

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und
mit Einfluß von ortsfesten Wasserlöschanlagen
Teil 1

135

STÄNDIGE KONFERENZ DER INNENMINISTER UND -SENATOREN DER LÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN,
KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

**Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung**

Forschungsbericht Nr. 135

**Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluß von
ortsfesten Wasserlöschanlagen.**

- Teil 1:
- Vergleich des Auslöseverhaltens von fotoelektronischen Rauchmeldern bei Einsatz von Disconebel und Brandrauch.
 - Brand- und Löschversuche ohne Windeinfluß auf einen natürlichen Rauchabzug.
 - Vergleich von Normal-Sprinkler- mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage.

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

September 2004

BERICHTSKENNBLETT

Nummer des Berichtes: <p style="text-align: center;">135</p>	Titel des Berichtes: Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluß von ortsfesten Wasserlöschanlagen. Teil 1: <ul style="list-style-type: none"> - Vergleich des Auslöseverhaltens von fotoelektronischen Rauchmeldern bei Einsatz von Disconebel und Brandrauch. - Brand- und Löschversuche ohne Windeinfluß auf einen natürlichen Rauchabzug. - Vergleich von Normal-Sprinkler- mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage. 	ISSN: <p style="text-align: center;">0170-0060</p>	
Autor: Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann		durchführende Institution: Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Hertzstraße 16, D-76187 Karlsruhe	
Nummer des Auftrages: 190 (4/2003)		auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung	
Abschlussdatum: September 2004			
Seitenzahl: 80 (45 Seiten in Farbe) *)	Bilder: 33	Tabellen: 3	Literaturverweise: 5
Kurzfassung: In den Untersuchungen wurden Versuche mit Disconebel, Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch mit Sprinkleranlage im Versuchsholztreppenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durchgeführt. Hierbei wurde sowohl die Brand- und Rauchausbreitung vor als auch während des Löscheinsatzes, das Auslöseverhalten von thermischen Glasfaßauslöseelementen und fotoelektronischen Rauchmeldern, die Löscheffektivität der jeweiligen Löschanlage beurteilt. Nachfolgend werden einige Ergebnisse der Untersuchungen aufgelistet: <ul style="list-style-type: none"> • Disconebel ist aufgrund seines im Vergleich zu Rauch völlig unterschiedlichen Verhaltens u. a. aufgrund des geringen thermischen Auftriebes nicht grundsätzlich dazu geeignet, das Auslöseverhalten von Brand- insbesondere Rauchmeldern sowie von Rauchabzugsanlagen zu überprüfen. • Eine Niederdruck-Wasserebellöschanlage bzw. Sprühkopf mit gleichmäßiger Wasserverteilung hat beträchtliche Vorteile gegenüber einem Normalsprinkler mit Hohlkegelbildung bei der Löschwirksamkeit (Zeit und Wasserverbrauch), insbesondere bei verdeckten Bränden unterhalb des Löschkopfes. Bei den auf dem Podest der 1.Etage des Treppenraumes durchgeführten Brand- und Löschversuchen ergibt sich eine zum Teil weit über 50% große Wasserersparnis beim Einsatz von Wasserebel gegenüber dem Einsatz des Sprinklers. • Sowohl bei der Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch bei der Sprinkleranlage war der Brandschaden auf die mobile Brandlast und das Geländer auf dem 1.Podest beschränkt. • Die Löschwassermenge ist relativ unabhängig von der Auslösezeit des Sprinklers. Es ergaben sich zum Teil wesentlich höhere Löschwassermengen, obwohl der Sprinkler früher ausgelöst hat. • Im Hinblick auf den Personenschutz sollten die schneller auslösenden 3 mm-Glasfaßauslöseelemente statt 5 mm-Elemente eingesetzt werden. Dünnere Glasfaßauslöseelemente (hier untersucht: 1,5 mm) führen zu keiner Verbesserung des Auslöseverhaltens. Diese Elemente haben in 2 von 3 Versuchen nicht vor dem löschwirksamen Sprinkler mit 3 mm Glasfaß ausgelöst. • Der Rauchmelder stellt zur Alarmierung für den Personenschutz die erste Wahl aufgrund der sehr schnellen Auslösung dar. In einem Treppenraum sollte vorzugsweise ein Brandmelder an jeder Podestdecke des Treppenraumes angebracht werden. • Ein natürlicher Rauchabzug ist bei einer geringen Thermik der Brandgase bzw. Abkühlung der Brandgase durch Löschwasser nicht in der Lage, schnell Rauchfreiheit zu gewährleisten. Erst ein maschineller Rauchabzug (hier 10.0000 m³/h im Normzustand) schafft hier Abhilfe. • Durch eine schnelle Auslösung der Löschanlage und frühzeitige Brandbekämpfung wird die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang wesentlich verringert. • Bei geöffneter Treppenraumbür ergab das Einschalten der RWA vor Löschbeginn eine beträchtliche Verzögerung bei der Einschaltung der Sprinkleranlage, insbesondere bei 5 mm Glasfaßauslöseelementen. • Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang beim Normalsprinkler wesentlich größer als beim eingesetzten Wasserebel ist. Dies ergibt sich aus der effektiveren Brandbekämpfung durch Niederdruck-Wasserebel beim durchgeführten Brandszenario. 			
Schlagwörter: Brand- und Rauchausbreitung, Treppenraum, Holz, Disconebel, Rauchabzug, Sichtverhältnisse, Evakuierung, optische Brandrauchdichte, Brandgase, Wasserebellöschanlage, Sprinkleranlage			

