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 2: Brand- und Löschversuche

129

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN,
KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung des Arbeitskreises V der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer

Forschungsbericht Nr. 129

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 2: Brand- und Löschversuche

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

April 2002

FA.Nr. 176 (2/2000)

ISSN 0170-0060

INHALTSVERZEICHNIS

BERICHTSKENNBLATT 1

1. EINLEITUNG 2

2. BRAND- UND RAUCHAUSBREITUNG IN GEBÄUDEN 3

2.1 Allgemeine Problematik 3

2.2 Spezielle Problematik bei Altwohngebäuden und denkmalgeschützten Gebäuden 9

3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN 11

3.1 Versuchsaufbau und Meßtechnik 11

3.1.1 Kaltversuche - Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsmessungen 12

3.1.2 Strömungsmessungen im Treppenraum 13

3.2 Brand- und Löschversuche 13

3.2.1 Feste Brandstoffe 16

3.2.1.1 Versuch BMBF H5 - horizontale Sprührichtung 16

3.2.1.2 Versuch HTR1 - horizontale Sprührichtung 17

3.2.1.3 Versuch HTR21 - horizontale Sprührichtung 19

3.2.1.4 Versuch HTR22 - horizontale Sprührichtung 20

3.2.1.5 Versuch HTR3 - horizontale Sprührichtung 21

3.2.1.6 Versuch HTR4 - horizontale Sprührichtung 23

3.2.1.7 Versuch HTR5 - vertikale Sprührichtung 24

3.2.1.8 Versuch HTR6 - vertikale Sprührichtung 25

3.2.1.9 Versuch HTR7 - vertikale Sprührichtung 26

3.2.2 Flüssige Brandstoffe 28

3.2.2.1 Versuch HTRÖl1- vertikale Sprührichtung 28

4. AUSLEGUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON NIEDERDRUCK-WASSERNEBELLÖSCHANLAGEN IN ALTWOHNGEBÄUDEN UND DENKMALGESCHÜTZTEN GEBÄUDEN 29

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN 32

6. LITERATURVERZEICHNIS 36

7. TABELLEN 39

8. BILDER 47

BERICHTSKENNBLATT

Nummer des Berichtes:	Titel des Berichtes:	ISSN:
129	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 2: Brand- und Löschversuche	0170–0060

Autor:	durchführende Institution:
Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann	Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Hertzstraße 16 D-76187 Karlsruhe

Nummer des Auftrages: 176 (2/2000)	**auftraggebende Institution:** Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung des Arbeitskreises V der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Abschlussdatum: April 2002	

Seitenzahl: 101 (58 Seiten in Farbe)	Bilder: 55	Tabellen: 2	Literaturverweise: 15

Kurzfassung:
Die Sicherheit von Personen wird in Räumen, in denen ein Brand entsteht, wesentlich verbessert, wenn durch eine schnelle Alarmierung eine ebenso rasche Brandbekämpfung eingeleitet wird. Dies ist besonders im Hinblick auf schlafende Personen zu berücksichtigen.

Der Personen- als auch der Sachschutz können für den Fall, daß kein schneller Feuerwehreinsatz möglich ist, nur durch den Einsatz ortsfester Löschanlagen gewährleistet werden. Der Einsatz von ortsfesten Niederdruck-Wassernebellöschanlagen hat hierbei besonders positive Ergebnisse gezeigt. Hierdurch wird die Entstehung der giftigen Brandgasbestandteile bedeutend reduziert. Die Sauerstoffkonzentration liegt nach Löschbeginn im Brandraum als auch im Treppenraum über dem für den Stickeffekt erforderlichen Wert bei Löschgasen. Sie liegt auch wesentlich über dem Wert, bei dem die Sauerstoffmangelkrankheit auftritt.

Die Gefährdung von Bauteilen in Gebäuden als auch von normalentflammbaren Dämmstoffen in Hohlräumen wird bei einer einwandfrei funktionierenden und schnell auslösenden Niederdruck-Wassernebellöschanlage bei einem Brand innerhalb des Raumes oder Treppenraumes bedeutend reduziert. Brände in Hohlräumen z.B. durch defekte elektrische Installationen wurden in diesen Untersuchungen nicht betrachtet.

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

Bei verzögerter Auslösung der Löschanlage im Brandraum oder im Treppenraum durch langsame Auslöseelemente oder durch "Unterlaufen" von Auslöseelementen z.B. aufgrund ungünstiger Ventilationsbedingungen oder bei verdeckten Bränden, ist mit einer starken Sichtbehinderung durch die Wasserdampfbildung beim Löschvorgang zu rechnen. Im Treppenraum ergibt sich die Sichtbehinderung insbesondere bei hohen Löschwasserkonzentrationen mit starker Kühlwirkung auf die Brandgase und bei geringem thermischen Auftrieb in der frühen Brandentwicklungsphase. Der zulässige Extinktionskoeffizient wurde hierbei zum Teil beträchtlich überschritten. Dies hat zur Folge, daß bei höheren Gebäuden, trotz der im Vergleich zu einem Vollbrand auftretenden relativ unschädlichen Sauerstoff- und Brandgaskonzentrationen sowie der äußerst niedrigen Temperaturen auf Rauch- und Wärmeabzug nicht verzichtet werden kann.

Die nach 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 reicht bei geringem thermischem Auftrieb der Brandgase nicht aus, den Treppenraum ausreichend schnell zu entrauchen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich z.B. der obere Bereich des Treppenraumes im Sommer aufheizt und die relativ kalten Brandgase nicht mehr aufsteigen können bzw. wenn Wind auf die Rauch- und Wärmeabzugsöffnung drückt. Erst ein maschineller Rauch- und Wärmeabzug mit einer Spülluftmenge von 10.000 m³/h im Normzustand erbrachte in den Versuchen den gewünschten Erfolg.

Schlagwörter: Brand- und Rauchausbreitung, Flashover, Backdraft, Feuerüberschlag, Altwohngebäude, Denkmalschutz, Treppenraum, Brand- und Löschversuche, Verglasungen, Holz, biologische Dämmstoffe, Rauch- und Wärmeabzug (RWA), Sichtverhältnisse, Evakuierung, optische Brandrauchdichte, Brandgase, Niederdruck-Wassernebellöschanlage

1. 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. Die ältesten Mietswohnhäuser 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 über erforderliche 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.

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 hinreichend 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.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, durch anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen in Form von Niederdruck-Wassernebellöschanlagen (siehe Kunkelmann [1, 2, 3, 4]) sowohl den Personen- als auch den Sachschutz in diesen Gebäuden sicherzustellen. Es sollen hierbei Auslegungskriterien ermittelt werden, die zum einen diese Schutzziele gewährleisten und zum anderen einen kostengünstigen Betrieb dieser Anlagen bezüglich der Anlagentechnik, der Löschwasserbevorratung und der Löschwasserschäden möglichen.

2. Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden

2.1 Allgemeine Problematik

Bild 1 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 Freiflächen 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.

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 [5], Bogenberger [6], Hommel [7]):

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 [8]).

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 ist bei einem Raumbrand ein "Flashover" oder "Backdraft" nicht auszuschließen.

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 Rauchschicht 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 Auslöser für die Zündung kommen die im Brandraum herrschende Temperatur, Bereiche mit Flammenbildung oder noch glimmende Bereiche in Betracht.

Personen werden im Brandraum in den meisten Fällen zunächst in erster Linie durch die aus der Inneneinrichtung der Räume resultierende Brandlast und erst im weiteren Brandverlauf durch die Brandlast, die Gebäudekonstruktion beinhaltet, gefährdet.

Bisherige Untersuchungen über die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden [3] haben gezeigt, daß ohne ortsfeste Löschanlage oder frühzeitigen 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 2, 3, 4**) 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. Bei der zur Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen nach DIN 4102-2 verwendeten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK, siehe z.B. Kordina, Meyer-Ottens [9]) werden vergleichbare Temperaturen erst nach über 2 Std. erreicht (120 min: ΔT= 1.029 K). An einem über dem Brandraum liegenden Geschoß traten Bestrahlungsstärken an der Fassade von ca. 67 kW/m² auf. Dieser Wert liegt wesentlich über den Werten der Bestrahlungsstärken für die Selbstentzündung von Holz (25 bis 34 kW/m²) und Textilien (24 bis 34 kW/m²). Die Bestrahlungsstärken für die Fremdentzündung dieser Stoffe liegen noch wesentlich darunter. Es traten Flammenlängen von 2 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 [10] weiterhin festgestellt, daß Einscheiben-Sicherheitsglas

(ESG) unter bestimmten Einbaubedingungen und Temperaturverhältnissen seine Vorspannung verliert und ganzflächig, ggf. aus großer Höhe nach unten fällt. Passanten, Feuerwehreinsatz- und Rettungskräfte sind hierbei sowohl durch herabfallende große Verglasungsteile als auch durch Glaskrümel beträchtlich gefährdet.

Die Meßergebnisse bei diesen Untersuchungen haben gezeigt, daß die entstehenden Temperaturen im Fassadenbereich weit über den zulässigen Temperaturen für normale Verglasungen wie Einfachglas (Floatglas), Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) und Verbund-Sicherheitsglas (VSG) liegen.

Für Verglasungen gelten nach VEGLA [11] 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 Temperaturunterschied in der Scheibenfläche
- Verbund-Sicherheitsglas (VSG): maximale Dauertemperatur: ca. 60°C, (kurzzeitig: 80°C), maximal ± 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche (Werte für Floatglas)

Brandschutzverglasungen sind hierbei gesondert zu betrachten.

Die größte Gefahr für Menschen und Tiere bei einem Brand stellt allerdings insbesondere in der Anfangsphase eines Schadenfeuers der Brandrauch dar.

Der durch einen Brand entstehende Rauch breitet sich im ganzen Gebäude aus, wenn keine besonderen Schutzmaßnahmen getroffen werden. 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. durch das narkotisch wirkende Kohlenmonoxid oder durch 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 diejenigen 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 eintreten.

Die Sichtbehinderung innerhalb von Rettungswegen stellt daher sowohl für diejenigen Personen, die im Brandfall das Gebäude verlassen müssen als auch für die Rettungsmannschaften eine große Gefahr dar.

Die durch Brandrauch verursachte Sichtbehinderung wird durch die optische 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 Wertangaben, auch Grenzwerten, ist daher nur bei gleichen Bezugsgrößen möglich, die mit vergleichbaren Meßsystemen gewonnen wurden.

In den vorliegenden Untersuchungen wird zur Beurteilung der optischen Brandrauchdichte der wellenlängenabhängige 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 (als breitbandiger Wert über

dem Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts) σ_{zul} für Personen, die nicht an Brandrauch gewöhnt sind und nicht mit den Örtlichkeiten vertraut sind (Allgemeinheit)

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

beträgt. Da in den Untersuchungen (siehe John [12]) 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 vertretbar wären.

Weitere ausführliche Angaben über chemische Zusammensetzung des Brandrauches, Art und Größe der Rauchpartikel, maximal zulässige Brandrauchkonzentrationen, Verdünnung von Brandrauch etc. finden sich bei John [12, 13, 14].

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 Verrauchung von Treppenräumen durch Brandgase und Wasserdampf unter Berücksichtigung der für den Menschen kritischen optischen Brandrauchdichte wird ebenfalls bei Kunkelmann [4] behandelt. Von entscheidender Bedeutung ist die Brand- und Rauchausbreitung in den an den Brandraum angrenzenden Treppenraum 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 dann, wenn diese seitlich an der Fassade angebracht sind) 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. Weiteren bedeutenden Einfluß haben die Größe des Brandes und die von diesem erzeugte Brandgasströmung mit unterschiedlich großem, von geringem bis ausgeprägtem thermischem Auftrieb.

Durch im Treppenraum eingebaute ortsfeste Löschanlagen, z.B. Sprinkler- oder Wassernebellöschanlagen wird durch Abkühlung des Rauches nach Auslösung der Anlage der thermische Auftrieb weiterhin beeinflußt.

2.2 Spezielle Problematik bei Altwohngebäuden 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 Kunkelmann [1]). Durch die schnelle Brand- und Rauchausbreitung sind die Bewohner und Einsatzkräfte erheblich gefährdet. Insbesondere bei höheren Gebäuden als bei Gebäuden 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 weite-

res 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. Diese Türen sind gekennzeichnet durch mangelnde Rauchdichtigkeit, geringe Holzdicken, teilweise Verglasung sowie Oberlichte oberhalb der Tür. Gerade Oberlichte und Türverglasungen aus normalem Floatglas in Altwohngebäuden 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 zeigen sich bei der Brandausbreitung in den Hohlräumen von Holzbalkendecken und durchbrennende Holzbalkendecken. Kirchturmspitzen sind für wirksame Löschstrahlen in der Regel unerreichbar. Besonders brennende Kirchen und Schlösser erzeugen in der Vollbrandphase des Dachstuhles oder der Turmspitze sehr starkes Flugfeuer. Metalldächer 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 jedoch 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 Feuerwehrzufahrten und Aufstellflächen erheblich behindert.

Ein weiteres Problem besteht bezüglich der baurechtlichen Anforderungen. 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 be-

züglich 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. Die für neue Gebäude geltende Anforderungen müssen jedoch dabei nicht im vollen Umfang umgesetzt werden.

3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Versuchsaufbau und Meßtechnik

Zur Durchführung der Brand- und Löschversuche wurde ein Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum sowie einer Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gemäß der Konstruktionszeichnung in **Bild 5** errichtet. Die **Bilder 6.1 bis 6.6** zeigen im Detail den Aufbau von Brand- und Treppenraum, die Wand- und Deckenaufbauten mit biologischen Dämmstoffen im Brandraum, die Oberlichte über den Türöffnungen, den Rauch- und Wärmeabzug für natürliche und maschinelle Entrauchung, die Fluchtwegkennzeichnung, die Anordnung der Brandmelder und der Wassernebelsprühköpfe sowie der Indikatorsprinkler, den Aufbau der Brandlasten in Brand- und Treppenraum sowie die eingesetzte Meß- und Videotechnik.

Tabelle 1 führt ebenfalls konstruktive Details zum Versuchsaufbau und Details der Meß- und Videotechnik auf.

Die Auswahl der Versuchsparameter und Meßgrößen hatte das Ziel, Kriterien für die Konstruktion und die Brandschutzmaßnahmen bereitzustellen, die den Personen- und Objektschutz bei Gebäuden in Holzbauweise gewährleisten.

3.1.1 Kaltversuche - Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsmessungen

Von besonderer Bedeutung für die Charakterisierung eines Sprühnebels (siehe Sprühbilder in **Bild 7**) und dessen Verhalten beim Brand sind die Kenntnis seiner Tropfengrößen- und Geschwindigkeitsverteilung sowie von speziellen charakteristischen Tropfendurchmessern. Hierfür wurden die an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik verwendeten Wassernebeldüsen[1] bezüglich des Tropfenspektrums und der vertikalen Tropfengeschwindigkeit analysiert. Hierzu wurde ein Phasen/Doppler-Anemometer (PDA) verwendet.
Meß- und Auswerteprinzip: Die Meßeinheit besteht aus einem Lasersender und -empfänger. Beide sind mit einem Personal Computer gekoppelt, über den die Meßergebnisse ausgewertet werden. Hierbei wird Laserlicht an den zu messenden Partikeln gestreut, das dabei seine Frequenz und Phasenlage, bezogen auf das Ausgangssignal, ändert. Der Laserstrahl wird durch eine spezielle Optik in 2 Strahlen aufgespalten, die sich in einem kleinen Winkel zueinander ausbreiten. Diese Strahlen kreuzen sich in einem bestimmten Punkt im Raum. Dieser Punkt repräsentiert gleichzeitig den Meßpunkt. Tropfen, die durch diesen Bereich fallen, streuen das Licht der beiden Laserstrahlen und verschieben gleichzeitig die Frequenz (Doppler-Effekt) und die Phase der Lichtsignale. Während die Verschiebung der Phase mit der Größe der Tropfen zusammenhängt, ist die Frequenzverschiebung proportional zur Geschwindigkeit der Partikel. Das gestreute Licht wird durch ein System von Linsen aufgefangen und auf 3 Fotomultiplier fokussiert. Diese Lichtmeß-Detektoren zeichnen die Lichtsignale auf, die anschließend in einer schnellen Speichereinheit (Transientenrekorder) aufgezeichnet und im Computer mathematisch weiterverarbeitet werden.

Die Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsverteilungen wurden in einem Abstand von 1 m von der Wassernebeldüse (Einzeldüse) in normaler Umgebung, d.h. ohne Brandeinfluß, ermittelt. Im Brandfall verändern die aufsteigenden heißen Rauchgase die Tropfendurchmesser und die Tropfengeschwindigkeiten sowie die Bewegungsrichtung der Tropfen durch Gegenströmung, Verdunstung, Verdampfung, Lufteinsaugung durch den Sprühnebel, Verwirbelungen etc. zeitlich und örtlich. Auch in normaler Umgebung ändern sich die Tropfengeschwindigkeiten und Tropfendurchmesser durch Auftrieb und Verdunstung etwas.

---

[1] Systemtechnik Herzog GmbH, 39387 Oschersleben

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, daß es sehr problematisch, wenn nicht gar unmöglich ist, ein Phasen-Doppler-Anemometer bei einem realen Brand bei gleichzeitigem Löscheinsatz einzusetzen, um die zeitlichen Veränderungen des Tropfengrößenspektrums und des Tropfengeschwindigkeitsspektrums meßtechnisch zu erfassen.

Aufgrund der mit dem Phasen-Doppler-Anemometer ermittelten Tropfendurchmesser und Tropfengeschwindigkeiten für die Betriebsdrücke 4 bar und 8 bar wurden die Anzahl-, Volumen- und Geschwindigkeitsverteilung aufgezeichnet. Weiterhin wurden die zur Charakterisierung des Sprühnebels wichtige Tropfendurchmesser errechnet (Arithmetischer Mittelwert D_{10}, Sauter-Durchmesser D_{32} volumenbezogene Tropfendurchmesser: $D_{V;10\%}$ $D_{V;50\%}$, $D_{V;90\%}$, $D_{V;99\%}$, anzahlbezogener Tropfendurchmesser $D_{A;50\%}$, siehe **Tabelle 1**).

Die Meßwerte zeigen, daß bereits bei einem sehr niedrigen Druck sehr kleine Tropfen erzeugt werden.

3.1.2 Strömungsmessungen im Treppenraum

Weiterhin wurden zur Untersuchung der Strömungsbedingungen im Treppenraum und für die Einstellung des Absaugvolumenstromes für den maschinellen Rauch- und Wärmeabzug Strömungsmessungen mit einem Flügelradanemometer sowie Prandtl-Staurohren (**Bild 6.6**) durchgeführt. Parallel dazu wurde ein Nebel-Generator mit Diskonebel eingesetzt, um visuell die Strömung im Treppenraum zu beobachten.

Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird jedoch hier nicht näher eingegangen.

3.2 Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche wurden sowohl im Brandraum (**Bild 6.1** und **6.2**, siehe Kunkelmann [4]) als auch im Treppenraum (**Bild 6.3 und 6.4**) durchgeführt.

