podest der 1. Etage variierte die Ansprechzeit eines foto-elektronischen Rauchmelders zentral im Treppenaug e an der Decke der 3. Etage zwischen 44 s und 2 min 17 s. Diese Streubreite resultierte daher, daß sich infolge von vorhergehenden Versuchen und wegen der Aufheizung des Treppenraumes durch die Beleuchtung warme Luft im Deckenbereich angestaut hatte. Hierdurch waren die relativ kalten Brandgase in der frühen Brandentwicklungsphase nur bedingt in der Lage, schnell aufzusteigen und den Rauchmelder auszulösen. Diese Versuche belegen auch die bekannten Probleme, wenn sich z.B. an einem heißen Sommertag der obere Bereich eines Treppenraumes aufheizt bzw. wenn zusätzlich Wind auf eine Rauch- und Wärmeabzugsöffnung drückt und der

Brandrauch nicht mehr abgeführt werden kann.

Flüssige Brandstoffe (hier: Bratpfanne mit brennendem Pflanzenöl in einer Küche) können im Gegensatz zu Sprinkleranlagen ohne Zusätze zum Löschwasser in kurzer Zeit (hier: unter 25 s) selbst bei offener Tür gelöscht werden. Einsatzmöglichkeiten für diese Wassernebellöschanlagen finden sich also auch z.B. in Lagerräumen, Küchen und Labors.

Durch die Niederdruckausführung der hier untersuchten und mit Erfolg eingesetzten Wassernebellöschanlage ist der kostengünstige Anschluß an eine Hauswasserleitung bei ausreichender Wasserversorgung im Brandfall denkbar. Im Gegensatz zu Mittel- und Hochdruck-Wassernebellöschanlagen ergeben sich keine besonderen Anforderungen bezüglich der Wasseraufbereitung (z.B. Verschmutzungen) und Anlagentechnik (z.B. Hochdruckpumpen, Edelstahl-Verrohrung etc.). Eine Feuerwehnoteinspeisung ist hierbei problemlos möglich.

Die Untersuchungen von Kunkelmann [18] und die Bewertung von Friedman [25] haben weiterhin gezeigt, daß aufgrund der sehr komplizierten Wechselwirkungen zwischen der Brand- und Rauchausbreitung und dem Löscheinsatz unter Berücksichtigung der vielfältigen Einflußgrößen sowie unter weiterer Beachtung der realen Probleme bei der meßtechnischen Erfassung von bestimmten physikalischen und chemischen Einflußgrößen große Schwierigkeiten bei der Festlegung der Anfangs- und Randbedingungen für numerische Simulation auftreten. Nach Friedman [25] kann ein Modell einen realen Brand aus fünf möglichen Gründen nicht vollständig beschreiben:

1. Die im Modell verwendeten Idealisierungen und Vereinfachungen weichen beträchtlich von der Realität ab.

2. Die Eingabeparameter sind nicht exakt.
3. Keine korrekten Näherungswerte für Koeffizienten innerhalb des Programmes.
4. Fehlerhafte Berechnung von Werten infolge zu großer Zeitschritte bzw. zu großer Maschenweite beim Finite-Elemente-Verfahren oder mathematischer Instabilitäten.
5. Fehlerhafte oder nicht reproduzierbare Meßwerte aus experimentellen Untersuchungen.

Hieraus ergibt sich, daß weiterhin experimentelle Untersuchungen zur Klärung der Phänomene erforderlich sind.

Literatur

- [1] Mommsen H.: Der Gesundheits-Brockhaus.
4. Auflage, Mannheim 1990
- [2] Bogenberger S., Lexikon Medizin
et al.:
3. Auflage, Verlag Urban & Schwarzenberg,
München
- [3] Hommel G.: Handbuch der gefährlichen Güter.
9. Auflage Springer-Verlag Berlin, Heidelberg,
New York, 1999
- [4] Cagliostro D.E.: Modeling of Exposure to Carbon Monoxide in
Fires. Journal of Combustion Toxicology, Vol.
7, 1980, p. 231 - 242