*) Farbseiten auf CD-ROM gegen Kostenerstattung (5,00€) erhältlich.

INHALTSVERZEICHNIS

	BERICHTSKENNBLATT	1
1.	EINLEITUNG	2
2.	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	5
2.1	Versuchsaufbau und Meßtechnik	5
2.2	Kaltversuche mit Verdampfer-Nebelmaschine	6
2.2.1	Versuch DN1.....	7
2.2.2	Versuch DN2.....	8
2.2.3	Schlussfolgerungen aus den Versuchen mit Verdampfer-Nebelmaschine.....	10
2.3	Brand- und Löschversuche <i>ohne</i> Windeinfluß	10
2.3.1.	Bisherige Versuche mit Niederdruck-Wassernebel.....	12
2.3.2	Versuche mit Normalsprinkler (hängend).....	13
2.3.2.1	Versuch SP1 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	14
2.3.2.2	Versuch SP2 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	15
2.3.2.3	Versuch SP3 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	17
2.3.2.4	Versuch SP4 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	18
2.3.2.5	Versuch SP13 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	19
2.3.2.6	Versuch SP14 - vertikale Sprührichtung (<i>ohne Windeinfluß</i>).....	20
3.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	22
4.	LITERATURVERZEICHNIS	29
5.	TABELLEN	30
6.	BILDER	44

1. EINLEITUNG

Rund 800 Mal täglich steht in Deutschland ein Gebäude in Flammen. Die Gefährlichkeit des Brandrauches zeigt sich darin, dass im Schnitt 80 % aller Brandtoten an den Folgen einer Rauchgasintoxikation sterben. Bei Brandrauch handelt es sich um ein Gemisch aus Gasen, Dämpfen und schwebenden festen oder flüssigen Partikeln (Aerosol => z.B. Ruß).

- Brandrauch breitet sich wesentlich schneller aus als das Feuer. Er kann somit auch rasch weit entfernt vom eigentlichen Brandherd auftreten.
- Brandrauch breitet sich lautlos aus und kann deshalb erst zu spät erkannt werden (z.B. im Schlaf oder in den Flucht- und Rettungswegen).
- Brandrauch kann extrem heiß sein.
- Brandrauch selbst kann noch brennbar sein, Rauchgasdurchzündung oder Rauchgasexplosionen sind so möglich.
- Brandrauch behindert oder nimmt die Sicht.
- Brandrauch erzeugt Angstgefühle.
- Brandrauch lahmt die Entschlussfähigkeit und verhindert somit besonnenes Verhalten.
- Brandrauch zerstört Einrichtungsgegenstände.
- Brandrauch beinhaltet eine Vielzahl von Atemgiften mit unterschiedlichsten Wirkungen auf den menschlichen Organismus:
 - Atemgifte mit erstickender Wirkung
Dies sind Stoffe, welche für den Menschen selbst nicht giftig sind, aber in hoher Konzentration den Sauerstoff verdrängen, z.B.: Stickstoff, Wasserdampf und Methan.
 - Atemgifte mit reizender Wirkung
Diese Atemgifte sind mehr oder weniger in Wasser löslich und bilden in Verbindung mit Wasser eine ätzende Flüssigkeit. Besonders gefährlich sind hierbei die schwerlöslichen Stoffe, da diese erst in den unteren Atemwegen gelöst werden. Dort können sie die Alveolen (Lungenbläschen) zerstören und so zu einem Lungenödem (Einbluten in die Lunge) führen. Beispielhaft seien genannt: Nitrose Gase, Schwefel-

dioxid und Chlorwasserstoff.

- Atemgifte mit Wirkung auf Blut, Nerven und Zellen

Die Atemgifte dieser Klasse beeinflussen die Zellatmung oder üben eine toxische Wirkung auf die Nerven aus. So hat z.B. Kohlenmonoxid eine rund 800-fach höhere Bindungsaffinität zum Hämoglobin (Sauerstoffbindungsstelle der roten Blutkörperchen) als der Sauerstoff, was dadurch den Transport von Sauerstoff im Blutkreislauf verhindert und so zum inneren Ersticken führt. Weiter zählen hierzu: Cyanwasserstoff, Benzol, Carbonylsulfat.