Tabelle 2 gibt über die jeweiligen Versuchsparameter und Brandlasten, Ventilations-

bedingungen (Türen geöffnet oder geschlossen, natürlicher oder maschineller Rauch- und Wärmeabzug im Treppenraum), Betriebsbedingungen der Niederdruck-Wassernebellöschanlage (Sprühköpfe, Düsen, Betriebsdruck, Volumenstrom), maximale Temperaturen, Auslösezeiten von Indikatorsprinklern und Brandmeldern, Löschzeiten, Löschwassermengen, maximale Extinktionskoeffizienten zur Beschreibung der Brandrauchdichte, minimale Sauerstoff- sowie über maximale Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen Auskunft.

Die Auslösung der Löschanlage erfolgte bei den Versuchen manuell und zeitlich nach dem Auslösen eines Brandmelders (fotoelektronischer Rauchmelder) an der zentral an Decke des Treppenraumes. Parallel dazu wurde untersucht, ob Indikatorsprinkler (Nennauslösetemperatur: 68°C, Glasfaß: 3 mm (mittlerer RTI-Wert: ca. 50 $m^{1/2}$ $s^{1/2}$) und 5 mm (mittlerer RTI-Wert: ca. 100 $m^{1/2}$ $s^{1/2}$) durch die Brandentwicklung ausgelöst werden.

Die Auslösung der Löschanlage erfolgte deshalb über Rauchmelder, weil bisherige Versuche an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gezeigt hatten, daß besonders in ausgedehnten Räumen nur Rauchmelder eine ausreichend schnelle Alarmierung der Personen gewährleisten und somit sicherstellen, daß bei unmittelbar einsetzender und zügig durchgeführter Evakuierung (Selbstrettung) die Brandgaskonzentrationen im für Menschen unkritischen Bereich bleiben.

Die **Bilder 5, 6.1** und **6.3** sowie die **Tabellen 1** verdeutlichen die Position dieser Auslöseelemente.

Das Auslösen der Indikatorsprinkler wurde durch den Druckabfall an einem Manometer ermittelt, das an einer unter Druck stehenden luftgefüllten Leitung angeschlossen war (**Bild 6.6**). Nähere Angaben zur Beschreibung des Auslöseverhaltens von Sprinklern und zu den abgeleiteten Größen, die dieses Auslöseverhalten kennzeichnen, insbesondere die Wärmeträgheit (z.B. RTI (Response Time Index) - Wert), finden sich in [1]. Die physikalischen bei der Aufheizung von thermischen Auslöseelementen ablaufenden zeitdynamischen Vorgänge (Wärmezufuhr, Wärmeableitung, Umströmung) sind u.a dafür verantwortlich, daß im Realfall beim Auslösezeitpunkt die Umgebungstemperatur am Sprinkler die Nennauslösetemperatur des Sprinklerauslöseelementes zum Teil beträchtlich überschreitet.

Auf die Bestimmung der Wärmefreisetzung wurde bei den Versuchen verzichtet, da die bisherigen Untersuchungen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gezeigt haben, daß die Bestimmung des Wärmestromes mittels Abbrandwaage durch Multiplikation der Massenverlustrate mit dem effektiven Heizwert, nur bis zum Löscheinsatz ermittelt werden kann, da das Löschwasser die Massenbestimmung verfälscht. Durch die schnelle Auslösung der Löschanlage liegt zudem der zu erwartende Abbrandmassenverlust im Bereich der Meßgenauigkeit der verwendeten Waage. Andere Methoden, wie z. B. die Sauerstoffverbrauchmeßmethode wurden wegen der zu erwartenden geringen Wärmefreisetzung und der damit verbundenen meßtechnischen Schwierigkeiten infolge zu geringer Auflösung üblicher Gasmeßgeräte in dem interessierenden Bereich der Messung ebenfalls nicht angewendet.

Als Brandlast wurden Brandlastpaletten (Holzkrippen, Stapelbehälter (Lagerbehälter) aus Polypropylen, Babywindeln in Schrumpffolie, Pflanzenöl, Heptan und Brennpaste (siehe **Bild 6.4**) verwendet.

Weitere Angaben zu den Versuchsaufbauten und Versuchsparametern bei den jeweiligen Versuchen sind den nachfolgenden Abschnitten zu entnehmen.

Die Meßwerte wurden mit einem Meßwerterfassungssystem registriert und anschließend (off-line) ausgewertet.

Die Versuche wurden zusätzlich durch Videoaufnahmen an verschiedenen Positionen des Holzgebäudes (siehe Beobachtungsfenster in **Bild 5** u. **6.5** sowie **Tabelle 1**) dokumentiert und mit Hilfe von Videoprints optisch ausgewertet.

Nachfolgend werden die mit der Niederdruck-Wassernebellöschanlage durchgeführten Brand- und Löschversuche mit festen und flüssigen Brandstoffen erläutert.

3.2.1 Feste Brandstoffe

3.2.1.1 Versuch BMBF H5 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 8.1 bis 8.4** zeigen den Versuchsablauf bei einem Brand- und Löschversuch mit einer Holzkrippe (und Zündwanne) als zusätzliche Brandlast auf dem Podest der 1. Etage am Treppengeländer (**Bild 6.4 - Foto 3.81**). Die Videoprints stellen anschaulich den zeitlichen Verlauf der Brand- und Rauchausbreitung im Treppenraum dar. Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (mittleres Sprührohr mit Sprühköpfen in sämtlichen Sprühebenen, horizontale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **8.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler Sp2, Sp3, Sp4 und Sp5 noch nicht ausgelöst.

Drücke um 4 bar stehen üblicherweise bei einer Hauswasserversorgung aus dem öffentlichen Netz zur Verfügung.

Nach Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² große, durch einen Schieber regulierbare Öffnung. Durch mehrmaliges Öffnen und Schließen dieses Schiebers bis zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des Löscheinsatzes sollte ein Eindruck vom Einfuß dieser Lüftungsmaßnahme und auf den Extinktionskoeffizienten gewonnen werden. Die **Bilder 8.1** und **8.4** zeigen, daß der zulässige Extinktionskoeffizient bei der eingesetzten Brandlast nach dem Auslösen der Löschanlage zum einen durch die Brandgase und zum anderen durch die Wasserdampfbildung beim Löschvorgang frühzeitig überschritten wurde. Die **Bilder 8.1** und **8.4** zeigen aber auch, daß der Brandmelder vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Bild 8.2 zeigt die starke Verrauchung sowohl des Erdgeschosses als auch sämtlicher darüberliegender Geschosse durch den überwiegend aus dem Löschvorgang entstehenden Wasserdampf. Aufgrund der großen Löschwassermenge aus vielen Düsen ergab sich eine starke Kühlwirkung auf die Rauchgase, die bereits von sich aus nur eine geringe Thermik

aufgrund der geringen Brandentwicklung aufwiesen. Diese Rauchgase konnten hierdurch nicht ausreichend schnell durch den natürlichen Rauch- und Wärmeabzug abgeführt werden. Hierdurch würden sich im Realfall durch die starke Sichtbehinderung Probleme bei der Evakuierung des Gebäudes ergeben.

Die maximale Temperatur unter Podest 3 betrug 43°C (**Tabelle 2**, **Bild 8.4)**. Man erkennt, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden. Nach **Bild 8.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlich aufgestellten Brandlast. Das Geländer wurde nicht beschädigt.

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen in der 3. Etage wiesen bei kurzer Einwirkungsdauer relativ unkritische Werte für den Menschen auf.

An dieser Stelle soll nochmals angemerkt werden, daß die Indikatorsprinkler Sp3, Sp4 und Sp5 über dem Brandherd im Treppenraum nicht ausgelöst hatten. Besonders in einem Treppenraum mit seinen vielfältigen Durchströmungsmöglichkeiten, z. B. durch das Treppenauge, durch offene Treppen ohne Setzstufen als auch durch den Einfluß offener Fenster, Türen und Rauch- und Wärmeabzüge ist nicht auszuschließen, daß bei einer Sprinkleranlage bzw. bei einer durch thermische Auslöseelemente ausgelösten Wassernebellöschanlage diese nicht oder verzögert auslösen und damit überlaufen werden können, so daß der Brand sich beträchtlich weiter ausbreiten kann, bevor die Löschanlage auslöst.

Die bei diesem Versuch erforderliche große Löschwassermenge bis zum vollständigen Löschen des Brandes (1.314 l, siehe **Tabelle 2**) macht deutlich, daß eine genaue örtliche Detektierung des Brandes und eine z.B. auf die 1. Etage (Brandherd) beschränkte Löschsektion den Löschwasserschaden bedeutend reduziert hätte. Dies zeigen auch die weiteren Versuche.

3.2.1.2 Versuch HTR1 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 9.1 bis 9.4** zeigen einen Brand- und Löschversuch mit einer zusätzlichen

Brandlast aus Stapelbox (Polypropylen), Babywindeln in Schrumpffolie, Zündwanne mit Heptan sowie 2 Vierkanthölzern zur Abstützung des geneigt aufgelagerten Windelpaketes gemäß **Bild 6.4 - Foto 3.82** auf dem Podest der 1. Etage neben dem Treppengeländer. Die Anordnung der Brandlast in dieser Art wurde bewußt gewählt, um einen verdeckten Brand zu simulieren, der nicht unmittelbar vom Wassernebel erreicht wird. Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und zum Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (rechtes Sprührohr mit Sprühköpfen in sämtlichen Sprühebenen, horizontale Sprührichtung, Betriebdsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **9.4**) wurde absichtlich verspätet nach 2 min 47 s (nach Auslösung von Brandmelder Tr (1 min 22 s) und nach Auslösung von Indikatorsprinkler Sp5 (1 min 53 s)) im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler Sp3 und Sp4 noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn wurde die 1 m² große Öffnung zur natürlichen Entrauchung geöffnet. Die **Bilder 9.1, 9.2** und **9.5** zeigen, daß der zulässige Extinktionskoeffizient infolge des Brandes bereits vor dem Auslösen der Löschanlage, aber nach dem Auslösen des Rauchmelders durch die Brandgase, frühzeitig nach ca. 2 min überschritten wurde. Die Bilder zeigen ebenfalls, daß der Rauchmelder in der 3. Etage bei diesem Versuch noch vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Bild 9.3 zeigt die starke Verrauchung sowohl des Erdgeschosses als auch sämtlicher darüberliegender Geschosse, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang. Auch hier würden sich im Realfall durch die starke Sichtbehinderung Probleme bei der Evakuierung des Gebäudes ergeben.

Nach 9 min 59 s wurde statt der natürlichen Rauch- und Wärmeabführung der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug mit 10.000 m³/h im Normzustand (Spülluftmenge für innenliegenden Treppenraum) eingeschaltet. Erst diese Maßnahme führte zu einer ausreichend schnellen Entrauchung des Treppenraumes, da die Brandgase sowie der beim Löschvorgang entstehende Wasserdampf eine nur sehr geringe Thermik aufwiesen. Insbesondere durch die große Löschwassermenge aus vielen Düsen hatte sich eine starke Kühlwirkung ergeben.

Die maximale Temperatur unter Podest 3 betrug 98°C (**Tabelle 2**, **Bild 9.5)**. Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen unkritische Werte verringert werden (**Bild 9.5**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 9.5, Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen bei kurzer Einwirkungsdauer relativ unkritische Werte für den Menschen auf.

Nach **Bild 9.4** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Auch die bei diesem Versuch erforderliche große Löschwassermenge bis zum vollständigen Löschen des Brandes (1350 l, siehe **Tabelle 2**) macht deutlich, daß eine genaue örtliche Detektierung des Brandes und eine z.B. auf die 1. Etage (Brandherd) beschränkte Löschsektion den Löschwasserschaden bedeutend reduziert hätte.

3.2.1.3 Versuch HTR21 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 10.1 bis 10.4** zeigen einen Brand- und Löschversuch mit der gleichen Brandlast wie im vorherigen Versuch auf dem Podest der 1. Etage neben dem Treppengeländer (**Bild 6.4 - Foto 3.82**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und zum Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (Treppenauge und rechtes Sprührohr, 2 Sprühköpfe mit je 5 offenen Dralldüsen, horizontale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 6 bar, siehe **Bild 5** und **10.3**) wurde nach Auslösung von Rauchmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Der bei diesem Versuch erhöhte Betriebsdruck von ca. 6 bar gegenüber ca. 4 bar würde im an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossenen Hauswassernetz evtl. eine Druckerhöhungspumpe erforderlich machen.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² große Öffnung. **Bild 10.4** zeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. und 3. Etage nicht überschritten wurde. Bei diesem Versuch wurde kein maschineller Rauch- und Wärmeabzug verwendet.

Die **Bilder 10.1** und **10.2** zeigen die starke Verrauchung des Erdgeschosses und der 1. Etage, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang. Hier würden sich durch die starke Sichtbehinderung nur Probleme bei der Evakuierung des Gebäudes im unteren Treppenraumbereich ergeben.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 10.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 10.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen bei kurzer Einwirkungsdauer relativ unkritische Werte für den Menschen auf.

Nach **Bild 10.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes lag mit 992 l (**Tabelle 2**) unter derjenigen der vorherigen Versuche.

3.2.1.4 Versuch HTR22 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 11.1 bis 11.4** zeigen einen Brand- und Löschversuch mit der gleichen Brandlast wie im vorherigen Versuch auf dem Podest der 1. Etage neben dem Treppengeländer (**Bild 6.4 - Foto 3.82**). Bei diesem Versuch handelte es sich um die Wiederholung von Versuch HTR21, allerdings mit einem Betriebsdruck von ca. 4 statt ca. 6 bar. Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und zum Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (Treppenauge und rechtes Sprührohr, 2 Sprüh-

köpfe mit je 5 offenen Dralldüsen, horizontale Sprührichtung, siehe **Bild 5** und **11.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Die **Bilder 11.1, 11. 2** und **11.4** zeigen, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die Öffnung des Schiebers in der 3. Etage zur natürlichen Entrauchung. **Bild 11.4** zeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage während des Löschvorganges und in der 3. Etage nach dem Löschvorgang überschritten wurde. Bei diesem Versuch wurde kein maschineller Rauch- und Wärmeabzug verwendet.

Die **Bilder 11.1** und **11.2** zeigen wiederum die starke Verrauchung des Erdgeschosses und der 1. Etage, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 11.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 10.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen bei kurzer Einwirkungsdauer relativ unkritische Werte für den Menschen auf.

Nach **Bild 11.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes lag mit 738 l (**Tabelle 2**) unter derjenigen der vorherigen Versuche.

3.2.1.5 Versuch HTR3 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 12.1 bis 12.4** zeigen den Brand- und Löschversuch HTR3 mit der gleichen Brandlast wie im vorherigen Versuch auf dem Podest der 1. Etage am Treppengeländer

(**Bild 6.4 - Foto 3.82**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (Treppenauge und rechtes Sprührohr, 2 Sprühköpfe mit je 4 offenen Dralldüsen (Düsen am Umfang des Sprühkopfes), horizontale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **12.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² große Öffnung. **Bild 12.4** zeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage während des Löschvorganges und in der 3. Etage nach dem Löschvorgang überschritten wurde. Die **Bilder 12.1** und **12.2** zeigen, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat. Bei diesem Versuch wurde kein maschineller Rauch- und Wärmeabzug verwendet.

Die **Bilder 12.1** und **12.2** zeigen wiederum die starke Verrauchung sowohl des Erdgeschosses als auch der 1. Etage, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang. Die maximale Verrauchung der 2. und 3. Etage war relativ gering.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 12.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 12.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 12.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes lag mit 697 l (**Tabelle 2**) unter derjenigen der vorherigen Versuche.

3.2.1.6 Versuch HTR4 - horizontale Sprührichtung

Die **Bilder 13.1 bis 13.4** zeigen den Versuchsablauf von Versuch HTR4, wiederum mit der gleichen Brandlast aus Babywindeln etc. auf dem Podest der 1. Etage neben dem Treppengeländer (**Bild 6.4 - Foto 3.82**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (Treppenauge und rechtes Sprührohr, 2 Sprühköpfe mit je 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse), horizontale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **13.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die Öffnung der 1 m² großen Öffnung zur natürlichen Entrauchung. **Bild 13.4** zeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage und 3. Etage während des Löschvorganges überschritten wurde. Die **Bilder 13.1** und **13.2** zeigen, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Die **Bilder 13.2** und **13.4** zeigen wiederum die starke Verrauchung sowohl des Erdgeschosses als auch der 1. Etage, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang. Die maximale Verrauchung der 2. und 3. Etage ergab sich während des Löschvorganges.

Bei diesem Versuch wurde der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug nach dem Löschvorgang eingeschaltet. Man erkennt die schnelle Entrauchung des Treppenraumes in **Bild 13.4**.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 13.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 13.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 13.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes lag mit 260 l (**Tabelle 2**) unter derjenigen der vorherigen Versuche.

3.2.1.7 Versuch HTR5 - vertikale Sprührichtung

Die **Bilder 14.1 bis 14.4** zeigen den Brand- und Löschversuch HTR5 (Brandlast siehe **Bild 6.4 - Foto 3.82**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (1 Sprühkopf mit 5 offenen Dralldüsen unter Podest 3, vertikale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **14.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² große Öffnung in der 3. Etage. Die **Bilder 14.1, 14.2 und 14.4** zeigen, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage und 3. Etage während des Löschvorganges überschritten wurde. Die Bilder zeigen ebenfalls, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Bild 14.2 zeigt wiederum die starke Verrauchung des Erdgeschosses und der 1. Etage, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang. Die maximale Verrauchung der 2. und 3. Etage ergab sich nach dem Löschvorgang.

Bei diesem Versuch wurde der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug nach dem Löschvorgang eingeschaltet. Man erkennt die schnelle Entrauchung des Treppenraumes in **Bild 14.4**.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für

den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 14.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 14.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 14.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes lag mit 636 l (**Tabelle 2**) unter derjenigen der vorherigen Versuche.

3.2.1.8 Versuch HTR6 - vertikale Sprührichtung

Die **Bilder 15.1 bis 15.4** stellen den Brand- und Löschversuch HTR6 dar (Brandlast siehe **Bild 6.4 - Foto 3.82**) dar. Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (1 Sprühkopf mit 4 offenen Dralldüsen unter Podest 3, vertikale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **15.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn wurde der Schieber in der 3. Etage zur natürlichen Entrauchung geöffnet. Die **Bilder 15.1, 15.2 und 15.4** zeigen, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage und 3. Etage während des Löschvorganges überschritten wurde. Die Bilder zeigen ebenfalls, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Bild 15.2 zeigt wiederum die starke Verrauchung sowohl des Erdgeschosses als auch der 1. Etage als auch der 2. und 3. Etage durch überwiegend Wasserdampf während des Löschvorganges.

Bei diesem Versuch wurde der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug nicht eingeschaltet.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 15.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 15.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 15.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes betrug 709 l (**Tabelle 2**).