- [5] Hass R.,
Meyer-Ottens
C.,
Richter E.: Stahlbau Brandschutz Handbuch.
Ernst & Sohn Verlag für Architektur und techni-
sche Wissenschaften GmbH, Berlin 1994
- [6] DIN: Bauen in Europa – Brandschutzbemessung
Eurocode 1 bis 6 und Eurocode 9.
1. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien,
Zürich, 1999
- [7] Kunkelmann J : Auswirkung von Schallschutzverglasungen und
vorgehängten bzw. doppelten Fassaden auf
den Brandablauf sowie die Brand- und Rauch-
ausbreitung innerhalb und außerhalb der
Brandwohnung. (Teil 1, 2, 4)

Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wasser-
nebellöschanlagen auf die Brand- und Rauch-
ausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fas-
saden. (Teil 3)

Forschungsberichte Nr. 100, 105, 108, 114 der
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der
Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuß für
Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, For-
schungsstelle für Brandschutztechnik (1996,
1997, 1998, 1999)
- [8] Kunkelmann J.: Verringerung der Temperaturen an Stahl-Glas-
fassaden im Brandfall durch thermische Ent-
lastungsöffnungen und ortsfeste Niederdruck-
Wassernebellöschanlgen.

- Forschungsvorhaben im Auftrag der Stiftung
Industrie-Forschung, Förderkennzeichen
Nr. S 483, Forschungsstelle für
Brandschutztechnik, Karlsruhe, 2001
- [9] Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.: Holz Brandschutz Handbuch Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., 2. Auflage, München, 1994
- [10] VEGLA: Technisches Handbuch "Glas am Bau" Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen 1999
- [11] Funk R.: Explosionsgefahr bei Metallbrand. Blaulicht, 5-2000, S. 4 - 6
- [12] Staufenbiel R.: Metallbrand - Unerwartete Komplikationen. Unabhängige Brandschutzzeitschrift, UB 3/98, S. 20 – 21
- [13] Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.: Brandverhalten von Holzkonstruktionen. Informationsdienst Holz; Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, 1977
- [14] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wassernebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenträumen mit Holztrep- pen und/oder Holzverkleidungen in die darüberlie- genden Wohnungen insbesondere bei Alt- bauten. Teil 1:
- Brand- und Rauchausbreitung sowie brand- schutztechnische Maßnahmen bei Altwohnge-

bäuden und Gebäuden aus dem Bereich des Denkmalschutzes

- Baurechtliche Anforderungen

- Wirkungsweise von Sprinkler- und Wassernebellöschanlagen

- Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wassernebellöschanlage)

Forschungsbericht Nr. 120 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2000)

[15] 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

[16] Rösler, W.;
Stiller, J.: Sicherheitsbetrachtungen für Treppenhäuser mit Holztreppen in geschossigen Altwohngebäuden.

Bauforschungsbericht F 2228 des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, IRB Verlag, Stuttgart 1993

[17] Wesche, J.: Wohngesundheit im Holzbau – Brandschutz. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.

Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
und Forstabsatzfonds, München, Bonn 1998

- [18] 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 Löschversuchen 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)
- [19] John R.: Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdünnung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Maß.
- Teil 2: Optische Brandrauchdichte
- Forschungsbericht Nr. 50 der Arbeitsgemein-

- schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1983)
- [20] John R.: Rauch- und Wärmeabzug bei Bränden in großen Räumen.
VFDB-Zeitschrift, 1/88
- [21] John R.: Rauchfreie Treppenräume – Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Druckbelüftungsanlagen - Bundesbaublatt, 7/2000, S. 29 - 31
- [22] Kunkelmann J.: Entwicklung und Erprobung neuartiger Löschanlagen für den mehrgeschossigen Holzbau zur Brandbekämpfung und Fluchtsicherungsicherung.
Forschungsbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 0339852, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2001
- [23] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wassernebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenräumen mit Holztreppten und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten.
Teil 2: Brand- und Löschversuche

Forschungsbericht Nr. 129 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile
Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für
Brandschutztechnik (2002)

- [24] John R.; Kunkelmann, J.: Brandschutztechnisches Gutachten zur Bewertung der Löschwirksamkeit einer Wassernebellöschanlage System Herzog in einem Hochregallager.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1995)(unveröffentlicht)
- [25] Friedman R.: An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke.
Journal of Fire Protection Engineering, 4(3),
1992, S. 81 – 92