- Inhalationstraumen, wie Lungenödeme können sich auch noch bis zu 72 Stunden nach der Einwirkung ausbilden (besonders bei Nitrosen Gasen).

Dabei dürfen die Gefahren der Rauchgasdurchzündung (Flashover) oder „-explosion“ (Verpuffung => Backdraft) nicht außer Acht gelassen werden. Verfügt der Brandraum noch über keine Öffnung, droht hier vor allem dann neben der Gefahr der Rauchausbreitung möglicherweise auch die Gefahr eines Backdrafts, besonders wenn mit einer schon längeren Branddauer zu rechnen ist. Besteht bereits eine Abluftöffnung, z.B. ein offenes Fenster, so ist neben der Rauchausbreitung der Gefahrenschwerpunkt der mögliche Flashover. Durch frühzeitige Abkühlung der Rauchgase (Löscheinsatz) wird die Gefahr eines "Flashovers" durch die Eindämmung der Pyrolyse erheblich verringert. Eine Absenkung der Brandrauminnentemperatur verringert auch die Gefahr eines "Backdrafts", jedoch nicht in dem Maße, wie bei einem Flashover. Bei einem Backdraft ist das Erreichen des zündfähigen Gemisches (z.B. bei Kohlenmonoxid CO: UEG: 12,5 Vol.-%, OEG: 74 Vol.-%) nicht mehr von der Brandrauminnentemperatur, sondern nur noch von der Sauerstoffzufuhr abhängig (z.B. Öffnen einer Tür oder eines Fensters). Die Gefahr eines Backdrafts ist also nur durch die Minimierung von Zündquellen (Zündtemperatur CO: 605° C) verringerbbar; jedoch ist davon auszugehen, daß in dem Schwelgasgemisch auch Komponenten mit weitaus geringeren Zündtemperaturen vorhanden sind.

Um den Gefährdungen durch Brandgase zu entkommen, sind für die Selbstrettung rauchfreie Flucht- und Rettungswege für die sich im betroffenen Gebäude befindenden Personen entscheidend. Der erste begangene Flucht- und Rettungsweg (nach Erreichen von Abschlußtüren von Nutzungen in den Geschossen mehrgeschossiger Gebäude) ist in der Regel der notwendige Treppenraum. Deshalb ist auf seine Rauchfreihaltung besonderer

Wert zu legen.

Daher wird auch im Baurecht auf die Rauchfreihaltung von Treppenträumen besonders eingegangen, z.B. in der Musterbauordnung (MBO). Nach § 17 der MBO - Brandschutz - muss bei innenliegenden Treppenträumen die Benutzung ohne eine Gefährdung durch Raucheintritt gewährleistet sein. In Gebäuden mit mehr als fünf oberirdischen Geschossen muss an der höchsten Stelle eines innenliegenden Treppenraumes ein Rauchabzug vorhanden sein. Er muss mindestens einen freien Querschnitt von 5% der Grundfläche des Treppenraumes, jedoch mindestens 1 m² haben. Der Rauchabzug muss vom obersten Treppenabsatz als auch vom Erdgeschoss aus bedienbar sein.

Besonders in Altbauten ist häufig mit einer schnellen Verrauchung des Treppenraumes zu rechnen. Meist fehlen hier Einrichtungen des vorbeugenden Brandschutzes: Die Abschluss Türen der Wohnungen zum Treppenhaus weisen nur einen Widerstand gegen Feuer auf, sie sind aus Holz gefertigt und haben große Einsätze aus Einfachglas (Floatglas). Dazu sind oftmals noch über den Türen Oberlichter angeordnet. Vor allem Einfachglas (Floatglas) ist nur bis zu geringen Temperaturen von ca. 60° C hitzebeständig.

In Altbauten mit Treppenträumen aus Holzkonstruktionen kommt noch das Problem der Brandausbreitung hinzu. Um die Brandausbreitung und damit auch die Rauchentwicklung zu unterbinden, können ortsfeste Wasserlöschanlagen eingesetzt werden.

Im Brandversuchstreppenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) wurden mit kleinen Versuchsbränden die Verhältnisse bei einem Entstehungsbrand im Treppenraum dokumentiert.

In mehreren Parallelversuchen wurde die gegenseitige Beeinflussung einer ortsfesten Feuerlöschanlage und eines natürlichen bzw. eines maschinellen Rauchabzuges (RA bzw. MA) untersucht.

Als Löschanlage wurde zum einen eine Niederdruck-Wasserebellöschanlage, zum anderen eine Sprinkleranlage mit Normalsprinkler eingesetzt.

In den hier beschriebenen Untersuchungen bleibt der Einfluß von Wind auf den natürlichen Rauchabzug unberücksichtigt. Dieser wird in einem weiteren Forschungsprojekt untersucht werden.