3.2.1.9 Versuch HTR7 - vertikale Sprührichtung

Die **Bilder 16.1 bis 16.4** zeigen den Brand- und Löschversuch HTR7 (Brandlast siehe **Bild 6.4 - Foto 3.82**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (1 Sprühkopf mit 1 offenen Dralldüse unter Podest 3, vertikale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **16.3**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² - Öffnung. Die **Bilder 16.1** und **16.4** zeigen, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 2. Etage während des Löschvorganges überschritten wurde. In der 3. Etage war bei diesem Versuch das Rauchdichte-Meßgerät ohne Funktion. Über das Überschreiten des zulässigen Extinktionskoeffizienten kann daher keine Aussage gemacht werden. Die Bilder zeigen ebenfalls, daß der Brandmelder Tr vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der

2. Etage ausgelöst hat.

Bild 16.2 zeigt wiederum die starke Verrauchung sowohl der 1. Etage als auch der 2. und 3. Etage, überwiegend durch Wasserdampf während des Löschvorganges. Gegenüber den bisherigen Versuchen trat aber die maximale Verrauchung nach 13 min 26 s auf dem 3.Podest und nach 19 min 30 s auf dem 2. Podest relativ spät auf. Im Erdgeschoß war keine sichtbare Verrauchung erkennbar. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch den geringen Löschwasservolumenstrom (ca. 13 l/min) die Brandgase nicht so stark abgekühlt wurden und durch den natürlichen Rauch- und Wärmeabzug abgeführt werden konnten. Allerdings trat bei dieser geringen Wassermenge auch die Löschwirkung nicht so schnell ein, so daß der Löschvorgang 25 min 7 s dauerte.

Bei diesem Versuch wurde der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug nach dem Löschvorgang eingeschaltet.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 16.4**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 16.4**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 16.3** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes wies mit 327 l (**Tabelle 2**) die geringste Menge beim Löschen fester Brandstoffe auf. Dies bedeutet, daß der Löschwasserschaden ebenfalls hier am geringsten wäre.

3.2.2 Flüssige Brandstoffe

3.2.2.1 Versuch HTRÖl1 - vertikale Sprührichtung

Die **Bilder 17.1 bis 17.5** zeigen einen Brand- und Löschversuch mit einer Bratpfanne mit auf Flammpunkttemperatur vorgeheiztem Pflanzenöl als dem wesentlichen Bestandteil der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage am Treppengeländer (**Bild 6.4 - Foto 3.83**). Weitere Einzelheiten zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf finden sich in **Tabelle 2.**

Bei diesem Versuch wurde nur eine Videokamera im Erdgeschoß eingesetzt.

Die Niederdruck-Wassernebellöschanlage (1 Sprühkopf mit 5 offenen Dralldüsen unter Podest 3, vertikale Sprührichtung, Betriebsdruck ca. 4 bar, siehe **Bild 5** und **17.4**) wurde nach Auslösung von Brandmelder Tr im Treppenraum aktiviert. Im Treppenraum hatten zu diesem Zeitpunkt die Indikatorsprinkler noch nicht ausgelöst.

Nach dem Löschbeginn erfolgte die natürliche Entrauchung durch die 1 m² - Öffnung. **Bild 17.5** zeigt, daß der zulässige Extinktionskoeffizient in der 3. Etage während des Löschvorganges überschritten wurde. Für die 2. Etage stand zu diesem Zeitpunkt kein weiteres Rauchdichte-Meßgerät zur Verfügung. Der Brandmelder Tr löste 3 s nach dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten aus.

Bei diesem Versuch wurde der maschinelle Rauch- und Wärmeabzug nach dem Löschvorgang nicht eingeschaltet.

Man erkennt auch hier, daß durch den Löschvorgang die Temperaturen sehr schnell auf für den Menschen und für Bauteile unkritische Werte verringert werden (**Bild 17.5**, **Tabelle 2**).

Die entstehenden Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen (**Bild 17.5**, **Tabelle 2**) in der 3. Etage wiesen relativ unkritische Werte für den Menschen auf (bei kurzer Einwirkungsdauer).

Nach **Bild 17.4** ergab sich bei diesem Versuch ein sehr geringer Brandschaden an der

zusätzlichen Brandlast und am Geländer.

Die Löschwassermenge bis zum Löschen des Ölbrandes betrug bei einem Volumenstrom von ca. 45 l/min nach 1 min 41 s nur 76 l (**Tabelle 2**).

Die Pastenbrenner unter der Bratpfanne konnten auch durch weiteren Betrieb der Löschanlage (3 min 30 s) nicht gelöscht werden.

Gegenüber dem von Kunkelmann in [4] beschriebenen Brand- und Löschversuch mit Pflanzenöl im dem an den Treppenraum angrenzenden Brandraum (Grundfläche: 10,3 m², Höhe 2,5 m) mit einer Löschzeit von 23 s erkennt man die wesentlich längere Löschzeit im Treppenraum. Allerdings wurde der Versuch im Brandraum mit einem Volumenstrom von 60 l/min bei ebenfalls 4 bar durchgeführt. Dieser größere Volumenstrom resultierte aus größeren Düsenbohrungen der Einzeldüsen im Sprühkopf. Aufgrund des höheren Durchsatzes wurde eine größere Tropfendichte gegenüber dem Versuch im Treppenraum erzielt. Weiterhin wurde der Ölbrand im Brandraum durch den Wassernebel besser eingehaust als im weiträumigen Treppenraum. Eine weitere Rolle spielen die ungünstigeren Ventilationsbedingungen im Treppenraum.

4. Auslegungsempfehlungen für den Einsatz von Niederdruck-Wassernebellöschanlagen in Altwohngebäuden und Denkmalgeschützten Gebäuden

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist bereits beim minimalen Betriebsdruck von 4 bar mit der eingesetzten Niederdruck-Wassernebellöschanlage ein sehr guter Löscherfolg mit relativ geringer Löschwassermenge zu erzielen. Voraussetzung ist hierbei, daß die Wassernebellöschanlage schnell, z.B. durch Rauchmelder, schnelle thermische Auslöseelemente oder sonstige schnelle Branddetektoren (z.B. Analysatoren für Brand- und Zersetzungsgase) ausgelöst wird. Bei Verwendung thermischer Auslöseelemente ist nicht auszuschließen, daß diese verdeckte Brände (z.B. in Regalen) nicht rechtzeitig erkennen und daß diese bei ungünstigen Ventilationsbedingungen vom Brand nicht ausreichend aufge-

heizt werden und daher nicht auslösen.

Bild 18 zeigt eine Zusammenstellung der Ansprechzeiten des foto-elektronischen Rauchmelders in der 3. Etage des Treppenraumes bei den verschiedenen auf dem Podest der 1. Etage durchgeführten Brand- und Löschversuchen. Die Ansprechzeiten variierten 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 Effekte, 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.

Bei den Versuchen konnte gezeigt werden, daß der Rauchmelder Tr - immer bis auf die Ausnahme bei Versuch HTRÖl1 - vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Um eine Fehlauslösung der Löschanlage zu vermeiden ist eine logische "UND"-Verknüpfung zwischen zwei Auslöseelementen als Bedingung für das Aktivieren der Löschanlage denkbar. In diesem Fall müßten beide Branddetektionseinrichtungen ansprechen, bevor der Wassernebel freigesetzt wird.

Zur Reduzierung des Löschwasserschadens durch Fehlauslösungen insbesondere in denkmalgeschützten Gebäuden kann die Brandmeldeanlage in Zweimelderabhängigkeit ausgeführt werden. Der erste Melder löst den Voralarm aus, steuert z.B. die Pumpenanlage an und alarmiert die Feuerwehr. Der Hauptalarm eines 2. Melders führt zum Öffnen des jeweiligen Löschsektionsventils und zum Auslösen des Löschvorganges. Es ist hierbei anzustreben, daß beide Melder nahe beieinander angeordnet sind und nicht durch Strömungshindernisse für den Brandrauch voneinander getrennt sind.

Bei verspäteter Auslösung ist insbesondere bei festen Brandstoffen, wie z.B. Holz und Möbeln nicht auszuschließen, daß der beim Löschen erzeugte Wasserdampf zu einer

erheblichen Sichtbehinderung z.B. in einem Treppenraum führt. Auf eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage kann daher bei mehrgeschossigen Gebäuden nicht verzichtet werden.

Eine genaue örtliche Detektierung des Brandes mit örtlich begrenzter Löschsektion reduziert die Löschwasserbevorratung, den Löschwasserverbrauch und -schaden bedeutend.

Es hat sich weiterhin gezeigt, daß hohe Löschwasservolumenströme aus vielen Düsen nicht unbedingt von Vorteil sind. Geringe Löschwasservolumenströme wie bei einigen der beschriebenen Versuche von 13 l/min (1 Düse vertikal) bis 26 l/min (2 Düsen horizontal) ergaben bei den durchgeführten Versuchen zwar größere Löschzeiten, gleichzeitig wurde aber die Verrauchung des Erdgeschosses aufgrund der geringeren Kühlwirkung bei Brandgasen mit geringer Thermik bedeutend verringert und der Löschwasserverbrauch wesentlich reduziert.

Wird die Niederdruck-Wassernebellöschanlage an die Hauswasserversorgung angeschlossen, sind u.a die Richtlinien und Normen für die Wasserversorgung (z.B. DIN 1988, Teil 6: Feuerlösch- und Brandschutzanlagen; Techn. Regeln der DVGW) und der jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen zu beachten, um zum einen die Löschwasserversorgung der Löschanlage im Brandfall zu gewährleisten (evtl. zusätzliche Vorratsbehälter) und um zum anderen zu verhindern, daß abgestandenes, als Trinkwasser nicht mehr geeignetes Wasser in den Leitungen verbleibt oder Wasserleitungen einfrieren.

Für den Fall, daß die Wassernebellöschanlage gewartet oder repariert werden muß, ist zu gewährleisten, daß in dieser Zeit der Personen- und Sachschutz im Brandfall sichergestellt ist. Denkbar ist z.B. der Einsatz einer Brandwache in diesem Zeitraum.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Sicherheit von Personen wird in Räumen, in denen ein Brand entsteht, nur dann wesentlich verbessert, 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, je nach Brandlast bereits innerhalb von 2 Minuten erfolgen muß.

Der Personen- als auch der Sachschutz können für den Fall, daß kein schneller Feuerwehreinsatz möglich ist, nur durch den Einsatz ortsfester Löschanlagen gewährleistet werden. Der Einsatz von ortsfesten Niederdruck-Wassernebellöschanlagen (Mindestbetriebsdruck 4 bar) hat hierbei besonders positive Ergebnisse gezeigt. Hierdurch werden giftige Brandgasbestandteile bedeutend reduziert.

Wie von Brandversuchen im Realmaßstab zur Untersuchung der Löschwirksamkeit neuer Löschmittel und Löschgeräte unter Vollbrandbedingungen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik bekannt ist, können bei einem Vollbrand eines Wohnzimmers

eine Kohlendioxid-Konzentration von ca. 200.000 ppm (20 Vol.%) und

eine Kohlenmonoxid-Konzentration von mehr als 50.000 ppm (5 Vol.%)

im Brandraum (Meßstelle: zentral im Brandraum, 1,5 m über dem Fußboden) entstehen.

Diese Konzentrationen werden durch die frühzeitige Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage auf eine

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.

Bei den Brand- und Löschversuchen im Treppenraum ergaben sich Kohlendioxid-Konzentrationen von 1.860 ppm (0,19 Vol.%) und Kohlenmonoxid-Konzentrationen von unter 170 ppm (0,02 Vol.%) in der 3. Etage.

Die Sauerstoffkonzentration liegt nach Löschbeginn im Brandraum mit ca. 16 - 18,5 Vol.% O_2 bzw. im Treppenraum mit ca. 19,9 - 20,8 Vol.% O_2 über dem für den Stickeffekt er-

forderlichen Wert bei Löschgasen (z.B. bei Kohlendioxid: <15 Vol.% O_2) sowie im Bereich bzw. über der O_2-Konzentration der Ausatmungsluft eines Menschen (16 - 17,5 Vol.% O_2). Sie liegt auch wesentlich über dem Wert, bei dem die Sauerstoffmangelkrankheit auftritt (< 12 Vol.% O_2).

Die Brandeinwirkung auf Stahl-, Leichtmetall-, Holz-, Glas- und Kunststoffbauteile in den Gebäuden als auch auf z.B. normalentflammbare Dämmstoffe, wie etwa in Hohlräumen von Fachwerkbauten oder in Holz- oder Metallständerwänden, wird bei einer einwandfrei funktionierenden und schnell auslösenden Niederdruck-Wassernebellöschanlage bei einem Brand innerhalb des Raumes bedeutend reduziert. Brände in Hohlräumen, z.B. durch defekte elektrische Installationen, wurden in diesen Untersuchungen nicht betrachtet. Die Gefährdung durch Flashover, Backdraft und Feuerüberschlag wird wirksam reduziert. Die zu erwartende Beschädigung der Inneneinrichtung des Raumes bzw. Treppenraumes (eingebrachte Brandlast, Vorhänge, Holzbauteile etc.) ist als sehr gering einzustufen. Bei einer schnellen Auslösung der Löschanlage im Brandraum (unter 2 Minuten) ergab sich bei offener Tür zwischen Brand- und Treppenraum eine relativ geringe Verrauchung des Treppenraumes durch Brandgase und Wasserdampfbildung beim Löschvorgang.

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 Ventilationsbedingungen oder bei verdeckten Bränden, ist mit einer starken Sichtbehinderung durch Wasserdampf zu rechnen. Der zulässige Extinktionskoeffizient wurde hierbei sowohl auf dem Podest der 2. als auch der 3. Etage des Versuchstreppenraumes beträchtlich überschritten. Weiterhin wurde auch das Podest der 1. Etage vollständig und das Erdgeschoß mehr oder weniger stark durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang verraucht. Dies hat zur Folge, daß bei höheren Gebäuden, trotz der im Vergleich zu einem Vollbrand auftretenden relativ unschädlichen Sauerstoff- und Brandgaskonzentrationen sowie der äußerst niedrigen Temperaturen auf Rauch- und Wärmeabzug nicht verzichtet werden kann. Hierbei muß aber betont werden, daß durch die Niederdruck-Wassernebellöschanlage die zur Verfügung stehende Evakuierungszeit wesentlich verlängert wird. Dies bedeutet, daß die Rettungskräfte wie z.B. die Feuerwehr wesentlich mehr Zeit haben, an den Einsatzort zu gelangen. Personen in den verschiedenen Etagen können sich relativ gefahrlos im Gebäude aufhalten, wenn diese aufgrund der

Sichtbehinderung durch den Wasserdampf das Gebäude nicht verlassen können.

Es hat sich weiterhin gezeigt, daß hohe Löschwasservolumenströme aus vielen Düsen nicht unbedingt von Vorteil sind. Geringe Löschwasservolumenströme, hier 13 l/min (1 Düse vertikal) bis 26 l/min (2 Düsen horizontal), ergaben bei den durchgeführten Versuchen zwar größere Löschzeiten, gleichzeitig wurde die Verrauchung des Erdgeschosses aufgrund der geringeren Kühlwirkung auf die Brandgase mit geringer Thermik bedeutend verringert und der Löschwasserverbrauch wesentlich reduziert.

Bei den Versuchen konnte weiterhin gezeigt werden, daß der Rauchmelder bis auf eine Ausnahme immer vor dem Erreichen des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage ausgelöst hat.

Bei den Versuchen hat sich außerdem gezeigt, daß die nach § 32 der Musterbauordnung [15] 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 m^2) bei einem geringen thermischen Auftrieb der Brandgase nicht ausreicht, den Treppenraum ausreichend schnell zu entrauchen. Erst maschineller Rauch- und Wärmeabzug mit der üblicherweise nach gültigen Bauvorschriften für einen innenliegenden Treppenraum vorgesehenen Spülluftmenge (10.000 m^3/h im Normzustand) erbrachte den gewünschten Erfolg.

Diese Tatsache wurde durch weitere Untersuchungen im Versuchstreppenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik belegt. Bei einem Brand auf dem Podest der 1. Etage variierte die Ansprechzeit eines foto-elektronischen Rauchmelders zentral im Treppenauge 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 Effekte, 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 deshalb der Brandrauch nicht mehr oder nicht in

ausreichender Weise 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 (23 s bei einem Brand im Brandraum (siehe Kunkelmann [4]), 1 min 41 s bei einem Brand im Treppenraum) 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 Feuerwehrnoteinspeisung ist hierbei zudem problemlos möglich.

6. LITERATURVERZEICHNIS

[1] Kunkelmann, J.: 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 Altwohngebäuden 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)

[2] Kunkelmann, J.: Verringerung der Temperaturen an Stahl-Glasfassaden im Brandfall durch thermische Entlastungsöffnungen und ortsfeste Niederdruck-Wassernebellöschanlagen.
Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag der Stiftung Industrieforschung, Förderkennzeichen:
Nr. S 483, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2001

[3] Kunkelmann, J.: Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wassernebellöschanlagen auf die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fassaden.
Teil 3:
- Literaturauswertung (Wassernebellöschanlagen - Entwick-

lung, 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 - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1998)

[4] Kunkelmann J.: Entwicklung und Erprobung neuartiger Löschanlagen für den mehrgeschossigen Holzbau zur Brandbekämpfung und Fluchtwegsicherung.
Forschungsbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 0339852, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2001

[5] Mommsen, H.: Der Gesundheits-Brockhaus.
4. Auflage, Mannheim 1990

[6] Bogenberger, S., et al.: Lexikon Medizin.
3. Auflage, Verlag Urban & Schwarzenberg, München

[7] Hommel, G.: Handbuch der gefährlichen Güter.
9. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1999

[8] Cagliostro, D.E.: Modeling of Exposure to Carbon Monoxide in Fires.
Journal of Combustion Toxicology, Vol. 7, 1980, p. 231 - 242

[9] Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.: Holz Brandschutz Handbuch
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.,
2. Auflage, München, 1994

[10] Kunkelmann, J.: Auswirkung von Schallschutzverglasungen und vorgehängten bzw. doppelten Fassaden auf den Brandablauf sowie die Brand- und Rauchausbreitung innerhalb und außerhalb der Brandwohnung.
Teil 4: Brandversuche in einem Gebäudeausschnitt mit einer Kastendoppelfassade
Forschungsbericht Nr. 114 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1999)

[11] VEGLA: Technisches Handbuch "Glas am Bau"
Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen 1999

[12] 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 Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1983)

[13] John, R.: Rauch- und Wärmeabzug bei Bränden in großen Räumen.
VFDB-Zeitschrift, 1/88

[14] John, R.: Rauchfreie Treppenräume – Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Druckbelüftungsanlagen - Bundesbaublatt, 7/2000, S. 29 - 31

[15] Bauministerkonferenz, Fachkommission Bauaufsicht: Musterbauordnung (MBO), 1997