Durch die unterschiedlich schnelle Auslösung der Löschanlage, bedingt durch die zur Branddetektion eingesetzte Technik (thermisch wirkende Glasfaßauslöseelemente mit unterschiedlicher Ansprechempfindlichkeit, fotoelektronische Rauchmelder), kann die Brand- und Rauchausbreitung vor und nach dem Löscheinsatz beurteilt werden. Auf die Durchführung von Bränden ohne Löschanlage wurde verzichtet, da aus Kostengründen auf große Schäden an der Versuchsanlage Rücksicht genommen werden mußte. Außerdem ist es von größter Bedeutung für den Personen- und Sachschutz, daß die Bewohner bereits früh alarmiert werden und der Brand bereits in der Brandentwicklungsphase bekämpft wird.

Mit Hilfe verschiedener Messeinrichtungen wurden vor allem der zeitliche Verlauf von Temperatur, Druck, Rauchdichte und verschiedenen Brandgaskomponenten gemessen. Mit mehreren Videokameras wurde die Brand- und Rauchentwicklung im Treppenraum aufgezeichnet und anschließend ausgewertet.

2. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

2.1 Versuchsaufbau und Messtechnik

Zur Durchführung der Brand- und Löschversuche wurde ein Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum sowie einer Niederdruck-Wassernebellöschanlage bzw. Sprinkleranlage in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gemäß der Konstruktionszeichnung in **Bild 1.1** errichtet. Die Bilder zeigen auch Details der Gesamtanlage und geben Hinweise auf Versuchsaufbauten, die im Rahmen der in der Literatur [2] bis [4] genannten Versuchsreihen genutzt wurden. Im Detail erkennt man in den **Bildern 1.2 bis 1.9** den Aufbau von Brand- und Treppenraum, den Rauchabzug für natürliche und maschinelle Entrauchung, die Fluchtwegkennzeichnung, die Anordnung der Brandmelder, der Wassernebellöschanlage und der Sprinkleranlage sowie der Indikatorsprinkler, den Aufbau der Brandlasten in Brand- und Treppenraum sowie die eingesetzte Meß- und Vi-

deotechnik.

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

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

2.2 Kaltversuche mit Verdampfer-Nebelmaschine

In Vorversuchen wurden zur Raucherzeugung eine Verdampfer-Nebelmaschine („Disconebel“, siehe **Bild 1.5**) verwendet, wie sie im Unterhaltungsbereich zum Einsatz kommt, verwendet. Bei dieser Nebelmaschine erfolgt eine Vernebelung von mehrwertigen Alkoholen (u.a. Polyglykole, Monopropylenglykol) und entmineralisiertem Wasser im Durchlaufverfahren durch Erhitzung bei max. 300°C. Gemäß dem Sicherheitsdatenblatt (SDS No. 111, Rev. B 11/01/00) der Firma Martin Manufacturing (Lincolnshire, UK) weist die eingesetzte Nebelflüssigkeit u.a. folgende physikalischen und chemischen Eigenschaften auf:

pH	neutral
Siedebereich	101,6°C – 201,6°C
Schmelzpunkt	< - 20°C
Flammpunkt:	> 78 °C (Prüfflamme verlöschte bei 78°C)
Zündgrenzen	2,9 - 18,1 Vol.-% (geschätzt)
Dampfdruck	2,67 kPa bei 20°C
Relative Dichte	1.050 kg/m ³ bei 20°C
Löslichkeit in Wasser	unlöslich
Stabilität	Stabil unter normalen Bedingungen
Bekannte gefährliche Reaktionen	mögliche explosive Zersetzung in Verbindung mit starken Säuren oder Laugen bei erhöhten Temperaturen
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Oxide des Kohlenstoffs sowie Aldehyde

Die Verdampfer-Nebelmaschine wurde für die Versuche auf dem ersten Podest des Versuchstreppenraumes mittig postiert.

2.2.1 Versuch DN1

Während des Versuches DN1 war die Tür im EG des Treppenraumes zur Versuchshalle offen, die Tür des Brandraumes zur Versuchshalle geschlossen und die Tür zwischen Brand- und Treppenraum offen und mit einem Vorhang verhängt.

Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt einige charakteristische Meßwerte des Versuches.

0 min	Temperaturdifferenz im Treppenauge: 3.Et.(T _{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T _{7,1E})	ca. 0,5 °C
1 min 14 s	fotoelektronischer Rauchmelder BrTr1	
2 min 30 s	max. zulässiger Extinktionskoeffizient ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) Podest 2. Etage	
11 min 30 s	max. zulässiger Extinktionskoeffizient ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) Podest 3. Etage	
12 min 30 s	maximaler Extinktionskoeffizient (σ_{max}) Podest 2. Etage	3,57 m ⁻¹
21 min 31 s	natürlicher Rauchabzug (RA): 1 m ² -Öffnung auf	
24 min 50 s	maximaler Extinktionskoeffizient (σ_{max}) Podest 3. Etage	2,0 m ⁻¹
25 min 39 s	RA: 1 m ² -Öffnung zu	
34 min 24 s	maschineller Rauchabzug (MA) (10.000 m ³ /h im Normzustand) ein	
34 min 55 s	fotoelektronischer Rauchmelder BrTr2 Temperaturdifferenz im Treppenauge: 3.Et.(T _{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T _{7,1E})	ca. 1 °C

Bild 2.1 zeigt den zeitlichen Verlauf des Extinktionskoeffizienten sowie ausgewählte Temperaturen in Abhängigkeit des natürlichen bzw. maschinellen Rauchabzuges.

- Der erste Rauchmelder BrTr1 wurde durch den Nebel relativ schnell erreicht. Der Brandmelder löste erst aus, nachdem er deutlich vom Nebel eingehüllt war.
- Trotz der sehr geringen Temperaturdifferenzen im Treppenraum zwischen der 1. und der 3. Etage löste der Rauchmelder unter dem Dach BrTr2 erst bei Einschaltung des maschinellen Rauchabzuges aus. Dies steht in deutlichen Gegensatz zu den von Kunkelmann in [4] durchgeführten Brand- und Löschversuchen. Hier löste der oberste Rauchmelder in Versuch HTR21 (siehe **Tabelle 2**) sogar bei einer etwas größeren Temperaturdifferenz zwischen der 3. und der 1. Etage von 5 °C bereits nach 44 s aus. Der Rauchmelder BrTr1 direkt über dem 1. Podest löste sogar bereits nach 31 s aus.
- Die Zeitspanne zwischen dem 2. und dem 3. Podest bis zum Erreichen des max. zulässigen Extinktionskoeffizienten ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) lag bei 9 min. Bei dem Brand- und Löschversuch SP4 (**Tabelle 2**) wurde der maximal. zulässige Extinktionskoeffizient bei einer Temperaturdifferenz zwischen der 3. und der 1. Etage von ca. 3°C zeitgleich erreicht.

Man erkennt an diesen Versuchsergebnissen das völlig unterschiedliche Verhalten von Disconebel und Brandrauch. Dies bedeutet, daß diese Art von Raucherzeugung nicht grundsätzlich zur Überprüfung von Brandmeldeanlagen bzw. Rauchabzugsanlagen geeignet ist.

2.2.2 Versuch DN2

Bei dem Versuch DN 2 soll der natürliche Rauchabzug beim Auslösen des zweiten fotoelektronischen Rauchmelders BrTr2 einsetzen. Es handelt sich hierbei um eine Wiederholung des Versuches DN1.

Um Fehlfunktion auszuschließen, wurde vor Versuchsbeginn der Brandmelder BrTr2 ausgetauscht.

Während des Versuchs DN2 war die Tür des Treppenraumes zur Versuchshalle offen, die Tür des Brandraumes zur Versuchshalle geschlossen und die Tür zwischen Brand- und

Treppenraum offen und mit einem Vorhang verhängt.

Die nachfolgende Zusammenstellung ergibt Auskunft über charakteristische Meßwerte des Versuches.

0 min	Temperaturdifferenz im Treppenauge: 3.Et.(T _{7,3E}) – 1.Et.(BrandherdT _{7,1E})	ca. 1 °C
1 min 11 s	fotoelektronischer Rauchmelder BrTr1	
1 min 50 s	max. zulässiger Extinktionskoeffizient ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) Podest 2. Etage	
8 min 2 s	fotoelektronischer Rauchmelder BrTr2 Temperaturdifferenz im Treppenauge: 3.Et.(T _{7,3E}) – 1.Et.(BrandherdT _{7,1E})	< 0,5 °C
9 min 12 s	natürlicher Rauchabzug (RA): 1 m ² -Öffnung auf	
10 min 10 s	max. zulässiger Extinktionskoeffizient ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) Podest 3. Etage	
10 min 30 s	maximaler Extinktionskoeffizient (σ_{max}) Podest 2. Etage	5,1 m ⁻¹
13 min	maximaler Extinktionskoeffizient(σ_{max}) Podest 3. Etage	2,55 m ⁻¹
15 min 2 s	RA: 1 m ² -Öffnung zu	
15 min 40 s	maschineller Rauchabzug (MA) (10.000 m ³ /h im Normzustand) ein	

Bild 2.2 zeigt den zeitlichen Verlauf des Extinktionskoeffizienten sowie ausgewählte Temperaturen in Abhängigkeit des natürlichen bzw. maschinellen Rauchabzuges.

Der gegenüber Versuch DN1 unterschiedliche zeitliche Verlauf des Extinktionkoeffizienten ergab sich aufgrund der schwierig zu dosierenden Vernebelung des Treppenraumes mit der relativ kleinen Nebelmaschine (zwischenzeitliche Aufheizvorgänge bei der Nebelerzeugung).