7. TABELLEN

Tabelle 1: Versuchsaufbau und Meßtechnik

Brandraum	Innenabmessungen: Höhe: 2,5 m, Länge: 4,09 m * Breite: 2,52 m > Grundfläche: 10,3 m² Vordere Wand: Holzrahmenbauwand mit 625 mm Rastermaß • Erdgeschoß: *Außenwand* • Vollholzständer, 60mm * 140 mm, Fichte/Tanne-Holz • Beplankung innen und außen mit OSB (Oriented Strand Board)-Flachpreßplatten, 15 mm dick • Dämmstoff: Flachsdämmplatten (normalentflammbar - B2), 140 mm dick alternativ: Zellulosedämmstoff (normalentflammbar - B2) *Installationsraum* • Lattung, 40 mm * 60 mm, Fichte/Tanne-Holz • Dämmstoff: Flachsdämmatten (normalentflammbar - B2), 60 mm dick alternativ: Zellulosedämmstoff (normalentflammbar - B2, Fülldichte: 35 kg/m³) • Beplankung innen mit OSB-Platten, 15 mm dick • Öffnungen (Durchmesser: 68 mm) für Steckdosen (Gefach 1 u. 2, Höhe-Mittelpunkt): 0,3 m), Lichtschalter (Gefach 1, Höhe-Mittelpunkt: 1,1 m) und Verteiler- bzw. Abzweigdose (Gefach 1, Höhe-Mittelpunkt: 2,3 m), mit Kunststoff-Federdeckel *Decke* • Brettstapeldecke: im vorderen Bereich des Brandraumes aus 13 Kanthölzern, 55 mm * 150 mm => Länge der Decke: 715 mm, Dicke: 150 mm • Holzbalkendecke: im vorderen Bereich des Brandraumes hinter der Brettstapeldecke, Außenabmessungen: Breite: 1250 mm, Länge: 760 mm, Rahmen aus Kanthölzern, Fichte/Tanne-Holz, 40 mm * 60 mm; Dämmstoff: Flachsdämmatten (normalentflammbar - B2), 60mm dick; Deckenunterseite: Gipskartonplatte ohne Feuerschutz, 12,5 mm dick • Porenbetondachplatten im Anschluß an die Holzdecke *Türöffnung von der Brandversuchshalle in den Brandraum:* Öffnung gesamt: Breite: 970 mm, Höhe: 2500 mm (incl. Oberlicht) Oberlicht: Glasfläche: Breite: 970 mm, Höhe: 390 mm (Höhe mit Holzrahmen: 470 mm), Floatglas, 4 mm dick, Holztür (OSB-Platte, alternativ Holztür mit Röhrenspanstreifen) *Türöffnung vom Brandraum in den Treppenraum:* siehe Treppenraumbeschreibung *Hintere Wand:* Porenbetonmauerwerk *Seitenwände:* Porenbetonmauerwerk *Boden:* Abbrandwaage, darüber Konstruktion aus Porenbetondachplatten *Innenverkleidung im Bereich des Mauerwerks, der Decke* (ausgenommen Bereich der Holzdecke) und des Bodens: Fibersilikat-Feuerschutz-bauplatten
Obergeschoß über dem Brandraum	*Außenwand*: Holzrahmenbauwand mit 625 mm Rastermaß im vorderen Bereich des Brandraumes, Höhe: 2,5 m • Vollholzständer, 60 mm * 140 mm, Fichte/Tanne-Holz • Beplankung innen und außen mit OSB (Oriented Strand Board)-Flachpreßplatten, 15 mm dick • Dämmstoff: Flachsdämmplatten (normalentflammbar - B2), 140 mm dick alternativ: Zellulosedämmstoff (normalentflammbar - B2)

zu Tabelle 1: Versuchsaufbau und Meßtechnik	
Treppenraum	• 4 geschossig (EG + 3 Obergeschosse), Gesamthöhe: 10 m, Stockwerkshöhe: 2,5 m • Tragkonstruktion: Regallagerkonstruktion aus Stahlprofilen • Verkleidung: Fichte/Tanne Rauhspund mit Nut und Feder (Breite: ca. 130 mm, 20 mm dick) • Treppen: Einläufige gegenläufige Treppen mit Podesten in den jeweiligen Geschoßhöhen Treppenlauflänge: 3.650 mm Treppenlaufbreite: 1.050 mm Steigung: 175 mm Steigungen: 14 Treppenbauform: aufgesattelte Treppen mit - Trittstufen aus Fichte/Tanne-Massivholzdielen (14 Stück je Treppe, Länge: 1.050 mm, Breite: 300 mm, 40 mm dick) - Setzstufen (optional) aus Fichte/Tanne-Massivholzbrettern (Länge: 1.050 mm, Breite: 174 mm, 20 mm dick) - Treppenwangen aus Kiefer-Massivholzdielen (Länge: 4.500 mm, Breite: 320 mm, 70 mm) • 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 Rauhspund-Dielung (20 mm dick) • Geländer: Geländerabstand: 130 mm - Geländerhöhe (senkrecht): 900 mm - Geländerpfosten und Geländerfüllung aus Fichte/Tanne-Latten (24 * 48 mm) - Geländerhandlauf aus Fichte/Tanne Rauhspund (Breite: 130 mm, 20 mm dick) • Treppenauge: Abstand der Treppen: 580 mm • Tür - Brandversuchshalle <=>Treppenraum Öffnung gesamt: Breite: 1000 mm, Höhe: 2000 mm, Holztür mit Röhrenspanstreifen • Türöffnung - Treppenraum <=> Brandraum hinter dem Treppenraum Öffnung gesamt: Breite: 970 mm, Höhe: 2200 mm (incl. Oberlicht) Oberlicht: Glasfläche: Breite: 970 mm, Höhe: 390 mm (Höhe mit Holzrahmen: 470 mm), Floatglas, 4 mm dick • Beobachtungsfenster: im Bereich der Podeste, in den Türen, seitlich neben der Tür (Brandversuchshalle <=>Treppenraum) • Rettungswegkennzeichnung im Erdgeschoß und im Bereich der Podeste (Höhe Mitte Schild: 1,8 m)
Rauch- und Wärmeabzug im Treppenraum	• ohne • natürlich (1 m² große Öffnung in der Außenwand an der obersten Stelle des Treppenraumes über Kopfhöhe) • maschinell: Absaugung durch Abgasreinigungsanlage direkt aus dem Treppenraum, Volumenstrom: 10.000 m³/h im Normzustand (Spülluftmenge für innenliegenden Treppenraum)

zu Tabelle 1: Versuchsaufbau und Meßtechnik

Wassernebellösch-anlage	• ortsfeste Niederdruckanlage • Sprühköpfe der Firma Systemtechnik Herzog GmbH • Brandraum 1 Sprühkopf mit 1 - 5 offenen Dralldüsen, Abstand Mitte Sprühkopf-Decke: 110 mm • Treppenraum 3 Sprührohreinheiten vertikal über sämtliche Etagen (linke Treppenraumwand, Treppenauge und rechte Treppenraumwand) - getrennt aktivierbar 8 Sprühköpfe je Sprührohreinheit - getrennt aktivierbar mit 1 - 5 offenen Dralldüsen je Sprühkopf oder 1 Sprühkopf mit 1 bis 5 offenen Dralldüsen zentral unter dem Podest der 3. Etage (Höhe Mitte Sprühkopf: + 6,75 m) • Mittlere Tropfengrößen: Betriebsüberdruck: minimal: 4 bar Tropfengrößen: - Arithmetischer Mittelwert : D_{10}= 9,1 µm - Sauter-Durchmesser D_{32}= 20,8 µm - Volumenbezogene Tropfendurchmesser $D_{V;10\%}$= 10,1 µm $D_{V;50\%}$= 17,3 µm $D_{V;90\%}$= 33,4 µm $D_{V;99\%}$= 47,0 µm - Anzahlbezogener Tropfendurchmesser $D_{A;50\%}$= 10,0 µm maximal: 8 bar Tropfengrößen: - Arithmetischer Mittelwert : D_{10}= 8,3 µm - Sauter-Durchmesser D_{32}= 15,8 µm - Volumenbezogene Tropfendurchmesser $D_{V;10\%}$= 9,5 µm $D_{V;50\%}$= 16,9 µm $D_{V;90\%}$= 32,1 µm $D_{V;99\%}$= 46,0 µm - Anzahlbezogener Tropfendurchmesser $D_{A;50\%}$= 9,0 µm • Wasservolumenstrom in Abhängigkeit vom Betriebsüberdruck, der aktivierten Sprührohreinheiten, der aktivierten Sprühköpfe, der Anzahl von Düsen je Sprühkopf und dem Düsentyp • Auslösung der Löschanlage: manuell u.a. nach Auslösen von Indikatorsprinklern mit unterschiedlichen RTI-Werten (optional) oder nach Auslösen von Brandmeldern an verschiedenen Positionen im Brand- bzw. Treppenraum
Indikatorsprinkler	• Sp1, Sp2, Sp3, Sp4, Sp5: 5 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 100 $m^{1/2} s^{1/2}$ bzw. 3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 50 $m^{1/2} s^{1/2}$ • Sp1*:3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 50 $m^{1/2} s^{1/2}$) • Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum: Sp1, Sp1* - Eingangstür zum Brandraum - Treppenraumseite Mitte, Oberkante Türöffnung (über dem Oberlicht): Sp2 - zentral im Treppenauge in 4 m (1,5 m über dem Podest der 1. Etage: Sp3) und 6,5 m Höhe (1,5 m über dem Podest der 2. Etage: Sp4) - zentral unter dem Podest der 3. Etage: Sp5
Brandmelder	foto-elektronischer Rauchmelder Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum neben dem Sprühkopf bzw. in 1 m Abstand vom Sprühkopf - zentral im Treppenauge an der Treppenraumdecke

zu Tabelle 1: Versuchsaufbau und Meßtechnik	
Meßtechnik und Meßdatenerfassung	• Wasserbeaufschlagung (elektronische Regenmesser) • Temperaturen an verschiedenen Meßpositionen im Brandraum und Treppenraum, 63 Meßstellen (Mantel-Thermoelemente, NiCr-Ni(K), Mantel d=1,5 mm) • Wasservolumenstrom im Brandraum und Treppenraum (Magnetisch-induktive Durchflußmesser) • Wasserdruck an verschiedenen Meßpositionen - Messung des Sprühdruckes in Brand- und Treppenraum (Piezoresistive Druckmeßumformer) • Dynamischer Druck der Luft bzw. der Brandgase (=> Luft- bzw. Brandgasgeschwindigkeit) an denTüröffnungen Brandraum/Treppenraum und Versuchshalle/Treppenraum (4 Prandtl-Staurohre je Tür) • Strömungsgeschwindigkeit an 1 m²-Öffnung in 3. Etage (Flügelradanemometer) • Abbrandmasse, Abbrandrate, Wärmefreisetzung im Brandraum (Abbrandwaage) • Optische Rauchdichte auf dem Podest der 2. und 3. Etage in 1,5 m Höhe (Maurer-Lichtmeßgeräte) • Brandgasanalyse (kontinuierliche Gasanalysatoren): Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid im Brandraum (zentral, 1,5 m Höhe: O_2, CO_2, CO) und Treppenraum (zentral im Treppenraum auf halber Höhe der 3. Etage: O_2, CO_2, CO) sowie zentral im Treppenraum auf halber Treppenraumhöhe (CO_2) • Meßdatenerfassung und -auswertung mittels PC
Kamera- und Videotechnik	Farbvideokameras: Positionen: - Holzrahmenbauwand des Brandraumes - seitliches Beobachtungsfenster am Treppenraum (Erdgeschoß) - Eingangstür zum Treppenraum (Erdgeschoß) - Beobachtungsfenster 1. Etage - Podest - Beobachtungsfenster 2. Etage - Podest - Beobachtungsfenster 3. Etage - Podest - 1 m²-Öffnung (3. Etage) Fotoaufnahmen

Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)					
Brand- und Löschversuche	**Maximale Temperatur** **Min. O_2-, max. CO- u. CO_2-Konzentration im Treppenraum**	**Brand-melder** Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	**Indikatorsprinkler** Auslösezeitpunkte u. -temperaturen **Sp2,Sp3,Sp4,Sp5:** Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 $(ms)^{1/2}$ (Vers.: BMBF H5: Glasfaß: 5 mm, 68°C RTI= ca. 100 $(ms)^{1/2}$)	**Löschanlage** -Betriebsbedingungen -Auslösezeitpunkt -Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes	**Rauch- und Wärmeabzug (RWA) im Treppenraum Maximaler Extinktionskoeffizient σ (m^{-1})**
Versuche mit festen Brandstoffen					
Horizontale Sprührichtung					
Versuch BMBF H5 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** ca. 12,6 kg (1 Zündkrippe mit Zündwanne (0,5 l Heptan)) am Geländer *Türen: * Halle>Brandraum: zu* ** Halle>Treppenraum: auf* ** Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** mittleres Sprührohr im Treppenauge vollständig über sämtliche Sprühebenen mit Sprühköpfen bestückt (8 Sprühebenen mit insgesamt 16 Sprühköpfen und 56 Düsen), Bestückung der Sprühköpfe: Sprühebene 1, 2, 3, 5, 6, 7: beide Sprühköpfe mit je 3 Düsen Sprühebene 4 und 8: beide Sprühköpfe mit je 5 Düsen	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 43°C (1 min 4 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,6 Vol.% (4 min 30 s) CO_{max}: 900 ppm (6 min 30 s) $CO_{2,max}$: 2.500 ppm (6 min 30 s)	58 s	keine Auslösung	ca. 4 bar in Sprühebene 8 ca. 475 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** **gesamt:** 2min 46s: ca. 1314 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) 1. Öffnung (s. Diagramm): 1 min 13 s **Podest 2. Etage** σ=3,1 m^{-1} (7 min 10 s) **Podest 3. Etage** σ=2,81 m^{-1} (6 min 50 s)
Versuch HTR1 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen: * Halle>Brandraum: zu* ** Halle>Treppenraum: auf* ** Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** Sprührohr: rechts, vollständig über sämtliche Sprühebenen mit Sprühköpfen bestückt (8 Sprühebenen mit insgesamt 8 Sprühköpfen und 28 Düsen), Bestückung der Sprühköpfe: Sprühebene 1, 2, 3, 5, 6, 7: je 3 Düsen Sprühebene 4 und 8: je 5 Düsen	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 98°C (2 min 40 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 19,9 Vol.% (3 min 56 s) CO_{max}: 340 ppm (6 min) $CO_{2,max}$: 7.710 ppm (4 min 10 s)	1 min 22 s	**Sp5:** $T_{2;2E}$= ca. 75°C (1 min 53 s) **Sp2, Sp3, Sp4:** keine Auslösung	ca. 4 bar in Sprühebene 8 ca. 225 l/min **Löscheinsatz: absichtlich verspätet** nach 2 min 47 s **gesamt:** 6 min: ca. 1350 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 3 min 22 s **maschinell** (10.000 m³/h im Normzustand) 9 min 59 s **Podest 2. Etage** σ=0,61 m^{-1} (4 min 50 s) **Podest 3. Etage** σ=0,7 m^{-1} (4 min)
Versuch HTR21 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen: * Halle>Brandraum: zu* ** Halle>Treppenraum: auf* ** Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** Sprührohre: Treppenauge und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 5 offenen Dralldüsen in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 31°C (50 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,8 Vol.% (3 min 30 s) CO_{max}: 170 ppm (6 min 20 s) $CO_{2,max}$: 1.860 ppm (3 min 30 s)	44 s	keine Auslösung	ca. 6 bar ca. 119 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 47 s **gesamt:** 8min 20s: ca. 992 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 58 s **Podest 2. Etage** σ=0,15 m^{-1} (5 min) **Podest 3. Etage** σ=0,04 m^{-1} (1 min 30 s)

zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche	**Maximale Temperatur** **Min. O_2-, max. CO- u. CO_2-Konzentration im Treppenraum**	**Brand-melder** Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	**Indikatorsprinkler** Auslösezeitpunkte u. -temperaturen **Sp2,Sp3,Sp4,Sp5:** Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 $(ms)^{½}$ (Vers.: BMBF H5: Glasfaß: 5 mm, 68°C RTI= ca. 100 $(ms)^{½}$)	**Löschanlage** -Betriebsbedingungen -Auslösezeitpunkt -Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes	**Rauch- und Wärmeabzug (RWA) im Treppenraum Maximaler Extinktionskoeffizient σ (m^{-1})**
Horizontale Sprührichtung					
Versuche mit festen Brandstoffen					
Versuch HTR22 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** Sprührohre: Treppenauge und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 5 offenen Dralldüsen in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 28°C (1 min) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,8 Vol.% (15 min 50 s) CO_{max}: 170 ppm (10 min 10 s) $CO_{2,max}$: 2.050 ppm (15 min 30 s)	48 s	keine Auslösung	ca. 4 bar ca. 103 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 50 s **gesamt:** 7min 10s: ca. 738 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 1 min 4 s **Podest 2. Etage** σ=0,48 m^{-1} (15 min 20 s) **Podest 3. Etage** σ=0,32 m^{-1} (15 min 40 s)
Versuch HTR3 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** Sprührohre: Treppenauge und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 4 offenen Dralldüsen (am Umfang, ohne Zentraldüse) in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 45°C (2 min) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,5 Vol.% (8 min 40 s) CO_{max}: 220 ppm (10 min 10 s) $CO_{2,max}$: 4.590 ppm (10 min 10 s)	2 min 5 s	keine Auslösung	ca. 4 bar ca. 82 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 2 min 5 s **gesamt:** 8 min 30 s: ca. 697 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 4 min 32 s **Podest 2. Etage** σ=0,33 m^{-1} (9 min 20 s) **Podest 3. Etage** σ=0,3 m^{-1} (12 min 40 s)
Versuch HTR4 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** Sprührohre: Treppenauge und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 44°C (2 min) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,5 Vol.% (8 min 20 s) CO_{max}: 170 ppm (7 min 50 s) $CO_{2,max}$: 4.000 ppm (7 min 30 s)	2 min	keine Auslösung	ca. 4 bar ca. 26 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 2 min 3 s **gesamt:** 10 min: ca. 260 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 2 min 21 s **maschinell** (10.000 m³/h im Normzustand) 14 min **Podest 2. Etage** σ=0,54 m^{-1} (11 min) **Podest 3. Etage** σ=0,41 m^{-1} (14 min)

zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche	**Maximale Temperatur** **Min. O_2-, max. CO- u. CO_2-Konzentration im Treppenraum**	**Brand-melder** Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	**Indikatorsprinkler** Auslösezeitpunkte u. -temperaturen **Sp2,Sp3,Sp4,Sp5:** Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 $(ms)^{½}$ (Vers.: BMBF H5: Glasfaß: 5 mm, 68°C RTI= ca. 100 $(ms)^{½}$)	**Löschanlage** -Betriebsbedingungen -Auslösezeitpunkt -Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes	**Rauch- und Wärmeabzug (RWA) im Treppenraum Maximaler Extinktionskoeffizient σ (m^{-1})**
Vertikale Sprührichtung					
Versuche mit festen Brandstoffen					
Versuch HTR5 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** 1 Wassernebelsprühkopf mit 5 offenen Dralldüsen zentral unter dem Podest der 3. Etage	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 32°C (50 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,4 Vol.% (4 min 26 s) CO_{max}: 320 ppm (14 min) $CO_{2,max}$: 5.180 ppm (3 min 50 s)	45 s	keine Auslösung	ca. 4 bar ca. 46 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 52 s **gesamt:** 13min 50s: ca. 636 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 1 min 25 s **maschinell** (10.000 m³/h im Normzustand) 17 min **Podest 2. Etage** σ=0,78 m^{-1} (16 min 50 s) **Podest 3. Etage** σ=0,73 m^{-1} (18 min)
Versuch HTR6 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** 1 Wassernebelsprühkopf mit 4 offenen Dralldüsen (am Umfang, ohne Zentraldüse) zentral unter dem Podest der 3. Etage	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 48°C (1 min 40 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,5 Vol.% (6 min 40 s) CO_{max}: 269 ppm (6 min) $CO_{2,max}$: 5.270 ppm (6 min 40 s)	1 min 29 s	keine Auslösung	ca. 4 bar ca. 37 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 1 min 35 s **gesamt:** 19min 10s: ca. 709 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 1 min 54 s **Podest 2. Etage** σ=0,62 m^{-1} (13 min 40 s) **Podest 3. Etage** σ=0,48 m^{-1} (14 min 50 s)
Versuch HTR7 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt , 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** 1 Wassernebelsprühkopf mit 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) zentral unter dem Podest der 3. Etage	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 50°C (5 min) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,3 Vol.% (6 min 10 s) CO_{max}: 170 ppm (8 min) $CO_{2,max}$: 5.570 ppm (6 min)	2 min 17 s	keine Auslösung	ca. 4 bar ca.13 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 2 min 23 s **gesamt:** 25min 7s: ca. 327 l	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 2 min 39 s **maschinell** (10.000 m³/h im Normzustand) 28 min 23 s **Podest 2. Etage** σ=0,87 m^{-1} (19 min 30 s) **Podest 3. Etage** Meßgerät defekt

zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche	**Maximale Temperatur** **Min. O_2-, max. CO- u. CO_2-Konzentration im Treppenraum**	**Brand-melder** Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	**Indikatorsprinkler** Auslösezeitpunkte u. -temperaturen **Sp2,Sp3,Sp4,Sp5:** Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 $(ms)^{½}$ (Vers.: BMBF H5: Glasfaß: 5 mm, 68°C RTI= ca. 100 $(ms)^{½}$)	**Löschanlage** -Betriebsbedingungen -Auslösezeitpunkt -Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes	**Rauch- und Wärmeabzug (RWA) im Treppenraum Maximaler Extinktionskoeffizient** σ (m^{-1})
Versuch mit und flüssigem Brandstoff					
Vertikale Sprührichtung					
Versuch HTRÖl1 **Brand im Treppenraum** **(Podest 1. Etage, am Geländer)** **Brandlast:** 1 Bratpfanne (ø = 28 cm) mit 1 Liter auf Flammpunkttemperatur (ca. 370°C) vorgeheiztem Pflanzenöl (Sonnenblumenöl) auf 3 Pastenbrennern, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) *Türen:* * *Halle>Brandraum: zu* * *Halle>Treppenraum: auf* * *Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)* **Wassernebellöschanlage im Treppenraum:** 1 Wassernebelsprühkopf mit 5 offenen Dralldüsen zentral unter dem Podest der 3. Etage	unter Podest d. 3.Etage (Sp5): $T_{2;2E}$= 39°C (1 min 50 s) Mitte 3. Etage: $O_{2,min}$: 20,2 Vol.% (3 min 30 s) CO_{max}: <100 ppm $CO_{2,max}$: 6.740 ppm (3 min 50 s)	**1 min 3 s**	**keine Auslösung**	ca. 4 bar ca. 45 l/min **Löscheinsatz: nach Brandmelder Tr** 1 min 7 s Ölbrand gelöscht: 1 min 41 s ca. 76 l **gesamt:** 3min 30s: ca. 158 l (Pastenbrenner wurden nicht gelöscht)	**natürlich** (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe nach Löschbeginn) Öffnung (s. Diagramm): 3 min 43 s **Podest 2. Etage** Meßgerät defekt **Podest 3. Etage** σ=0,58 m^{-1} (3 min 10 s)

8. BILDER

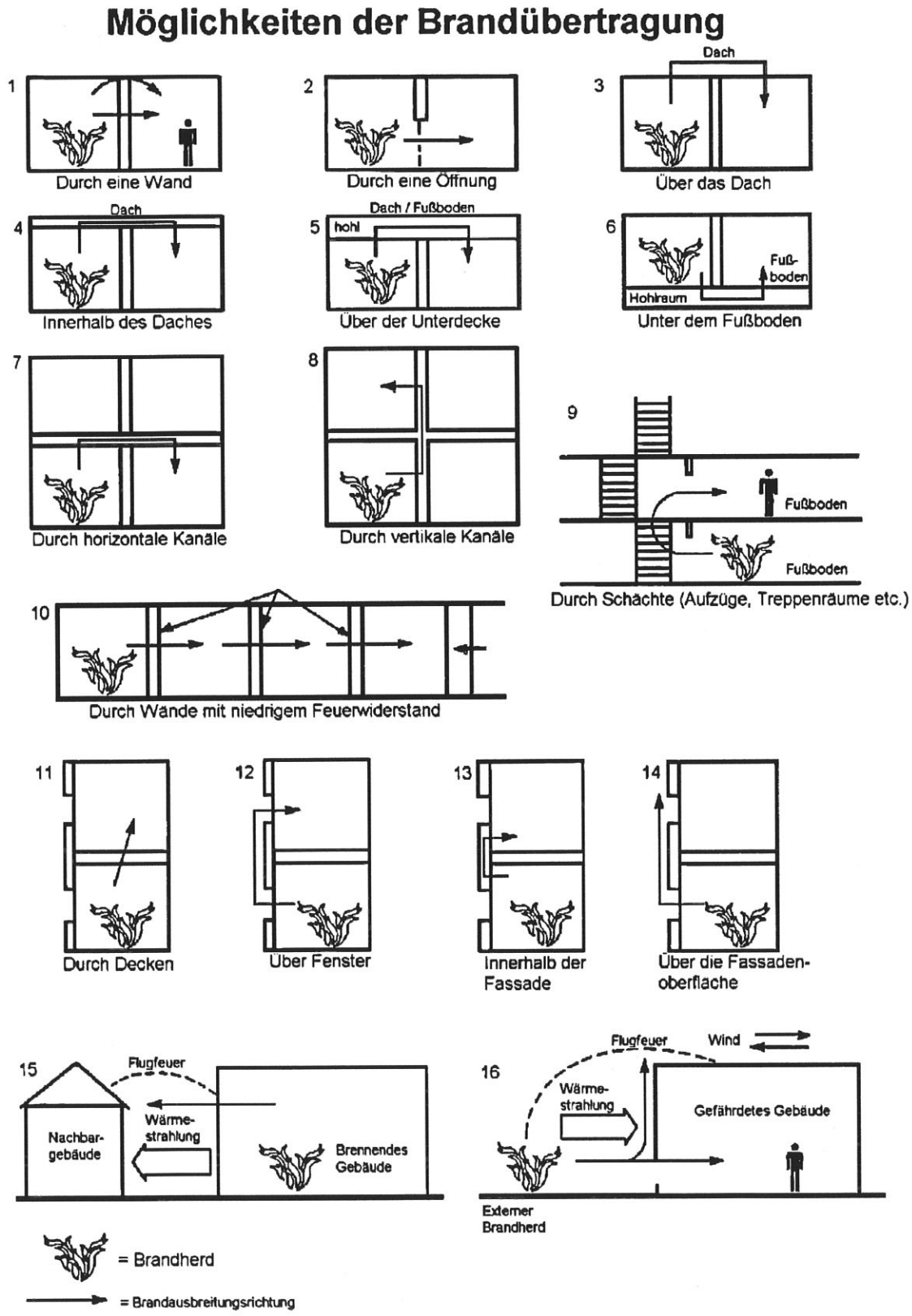


Bild 1: Möglichkeiten der Brandübertragung innerhalb und zwischen Gebäuden.



Bild 2: Vollbrand in einem Wohnzimmer mit Löscheinsatz der Feuerwehr nach dem Flashover in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutz technik.

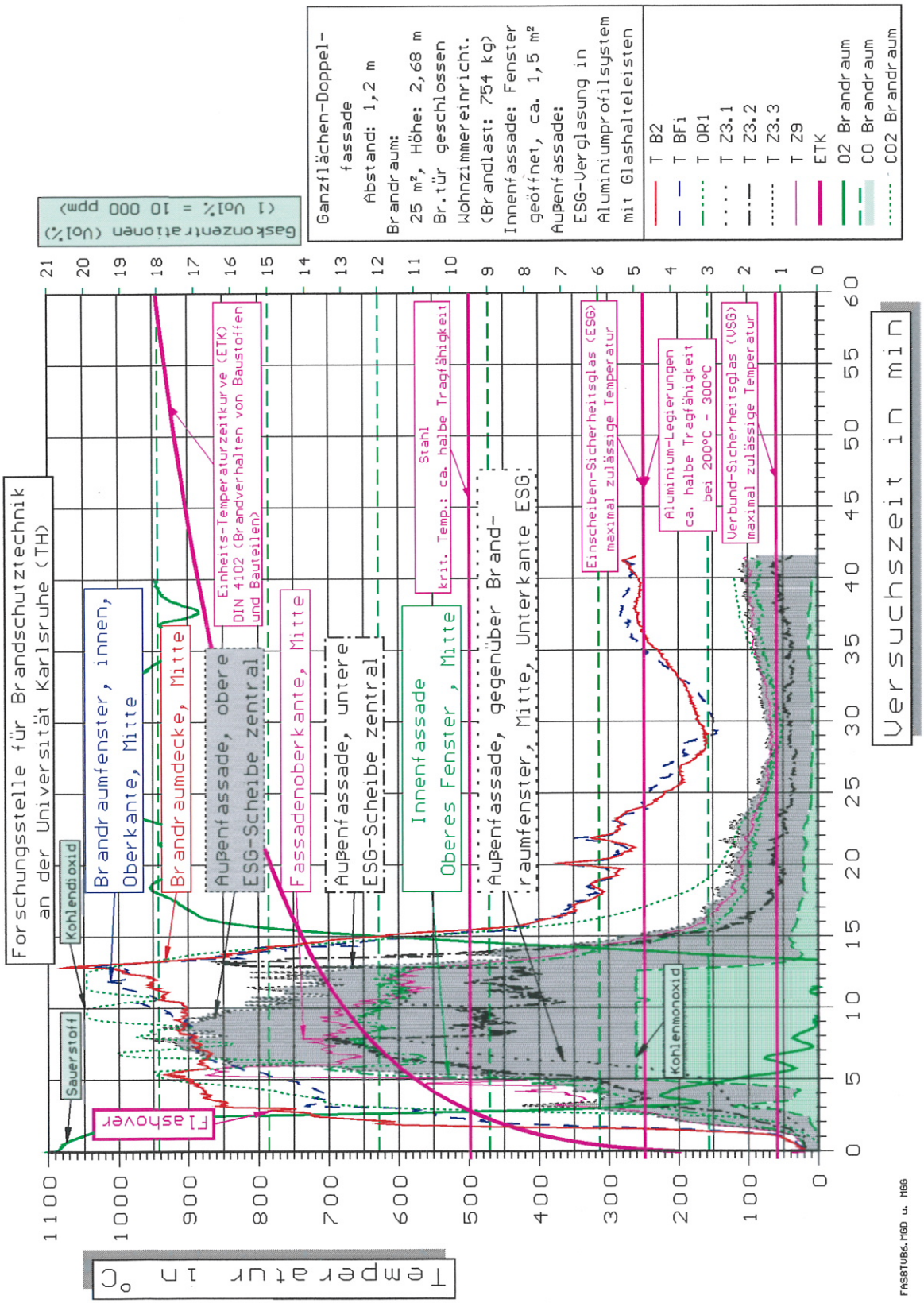
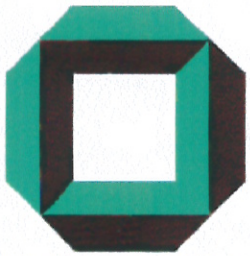


Bild 3: Brand in einem Wohnzimmer - Ausgewählte Temperaturverläufe und Brandgaskonzentrationen (Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid).



Forschungsstelle für Brandschutztechnik

an der Universität Karlsruhe (TH)



Gefährdungen durch Brandgase und Sauerstoffmangel bei Bränden

Sauerstoff:	< 12 Vol%: Sauerstoffmangelkrankheit, 3 Vol%: baldiger Erstickungstod
Kohlendioxid:	MAK-Wert: 5000 ppm
	Kurzzeiteinwirkung von 30.000 ppm: 300%ige Erhöhung der Atmung
	120.000 - 150.000 ppm: nach wenigen Minuten bewußtlos
Kohlenmonoxid:	MAK-Wert: 30 ppm
	800 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 45 Minuten
	1.600 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 20 Minuten
	3.200 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 5 - 10 Minuten, Bewußtlosigkeit und Tod nach 20 Minuten
	6.400 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 2 - 3 Min. , Tod nach 10 - 15 Min.
	12.000 ppm: Tod nach 5 Minuten

Beispiel: Wohnzimmerbrand an der FFB

Sauerstoff:	12 Vol% nach 2 min 40 s unterschritten, 3 Vol% nach 4 min 42 s unterschritten
Kohlendioxid:	120.000 ppm nach 3 min überschritten (Meßwert: max. ca. 200.000 ppm)
Kohlenmonoxid:	1.600 ppm nach 1 min 40 s, 3.200 ppm nach 2 min 25 s überschritten, 12.000 ppm nach 2 min 54 s überschritten (Meßwert: über 50.000 ppm)

Die Gefahren durch die Brandgasbestandteile Ruß, aromatische Kohlenwasserstoffe und sonstige Pyrolyseprodukte sind 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.

Bild 4: Gefährdung durch Brandgase und Sauerstoffmangel bei Bränden.

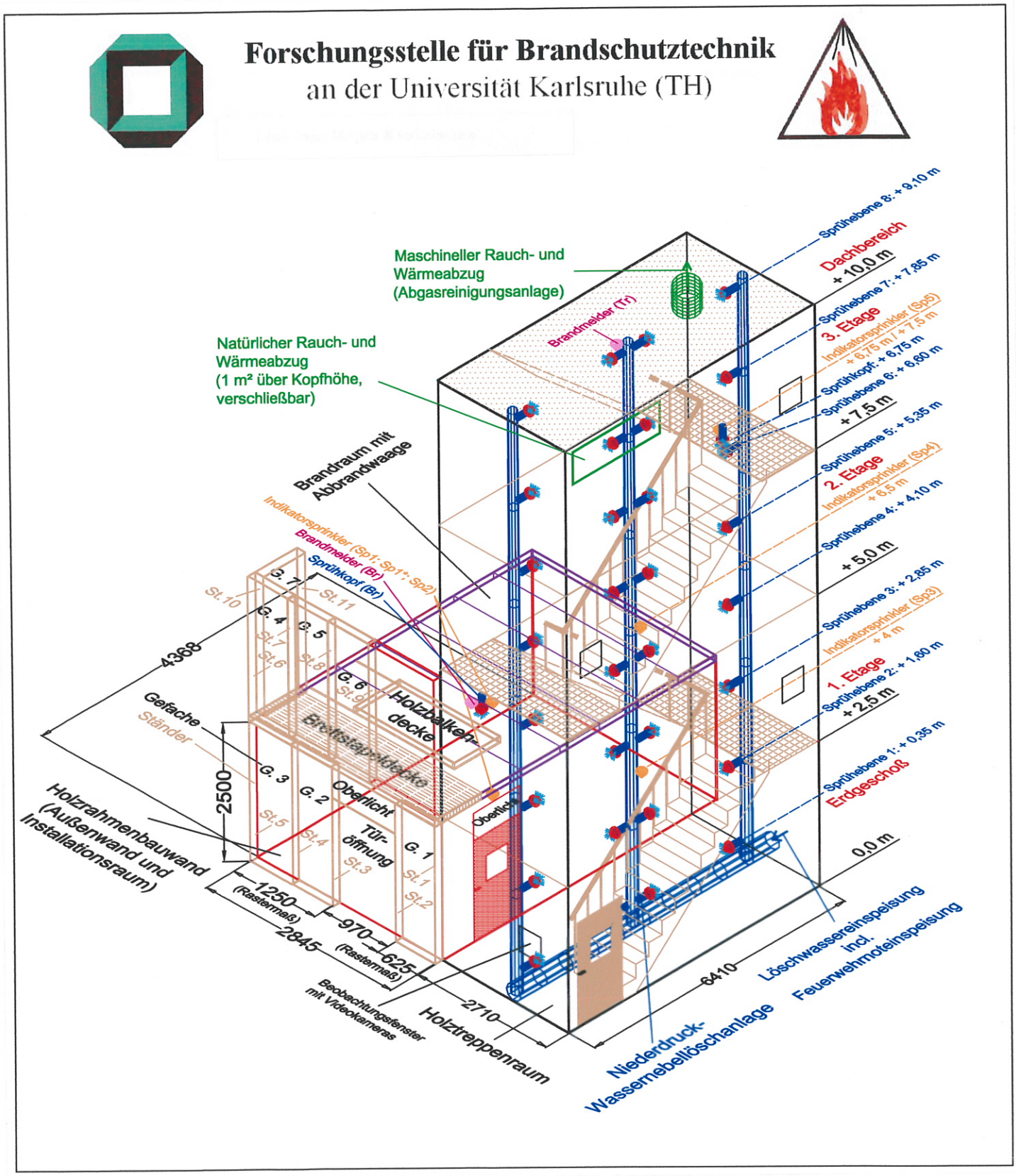


Bild 5: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Versuchsaufbau (Konstruktionszeichnung)

Bild 6.1: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Gesamtansicht und Brandraum

Bild 6.2: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Brandraum - Wand- und Deckenkonstruktionen

Bild 6.3: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Treppenraum

Bild 6.4: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1.Etage

Bild 6.5: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meß- und Videotechnik