- Der erste Rauchmelder BrTr1 wurde durch den Nebel relativ schnell erreicht. Der Brandmelder löste erst aus, nachdem er deutlich vom Nebel eingehüllt war.
- Der zweite Rauchmelder BrTr2 (unter dem Dach) löste hingegen erst nach 8 min 2 s aus. Dies ist im Vergleich zu ca. einer ¼ Minute bei realem Brandrauch ein wesentlich höher-

rer Wert (siehe **Tabelle 2**: Versuche HTR21, SP4).

- Die Zeitspanne zwischen dem 2. und dem 3. Podest bis zum Erreichen des max. zulässiger Extinktionskoeffizient ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) lag bei 8 min.

Man erkennt auch an diesen Versuchsergebnissen das deutlich unterschiedliche Strömungsverhalten von Disconebel und Brandrauch. Dies bedeutet, dass diese Art von Rauchzeugung nicht grundsätzlich zur Überprüfung von Brandmeldeanlagen bzw. Rauchabzugsanlagen geeignet ist.

2.2.3 Schlussfolgerungen aus den Versuchen mit Verdampfer-Nebelmaschine.

Der untere Rauchmelder löst erst aus, nachdem er schon deutlich sichtbar vom Nebel eingehüllt ist. Dies liegt an seinem Funktionsprinzip. Vermutlich liegt die Ursache darin, daß vor allem kleine und helle Partikel, besonders wenn sie den Melder nur sehr langsam durchströmen (Nebel) nicht soviel Streulicht erzeugen. Deshalb muss zur Melderauslösung schon eine große Anzahl von Partikeln eingedrungen sein. Der verwendete Nebel hat auch nicht die hohen Temperaturen des Brandrauches und diesbezüglich auch nur einen geringen thermischen Auftrieb. Deshalb sind die Auslösezeiten an den Brandmeldern sehr hoch im Vergleich zu realen Brandgasen.

2.3 Brand- und Löschversuche ohne Windeinfluß

Die Brand- und Löschversuche wurden im Treppenraum (**Bild 1.1 und 1.4**) durchgeführt. Die Brandlast wurde gemäß **Bild 1.6 (3.82)** auf dem Podest der 1. Etage aufgebaut. Als Brandlast wurden Vierkanthölzer, Stapelbehälter (Lagerbehälter) aus Polypropylen, Babywindeln in Schrumpffolie und eine Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) mit Heptan verwendet.

Der natürliche Rauchabzug (1 m²-Öffnung) wurde in diesen Versuchen nicht durch Wind von außen beeinflusst.

Die **Tabellen 2 und 3** geben Auskunft über die jeweiligen Versuchsp Parameter und Brandlasten, Ventilationsbedingungen (Türen geöffnet oder geschlossen, natürlicher oder maschineller Rauchabzug im Treppenraum), Betriebsbedingungen der Niederdruck-Wasserebellöschanlage und Sprinkleranlage (Sprühköpfe, Düsen, Betriebsdruck, Volumenstrom), maximale Temperaturen, Auslösezeiten von Indikatorsprinklern und Brandmeldern, Löschzeiten, Löschwassermengen, maximale Extinktionskoeffizienten zur Beschreibung der Brandrauchdichte, minimale Sauerstoff- sowie maximale Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentrationen.

Auf die Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate 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.

Die Beleuchtung des Treppenraumes erfolgte mit je 2 Feuchtraumleuchten (36 W, 1,2 m) pro Podest. Diese wurden auf der Seite der Beobachtungsfenster montiert. An den gegenüber angebrachten Rettungsweg-Kennzeichnungen ergab sich hierdurch eine Beleuchtungsstärke von ca. 50 – 65 Lux.

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

Die Meßwerte wurden mit einem Meßwerterfassungssystem registriert und anschließend (offline) ausgewertet.

Die Versuche wurden zusätzlich durch Videoaufnahmen an verschiedenen Positionen des

Holzgebäudes (siehe Beobachtungsfenster in **Bild 1.2** u. **1.9** sowie **Tabelle 1**) dokumentiert. Detailauswertungen erfolgten mit Videoprints.

2.3.1. Bisherige Versuche mit Niederdruck-Wassernebel.

Die Art, Anzahl und Position der Düsen und Sprühköpfe in den bereits früher durchgeführten Versuchen (BMBF H5, HTR1 – HTR7) wird in den **Tabellen 2 und 3** näher beschrieben (siehe Kunkelmann [4]).

Die eingesetzten Wassernebeldüsen weisen eine gleichmäßige Tropfenverteilung über den Sprühkegelquerschnitt auf.