Bild 6.6: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meßtechnik

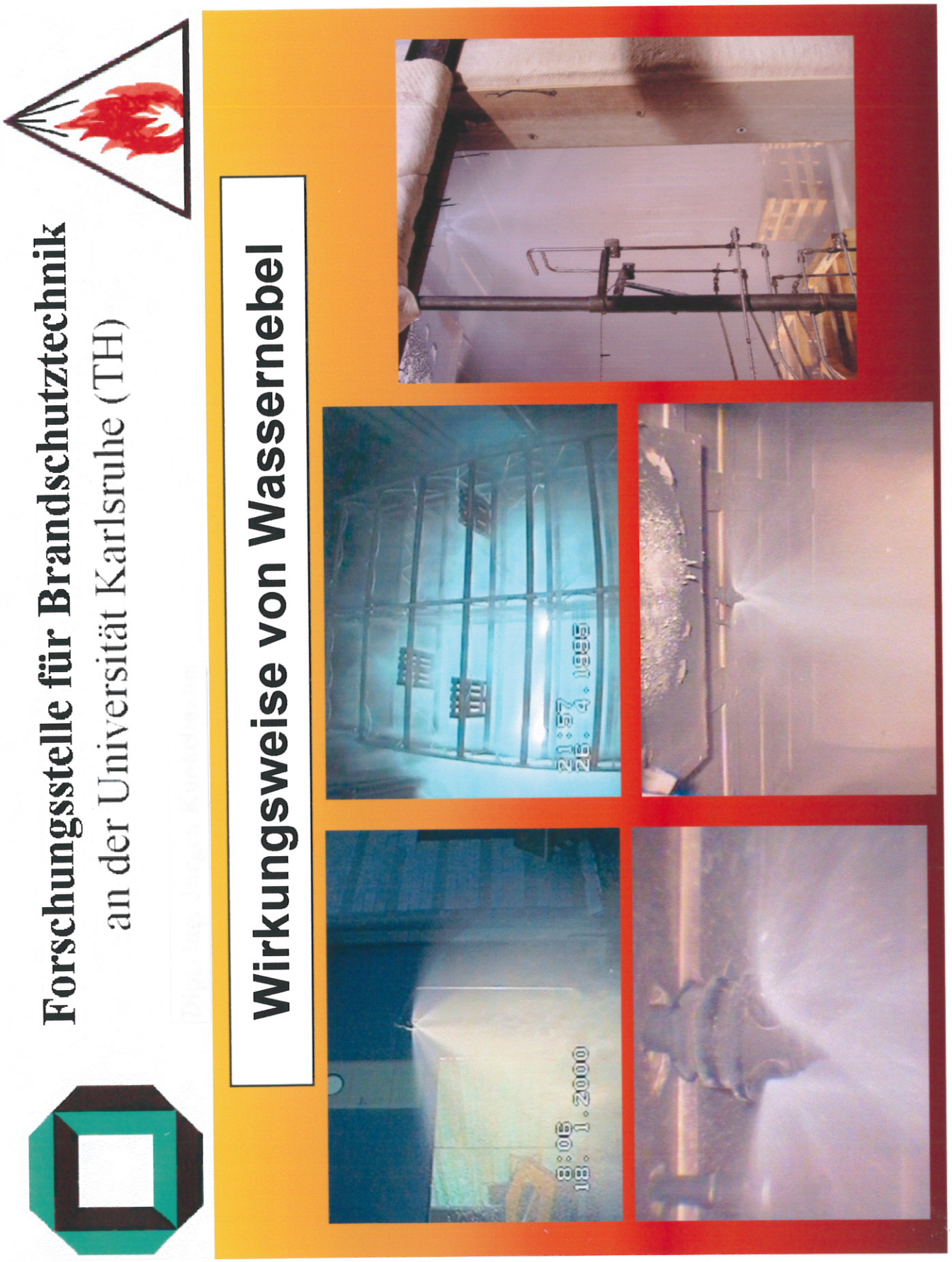


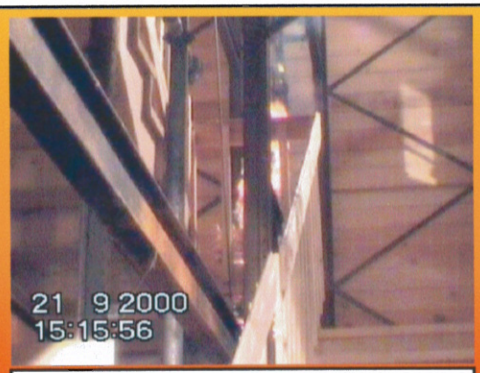
Bild 7: Wirkungsweise von Niederdruck-Wassernebel - Sprühbilder von Düsen bzw. Sprühköpfen - Kaltversuche: Einzelsprühköpfe (Foto: links oben, links unten, unten Mitte und rechts) sowie mehrere Sprühköpfe in Sprührohren über mehrere Etagen (Foto: oben Mitte).

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch BMBF H5 - Versuchsablauf



58 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



58 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



58 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



58 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



1 min 4 s Löschbeginn
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest



1 min 4 s Löschbeginn
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest

Bild 8.1: Versuch BMBF H5 - Versuchsablauf

Bild 8.2: Versuch BMBF H5 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch BMBF H5 - Versuchsablauf



1 min 11 s Löschz.: 7 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



1 min 23 s Löschz.: 1 min 19 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



6 min 50 s Löschz.: 5 min 46 s
maximale Verrauchung
3. Podest



7 min 10 s Löschz.: 6 min 6 s
maximale Verrauchung
2. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch H5: Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch



Mittleres Sprührohr über sämtliche Etagen



Zündkrippe angebrannt und umgefallen, keine Beschädigung des Geländers und des Podestes durch Brandeinwirkung

Bild 8.3: Versuch BMBF H5 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

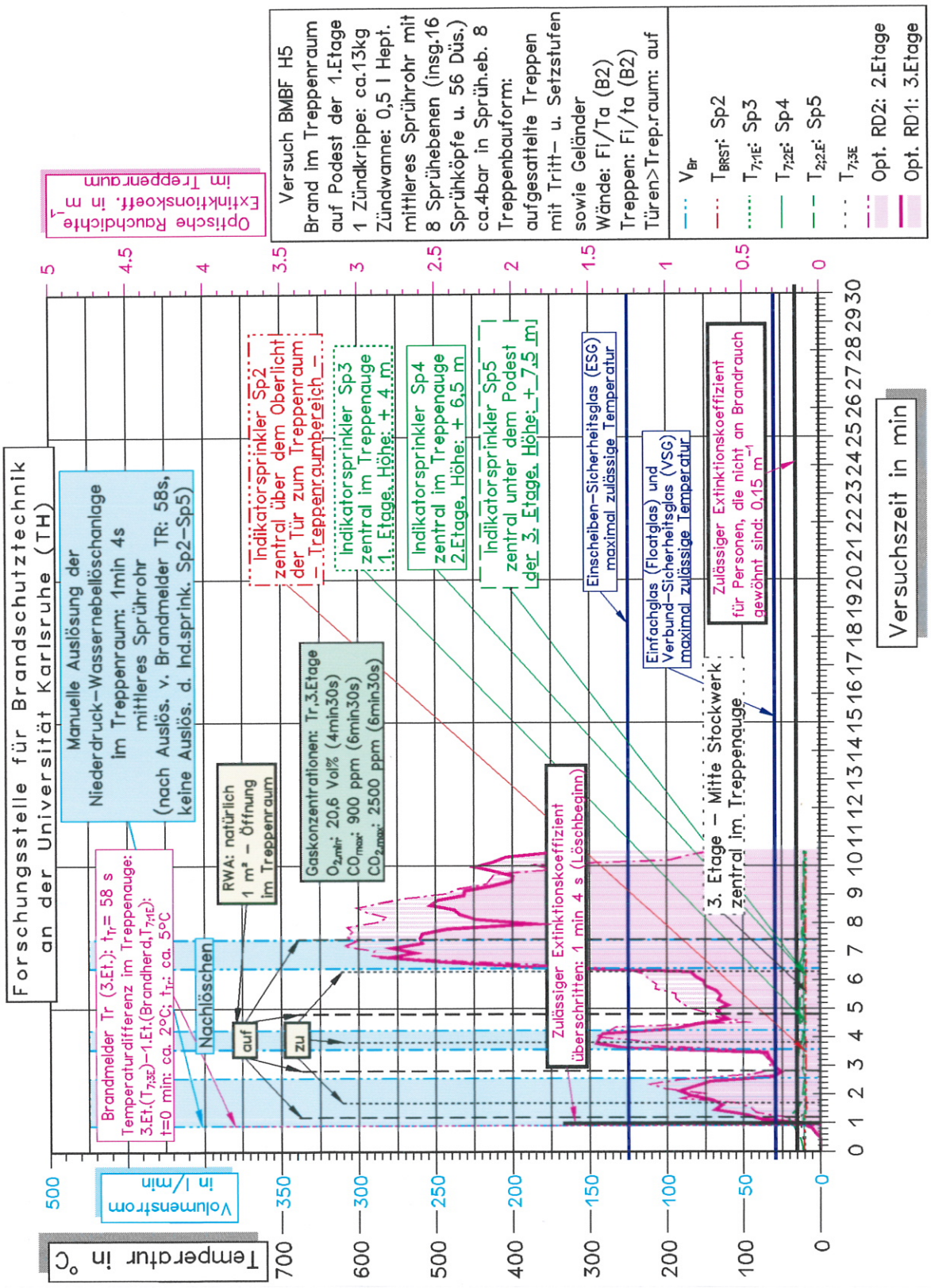


Bild 8.4: Versuch BMBF H5 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 9.1: Versuch HTR1 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR1 - Versuchsablauf



1 min 22 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



1 min 22 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



1 min 22 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



1 min 22 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



1 min 53 s
Ind.sprinkler SP5 (3mm, 68°C)
1. Podest



1 min 53 s
Ind.sprinkler SP5 (3mm, 68°C)
2. Podest

Bild 9.2: Versuch HTR1 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR1 - Versuchsablauf



1 min 53 s
Ind.sprinkler SP5 (3mm, 68°C)
3. Podest



2 min
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest



2 min 15 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



2 min 47 s Löschbeginn
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



2 min 47 s
Löschbeginn
2. Podest



2 min 47 s
Löschbeginn
3. Podest

Bild 9.3: Versuch HTR1 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR1 - Versuchsablauf



3 min 6 s Löschz.: 19 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



4 min Löschz.: 1 min 13 s
maximale Verrauchung
3. Podest



4 min 21 s Löschz.: 1 min 34 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



4 min 50 s Löschz.: 2 min 3 s
maximale Verrauchung
2. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR1: Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch



Rechtes Sprührohr über sämtliche Etagen











Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1, 1.2) u. Rückseite (1.3) des Geländers, auf dem Podestboden unter der Brandlast (Foto 1.4) sowie an der Brandlast selbst (Foto 1.1, 1.2, 1.5)

Bild 9.4: Versuch HTR1 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

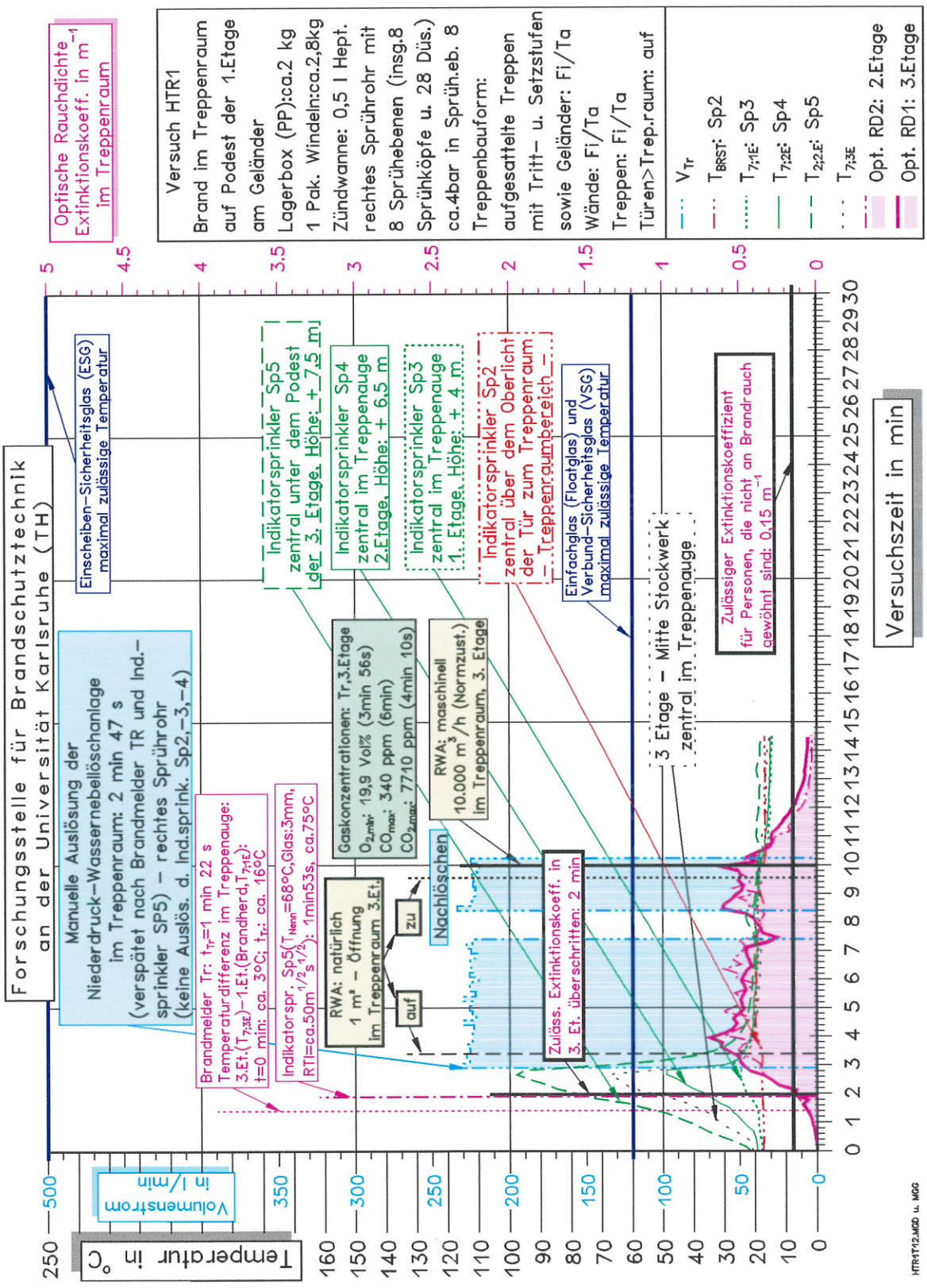


Bild 9.5: Versuch HTR1 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 10.1: Versuch HTR21 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR21 - Versuchsablauf



44 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



44s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



44 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



44 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



1 min 19 s Löschz.: 32 s
maximale Flammenhöhe
1. Podest



1 min 30 s Löschz.: 43 s
maximale Verrauchung
3. Podest

Bild 10.2: Versuch HTR21 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR21 - Versuchsablauf



1 min 48 s Löschz.: 1 min 1 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



5 min Löschz.: 4 min 13 s
maximale Verrauchung
2. Podest



5 min 4 s Löschz.: 4 min 17 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR21: Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch

1.1



1.2



1.3



2 horizontale Sprühköpfe mit 5 Düsen, Höhe: +4,1 m, rechter Sprühkopf im mittleren Sprührohr (Treppenauge, Foto 1.1) u. Sprühkopf im rechten Sprührohr (Foto 1.2 u. 1.3)

1.4



1.4



1.5



Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.4) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.5) sowie an der Lagerbox (Foto 1.6)

Bild 10.3: Versuch HTR21 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

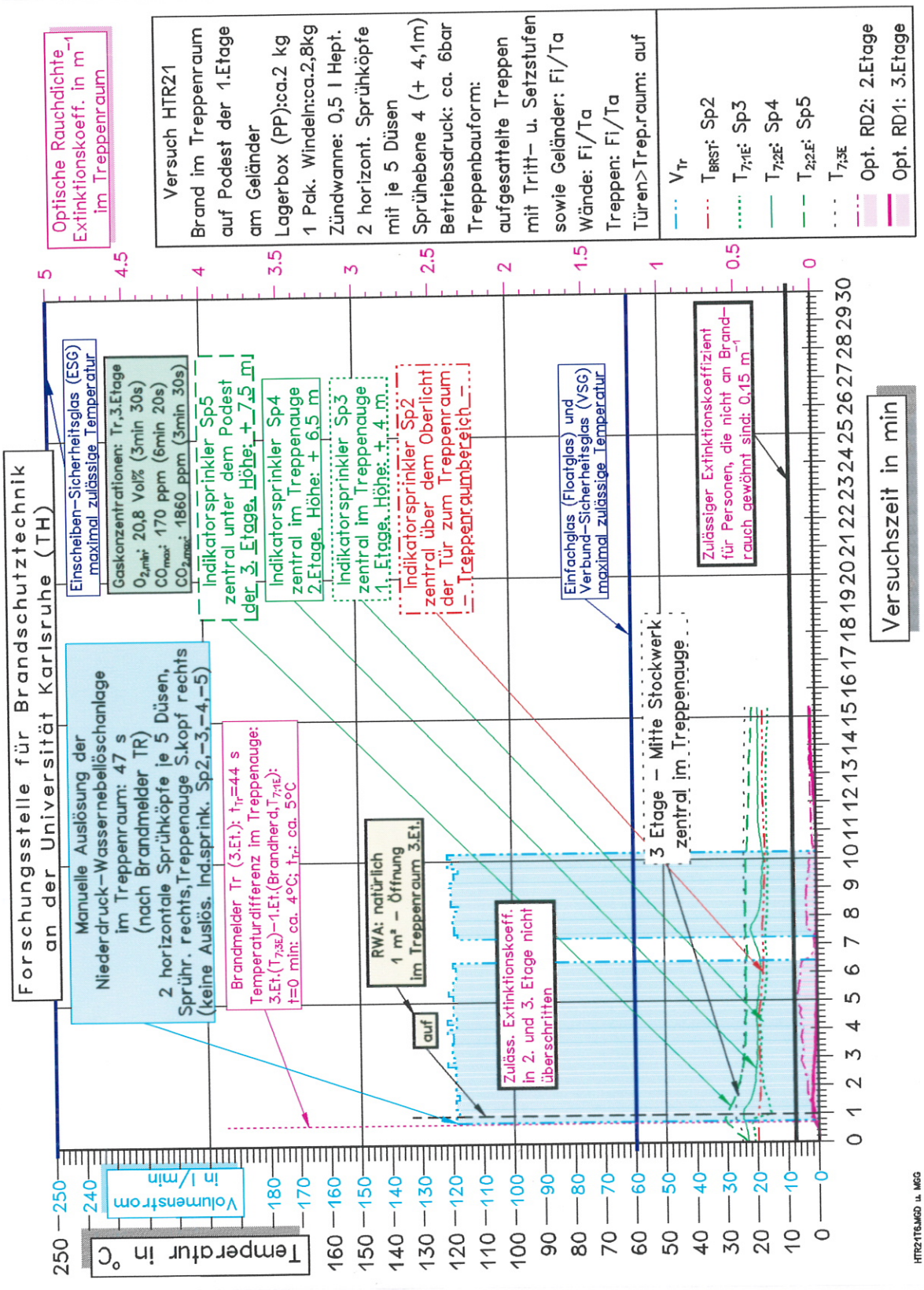


Bild 10.4: Versuch HTR21 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR22 - Versuchsablauf



48 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



48 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



48 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



48 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



1 min 15 s Löschz.: 25 s
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



1 min 29 s Löschz.: 39 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest

Bild 11.1: Versuch HTR22 - Versuchsablauf

Bild 11.2: Versuch HTR22 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR22 - Versuchsablauf



3 min 16 s Löschz.: 2 min 26 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



4 min 50 s Löschz.: 4 min
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest



11 min 45 s (Löschanlage aus)
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



15 min 20 s (Löschanlage aus)
maximale Verrauchung
2. Podest



15 min 40 s (Löschanlage aus)
maximale Verrauchung
3. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR22: Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch

1.1



1.2



1.3



2 horizontale Sprühköpfe mit 5 Düsen, Höhe: +4,1 m, rechter Sprühkopf im mittleren Sprührohr (Treppenauge, Foto 1.1) u. Sprühkopf im rechten Sprührohr (Foto 1.2 u. 1.3)

1.4



1.5



Brandschäden an der Vorderseite des Geländers (Foto 1.4) und an der Lagerbox (Foto 1.5)