Die Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage erfolgte bei den Versuchen manuell und zeitlich nach dem Auslösen eines Brandmelders (fotoelektronischer Rauchmelder), der zentral an Decke des Treppenraumes angebracht war (**Bild 1.4 (3.3)**). Parallel dazu wurde untersucht, ob Indikatorsprinkler ohne Löschfunktion (Nennauslösetemperatur: 68°C, Glasfaß: 3 mm (mittlerer RTI-Wert: ca. $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$) und 5 mm (mittlerer RTI-Wert: ca. $100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$) unter dem Podest der 3. Etage (**Bild 1.4 (3.12, 3.13)**) bzw. im Treppenauge (**Bild 1.4 (3.11)**) durch die Wärmefreisetzung des Brandes ausgelöst werden.

Die Auslösung der Löschanlage erfolgte bei diesen Versuchen 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 Räumung (Selbstrettung) die Brandgaskonzentrationen im für Menschen unkritischen Bereich bleiben können.

Die Ansprechzeit der Indikatorsprinkler wurde über den Druckabfall an einem Manometer ermittelt, das an einer unter Druck stehenden luftgefüllten Leitung angeschlossen war (**Bild 1.8 (4.10)**). 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 [3]. Die bei der Auf-

heizung 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.

Tabelle 2 und 3 zeigt die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse dieser Versuche, auf die von Kunkelmann in [4] näher eingegangen wird.

Aus den Versuchsergebnissen kann man erkennen, dass bei dem untersuchten Brandszenario „Brand auf dem Podest der 1. Etage“ eine Einzeldüse zentral über der Brandlast völlig ausreicht, um den Brand mit einem sehr niedrigen Wasserverbrauch von 327 l (Versuch HTR7) innerhalb von 25 min 7 s vollständig und mit geringem Löschwasserschaden zu löschen (siehe auch **Bild 8**). Man sieht an diesem Beispiel, dass bei optimal ausgelegter Wassernebellöschanlage der anlagentechnische Aufwand bedeutend reduziert werden kann. Eine große Anzahl von Sprühköpfen und Düsen wie in den Versuchen BMBF H5 und HTR1 zeigt, dass es durch diese sehr große Löschsektion zu einem bedeutenden Löschwasserschaden trotz der kurzen Löschzeit kommt.

Der Aspekt des Löschwasserschadens hat u.a. besondere Bedeutung bei denkmalgeschützten Gebäuden mit ihren gegebenenfalls unwiederbringbaren Werten. Ein besonderes Augenmerk ist hier auf die sichere und fehlerfreie Branddetektion zu legen.

2.3.2 Versuche mit Normalsprinkler (hängend).

Nach ihrer Wasserverteilung und deren Montageposition unterscheidet man verschiedene Sprinklertypen (siehe Kunkelmann [3]).

In den hier beschriebenen Versuchen (**Tabelle 2**, Versuche SP1 bis SP4) wird ein vertikal nach unten sprühender Normalsprinkler verwendet. Dieser hat eine zum Boden und zur Decke gerichtete Wasserverteilung und kann sowohl stehend als auch hängend installiert werden. Da ein Normalsprinkler bis zu 40% des Löschwassers nach oben sprüht, ist er besonders für den Einbau unter brennbaren Decken geeignet.

Gegenüber der Wassernebeldüse weist der Normalsprinkler keine gleichmäßige Tropfenverteilung über den Sprühkegelquerschnitt auf. Dieser bildet vielmehr einen Hohlkegel unterhalb des Sprühkopfes. In größeren Räumen kann dieses durch Überlagerung der Sprühkegel nebeneinanderliegender Sprinkler ausgeglichen werden. In kleinen Räumen wie dem hier betrachteten Treppenraum mit nur einem Sprinkler ist dies nicht der Fall. Wie die nachfolgenden Versuche zeigen werden, ergeben sich dadurch Probleme bei der Brandbekämpfung direkt unter dem Sprinkler. Auf die Verwendung anderer Sprinklerköpfe mit gleichmäßigerem Sprühbild wurde aus Gründen der Anzahl der Versuchsparameter und der hieraus folgenden Versuchsanzahl verzichtet.

Der Sprinkler wurde zentral unterhalb des 3. Podestes über der Brandlast montiert (Höhe über dem 1. Podest: ca. 4,25 m).

Die bei den Versuchen zum Einsatz kommenden Glasfaßauslöseelemente im löschwirksamen Sprinkler selbst als auch in den Indikatorsprinklern sind der **Tabelle 2** als auch den entsprechenden Messwert-Diagrammen zu den jeweiligen Versuchen zu entnehmen.

2.3.2.1 Versuch SP1 - vertikale Sprührichtung (ohne Windeinfluß).

Die **Tabellen 2 und 3** führen die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse auf.

Bei diesem Versuch war die Treppenraumtür während des Versuches offen. Die Zwischentür zwischen Treppen- und Brandraum war ebenfalls geöffnet und die Tür von der Versuchshalle in den Brandraum geschlossen.

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 3.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage, die Brandmelde- und Löschtechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschen.