Bild 11.3: Versuch HTR22 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

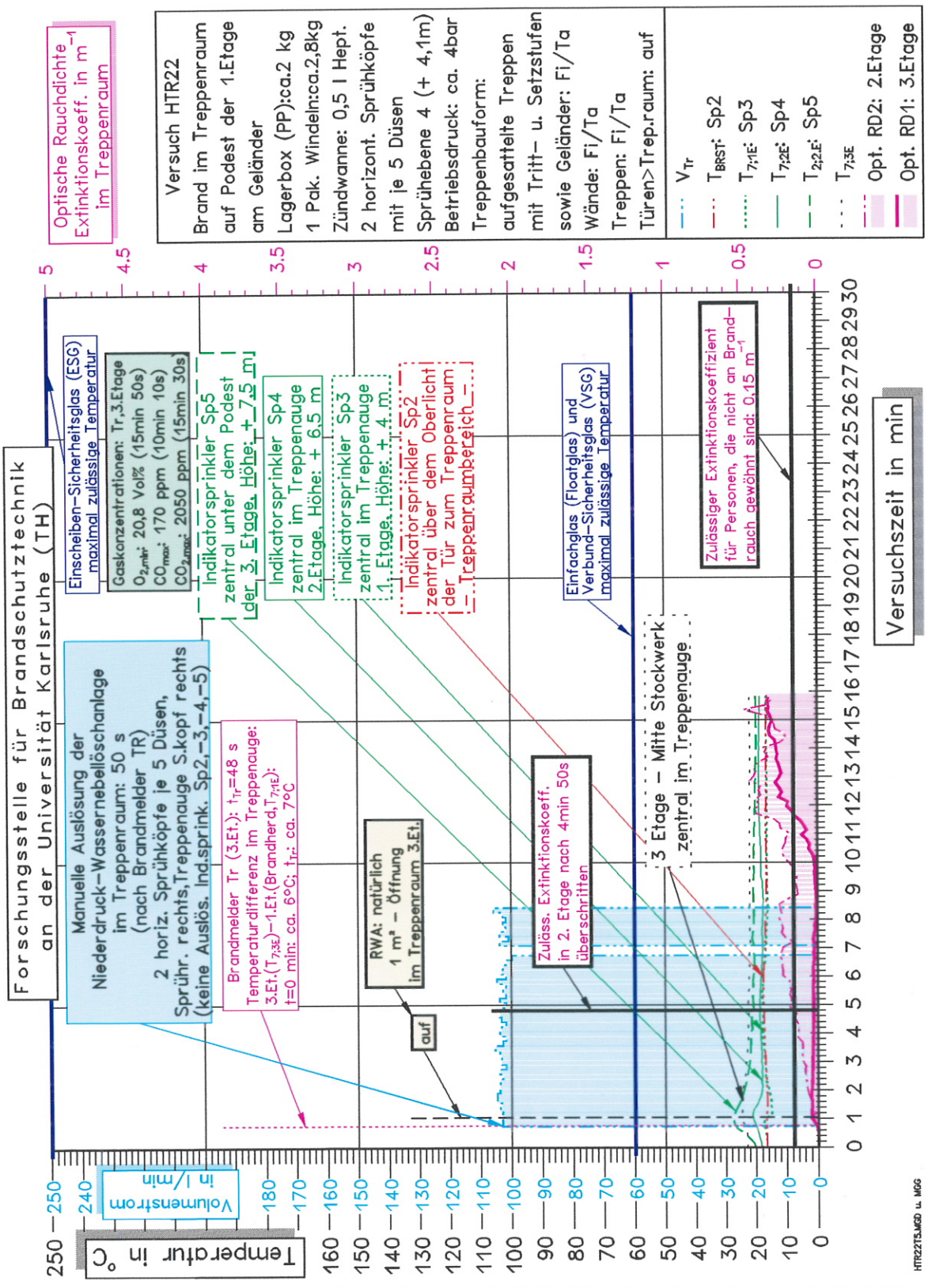


Bild 11.4: Versuch HTR22 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

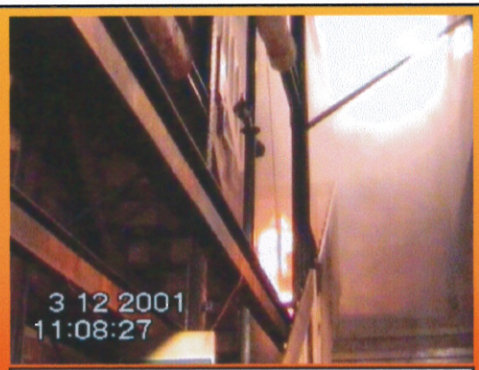
Bild 12.1: Versuch HTR3 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR3 - Versuchsablauf



2 min 5 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



2 min 5 s Löschbeginn
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



2 min 5 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



2 min 5 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



2 min 19 s Löschz.: 14 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



5 min 30 s Löschz.: 3 min 25 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest

Bild 12.2: Versuch HTR3 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR3 - Versuchsablauf



6 min 40 s Löschz.: 4 min 35 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



8 min 19 s Löschz.: 6 min 14 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



9 min 20 s Löschz.: 7 min 15 s
maximale Verrauchung
2. Podest



12 min 40 s nach Löschvorgang
maximale Verrauchung
3. Podest

Bild 12.3: Versuch HTR3 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

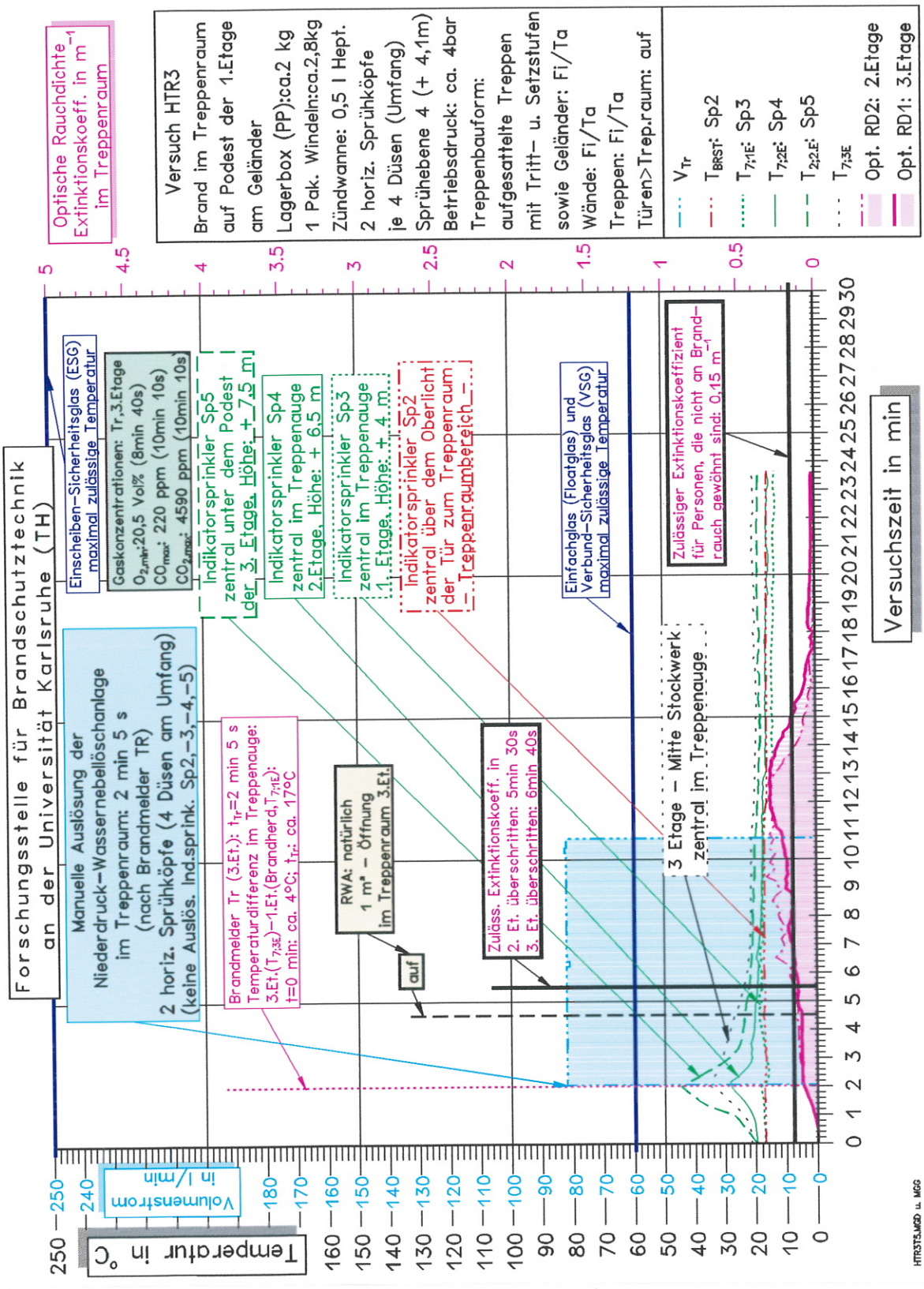


Bild 12.4: Versuch HTR3 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 13.1: Versuch HTR4 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR4 - Versuchsablauf



2 min
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



2 min
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



2 min
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



2 min
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



4 min 5 s Löschz.: 2 min 2 s
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



4 min 20 s Löschz.: 2 min 17 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest

Bild 13.2: Versuch HTR4 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR4 - Versuchsablauf



5 min Löschz.: 2 min 57 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



7 min 34 s Löschz.: 5 min 31 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



10 min 19 s Löschz.: 8 min 16 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



11 min Löschz.: 8 min 57 s
maximale Verrauchung
2. Podest



14 min Löschz.: 11 min 57 s
maximale Verrauchung
3. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR4: Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch









2 horizontale Sprühköpfe mit 1 Zentraldüse, Höhe: +4,1 m, (rechter Sprühkopf im Treppenauge (Foto 1.1) u. Sprühkopf im rechten Sprührohr (Foto 1.2) - Sprühversuch ohne Brand (Foto 1.3 u. 1.4))







Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.5) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.6) sowie an der Brandlast mit entleerter Lagerbox (Foto 1.5 u. 1.7)

Bild 13.3: Versuch HTR4 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

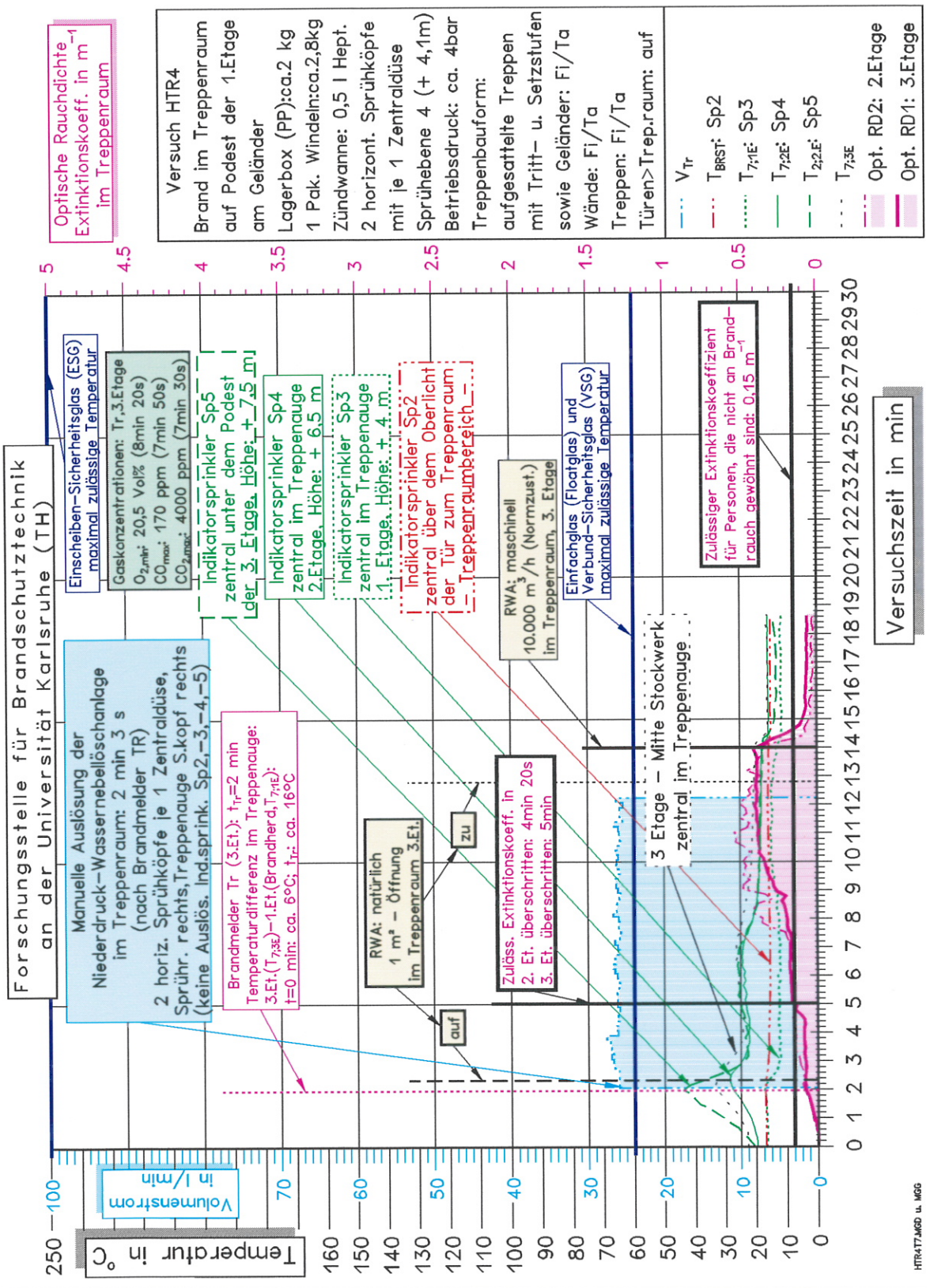


Bild 13.4: Versuch HTR4 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 14.1: Versuch HTR5 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR5 - Versuchsablauf



45 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



45 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



45 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



45 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



1 min 26 s Löschz.: 34 s
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



3 min 50 s Löschz.: 2 min 58 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest

Bild 14.2: Versuch HTR5 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR5 - Versuchsablauf



3 min 50 s Löschz.: 2 min 58 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



4 min 30 s Löschz.: 3 min 38 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



11 min 10 s Löschz.: 10 min 18 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



16 min 50 s (Löschanlage aus)
maximale Verrauchung
2. Podest



18 min (Löschanlage aus)
maximale Verrauchung
3. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR5: Brandlast, Wassernebelsprühkopf und Brandschäden

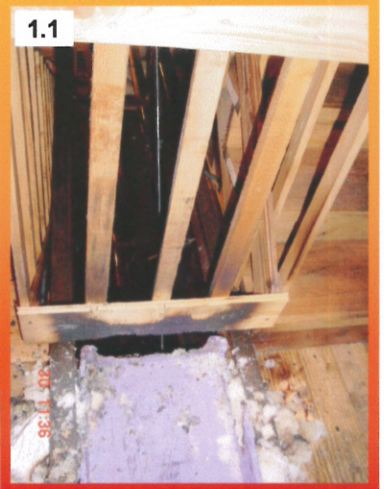


Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch



Vertikaler Sprühkopf mit 5 Düsen und Indikatorsprinkler unter Podest 3





Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.2), sowie an der Brandlast

Bild 14.3: Versuch HTR5 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

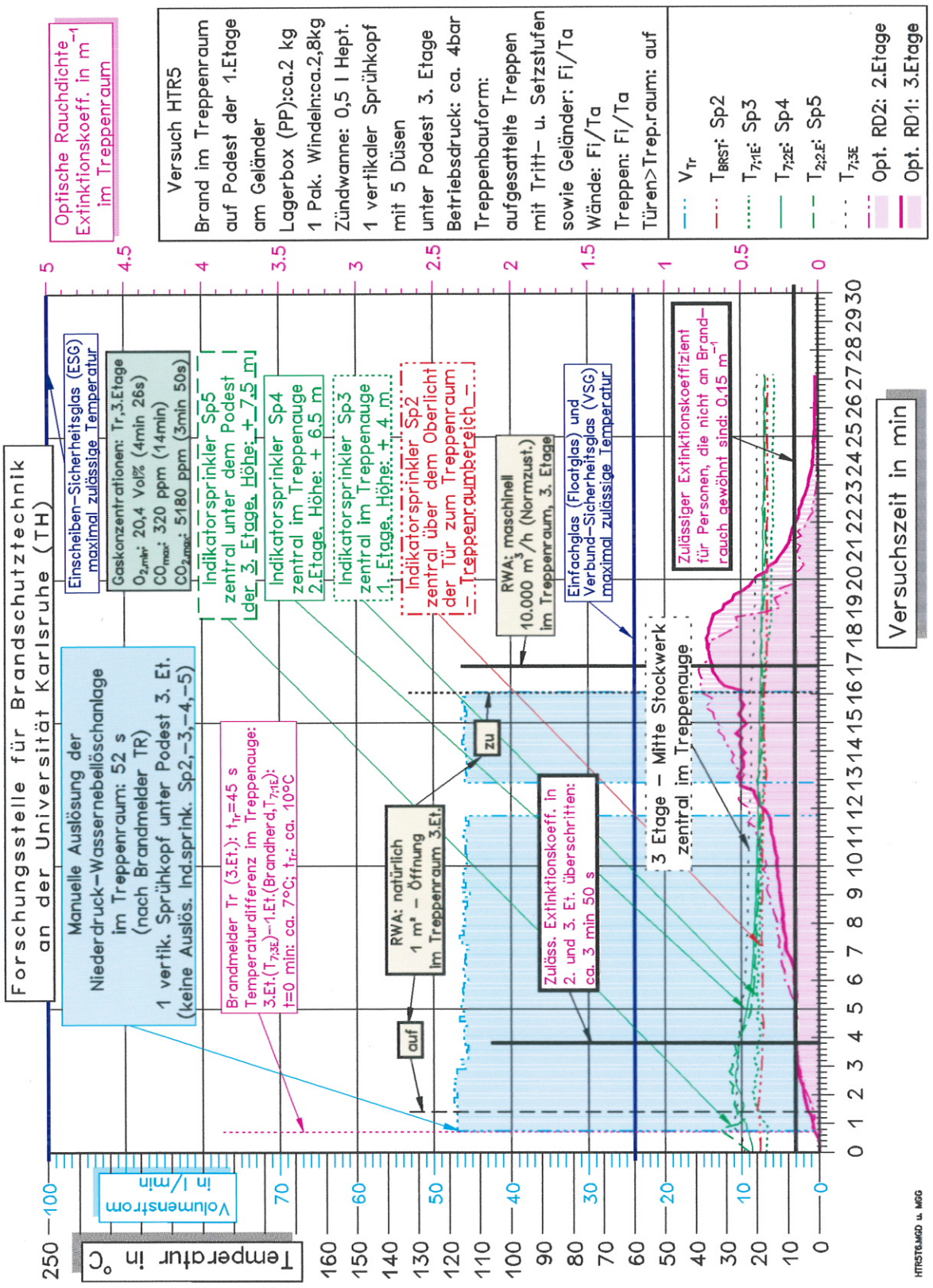


Bild 14.4: Versuch HTR5 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

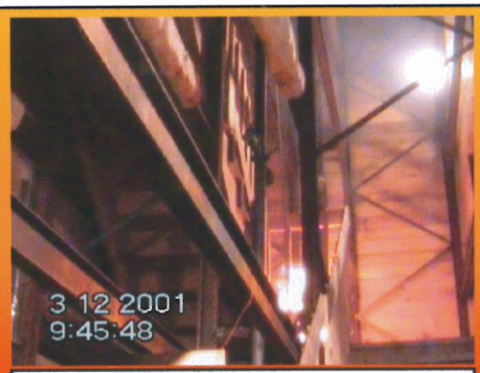
Bild 15.1: Versuch HTR6 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR6 - Versuchsablauf



1 min 29 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



1 min 29 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



1 min 29 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



1 min 29 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



2 min 40 s Löschz.: 1 min 5 s
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



3 min Löschz.: 1 min 25 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest

Bild 15.2: Versuch HTR6 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR6 - Versuchsablauf



3 min 10 s Löschz.: 1 min 35 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
3. Podest



6 min 38 s Löschz.: 5 min 3 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



9 min 27 s Löschz.: 7 min 52 s
Erdgeschoß verraucht
Erdgeschoß u. 1. Podest



13 min 40 s Löschz.: 12 min 5 s
maximale Verrauchung
2. Podest



14 min 50 s Löschz.: 13 min 15 s
maximale Verrauchung
3. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR6: Brandlast, Wassernebelsprühkopf und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch



Vertikaler Sprühkopf mit 4 Düsen und Indikatorsprinkler unter Podest 3





Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.2) sowie an der Brandlast

Bild 15.3: Versuch HTR6 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

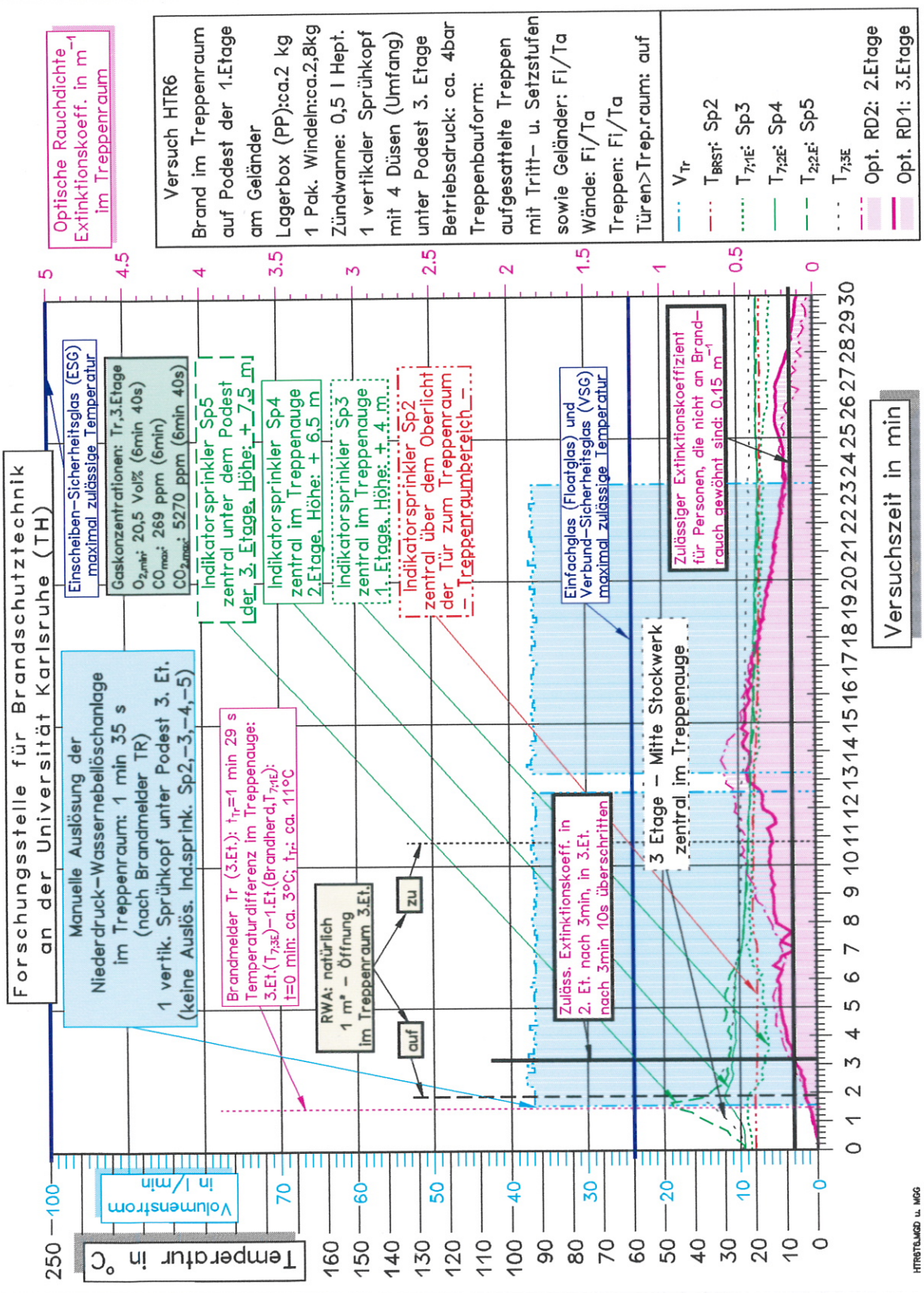


Bild 15.4: Versuch HTR6 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 16.1: Versuch HTR7 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR7 - Versuchsablauf



2 min 17 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
1. Podest



2 min 17 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
Erdgeschoß u. 1. Podest



2 min 17 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
2. Podest



2 min 17 s
Brandmelder Tr (3. Etage)
3. Podest



4 min 20 s Löschz.: 1 min 57 s
Maximale Flammenhöhe
1. Podest



4 min 20 s Löschz.: 1 min 57 s
Extinktionskoeffizient = 0,15m^{-1}
2. Podest

Bild 16.2: Versuch HTR7 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR7 - Versuchsablauf



13 min 26 s Löschz.: 11 min 3 s
Maximale Verrauchung
3. Podest



16 min 24 s Löschz.: 14 min 1 s
Podest vollständig verraucht
1. Podest



19 min 30 s Löschz.: 17 min 7 s
Maximale Verrauchung
2. Podest

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTR7: Brandlast, Wassernebelsprühkopf und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast vor dem Versuch



Vertikaler Sprühkopf mit 1 Zentraldüse und Indikatorsprinkler unter Podest 3 - Sprühversuch ohne Brand







Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.2), auf dem Podestboden unter der Brandlast (Foto 1.3) sowie an der Brandlast selbst (Foto 1.1)

Bild 16.3: Versuch HTR7 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

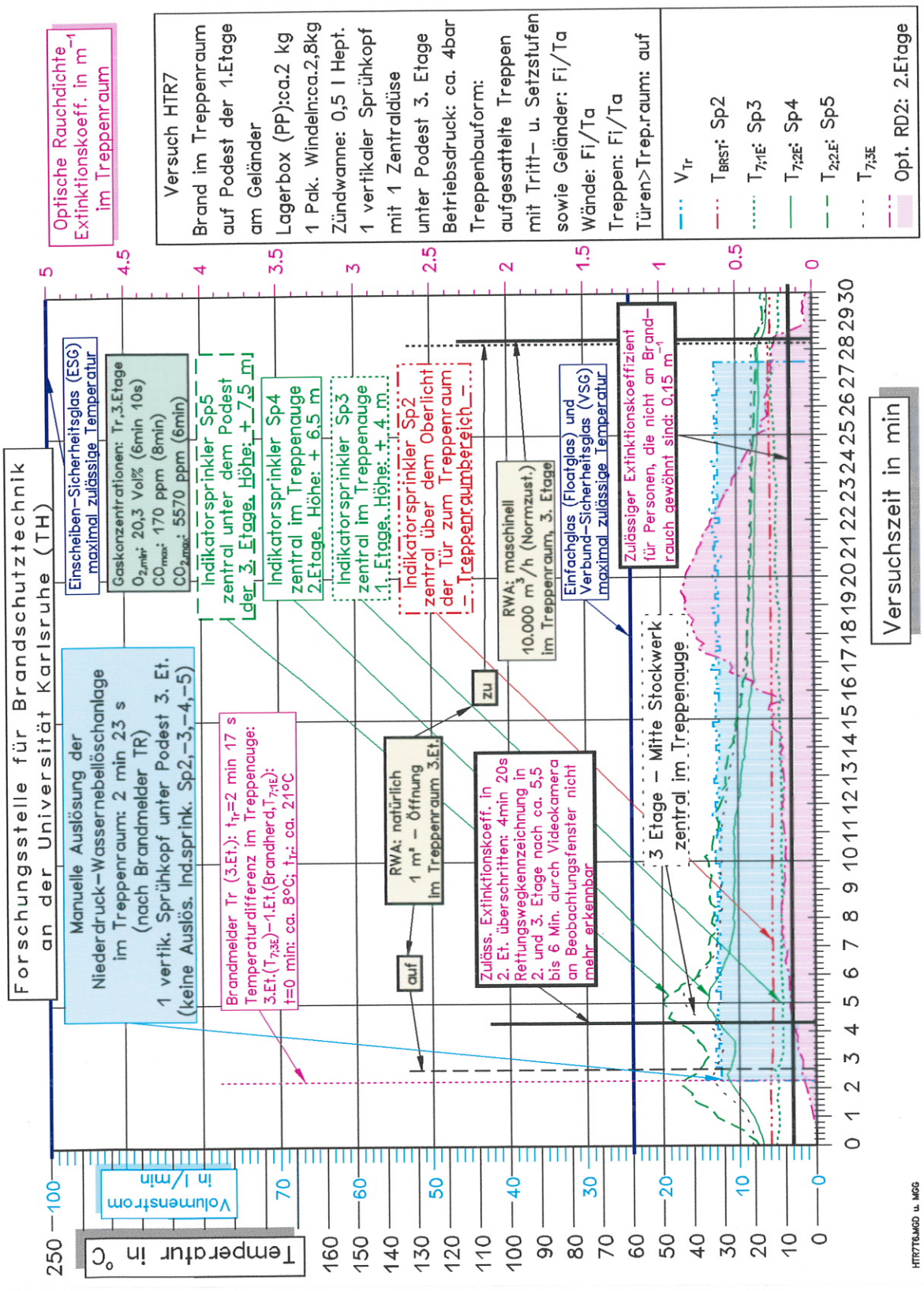


Bild 16.4: Versuch HTR7 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

Bild 17.1: Versuch HTRÖl1 - Versuchsablauf

Bild 17.2: Versuch HTRÖl1 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTRÖl1: Ablöschen einer brennenden Bratpfanne (Pflanzenöl) mit Niederdruck-Wassernebel



2 min 38 s
Löschzeit: 1 min 31 s



2 min 48 s
Löschzeit: 1 min 41 s
Pflanzenölbrand gelöscht

Bild 17.3: Versuch HTRÖl1 - Versuchsablauf

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Versuch HTRÖl1: Brandlast, Wassernebelsprühkopf und Brandschäden





Treppenraum (Podest 1. Etage) mit Brandlast (Bratpfanne mit 1 l auf Flammpunkttemperatur vorheiztem Pflanzenöl auf 3 Pastenbrennern)



Vertikaler Sprühkopf mit 5 Düsen und Indikatorsprinkler unter Podest 3





Keine Brandschäden am Geländer (Foto 1.1), restliche (nicht verbrannte) Planzenölmenge: ca. 0,25 l (Foto 1.2)

Bild 17.4: Versuch HTRÖl1 - Brandlast, Wassernebelsprühköpfe und Brandschäden

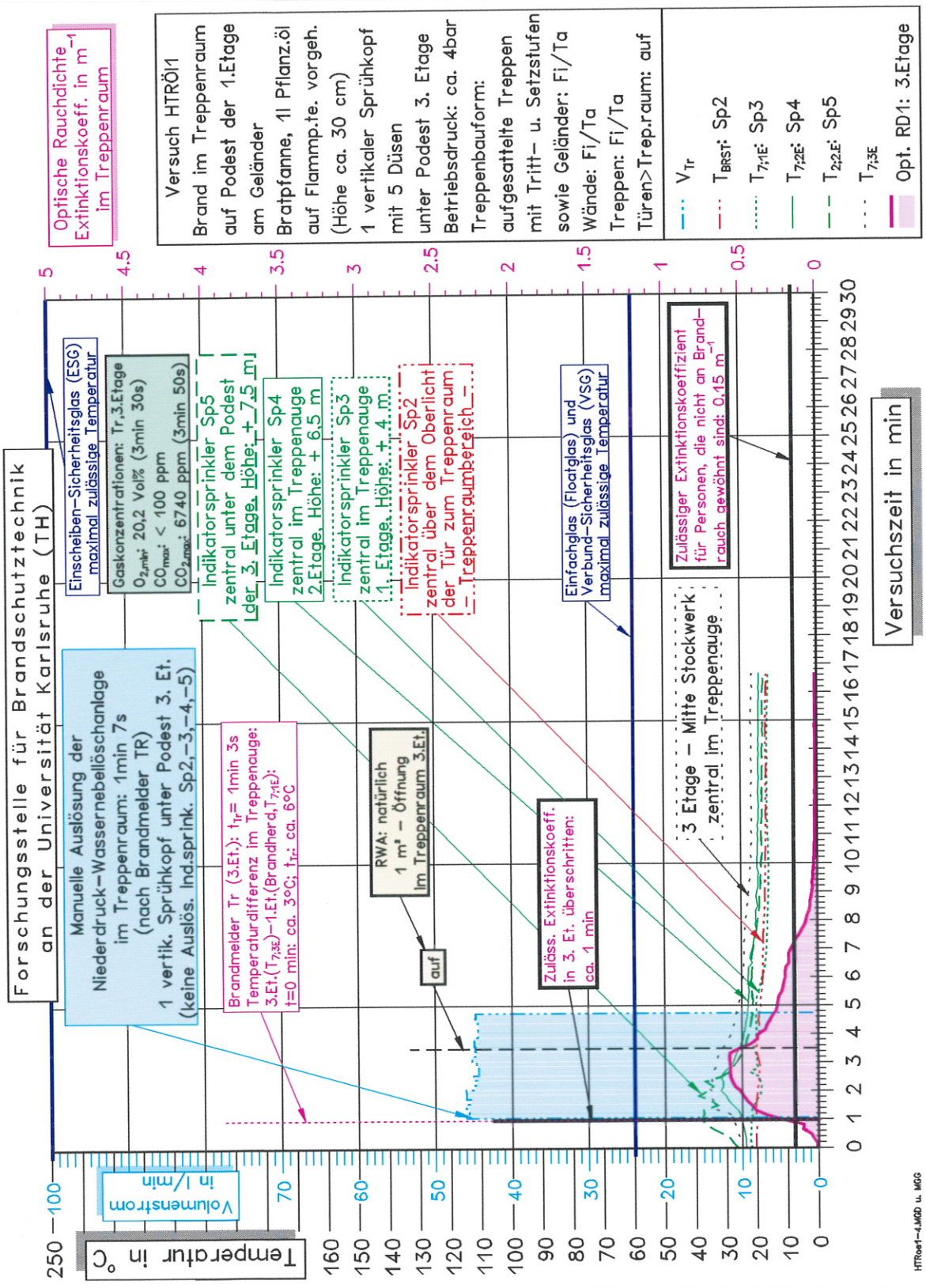


Bild 17.5: Versuch HTRÖl1 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), minimale O_2, maximale CO_2- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauch- und Wärmeabzug.

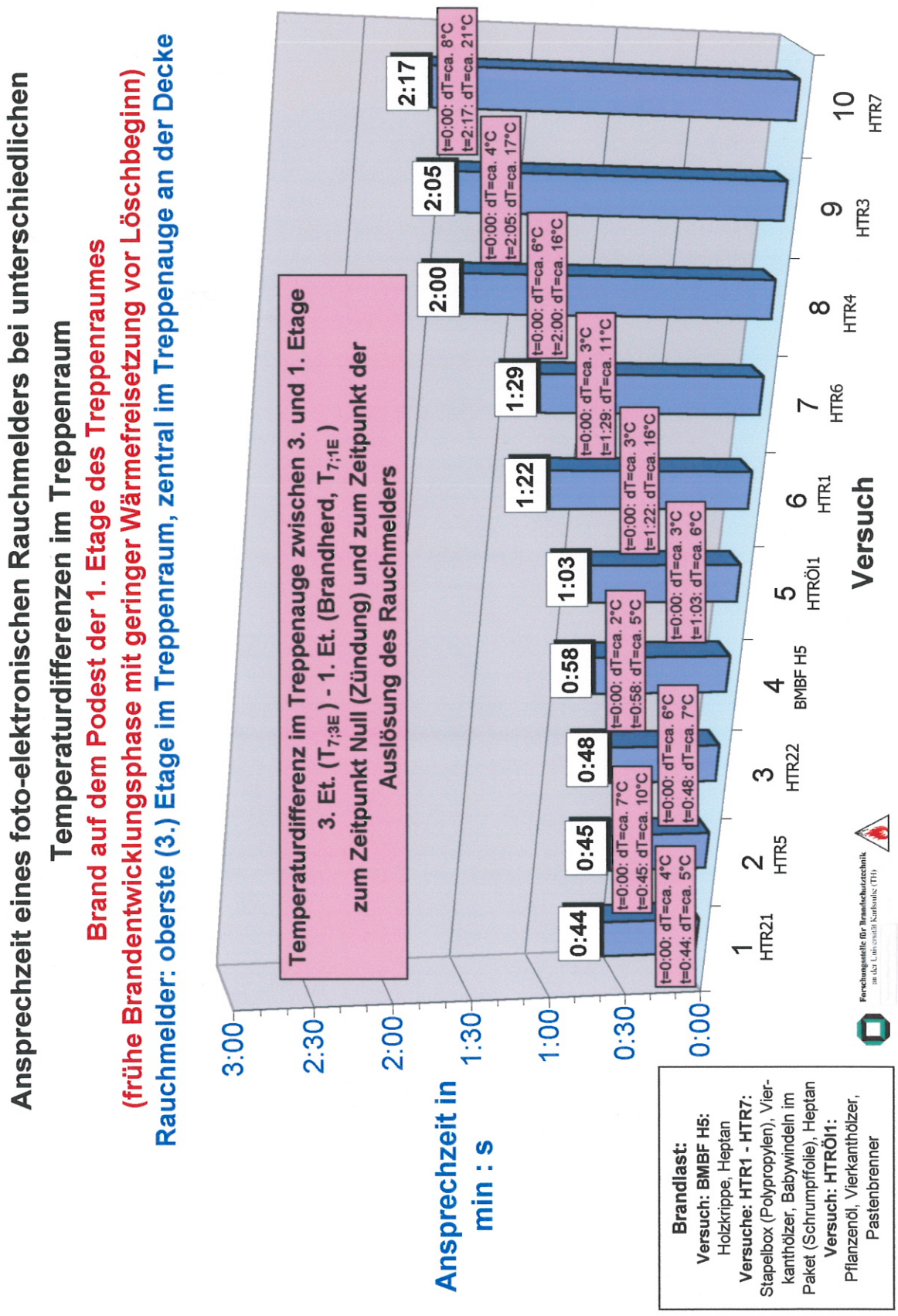


Bild 18: Ansprechzeiten eines foto-elektronischen Rauchmelders bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen zwischen 1. und 3. Etage des Treppenraumes.