Die Brandschäden waren auf die mobile Brandlast sowie das Treppenraumgeländer auf

dem ersten Podest beschränkt.

Bild 3.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Man erkennt, daß die Rauchtemperatur durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert wird. Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bild 3.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn.

Bei sämtlichen Versuchen, sowohl mit Wassernebel als auch mit Sprinkler, konnte festgestellt werden, daß zu Beginn des Löschvorganges während der Ausbildung des Sprühkegels sowohl beim Sprinkler als auch beim Wassernebel die Flammen kurzzeitig für einige Sekunden etwas größer aufgrund der Luftansaugung durch den jeweiligen Sprühkegel werden. Danach überwiegt der Kühleffekt des Löschwassers und die Flammen werden wieder kleiner.

Bild 3.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

2.3.2.2 Versuch SP2 - vertikale Sprühhichtung (ohne Windeinfluß).

Die **Tabellen 2 und 3** führen die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse auf.

Bei diesem Versuch wurden die Ventilationsbedingungen gegenüber Versuch SP1 nur insoweit geändert, daß die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung bereits vor Löschbeginn geöffnet wurde.

Der Löschbeginn lag bei diesem Versuch mit 9 min 24 s vergleichsweise sehr spät. Zum

Vergleich löste der Rauchmelder neben dem Sprinkler bereits nach 24 s aus. Allerdings ergab sich bei diesem Versuch die geringste bei allen Sprinklerversuchen ermittelte Löszeit von 7 min 10 s bei einem Löschwasserbedarf von 473 l. Dieser Versuch stellt allerdings im Vergleich zu den übrigen Sprinklerversuchen einen extremen Ausreißer nach unten dar.

Gegenüber Versuch SP1 ergab sich durch die Öffnung der Entrauchungsöffnung vor Lösbeginn eine Zeitverzögerung um 5 Minuten mit 5 mm – Glasfaß. Durch das Ansaugen von kalter Luft durch die Treppenraumbtür und das Durchströmen des Treppenraumes wurde das 5 mm-Glasfaßauslöselement gekühlt, so daß die Auslösetemperatur des Auslöseelementes erst im fortgeschrittenen Brandstadium erreicht wurde.

Beim 3 mm – Glasfaß des Indikatorsprinklers waren die Auswirkungen des geöffneten Rauchabzuges nicht so gravierend.

Die fotoelektronischen Rauchmelder lagen gegenüber den thermischen Glasfaßauslöselementen trotz des Einflusses des Rauchabzuges bzgl. der Auslösezeit immer noch auf der sicheren Seite. Für den Personenschutz ist daher der Rauchmelder eine wesentliche Maßnahme.

Bild 4.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1.Etage, die Brandmelde- und Lösstechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

Die Brandschäden waren auf die mobile Brandlast sowie das Treppenraumgeländer auf dem ersten Podest beschränkt.

Bild 4.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Man erkennt, daß die Rauchtemperatur durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert wird. Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas)

oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bild 4.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschanfang.

Bild 4.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschanfang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

2.3.2.3 Versuch SP3 - vertikale Sprühdichtung (ohne Windeinfluß).

Die **Tabellen 2 und 3** geben Auskunft über die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse.

Bei diesem Versuch war die Treppenraumtür während des Versuches offen. Die Zwischentür zwischen Treppen- und Brandraum war ebenfalls geöffnet und die Tür von der Versuchshalle in den Brandraum geschlossen.

Die maschinelle Rauchabsaugung mit 10.000 m³/h im Normzustand wurde bereits vor Löschanfang eingeschaltet.

Der Löschanfang lag bei diesem Versuch mit 9 min 25 s ebenfalls sehr spät. Zum Vergleich löste der Rauchmelder neben dem Sprinkler bereits nach 32 s aus.

Bild 5.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage, die Brandmelde- und Löschtechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschanfang.

Die Brandschäden waren auf die mobile Brandlast sowie das Treppenraumgeländer auf dem ersten Podest beschränkt.

Bild 5.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschanfang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Man erkennt, dass in diesem wie auch allen folgenden Versuchen die Rauchtemperatur durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert wird.

Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bild 5.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn.

Bild 5.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

2.3.2.4 Versuch SP4 - vertikale Sprühhichtung (*ohne Windeinfluß*).

Die **Tabellen 2 und 3** stellt die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse zusammen.

Bei diesem Versuch war die Treppenraumtür während des Versuches offen. Die Zwischentür zwischen Treppen- und Brandraum war ebenfalls geöffnet und die Tür von der Versuchshalle in den Brandraum geschlossen.

Die maschinelle Rauchabsaugung mit 10.000 m³/h im Normzustand wurde nach Löschbeginn eingeschaltet. Hierdurch ergab sich gegenüber Versuch SP3 eine Verzögerung um 3 Minuten schnellere Auslösung beim Sprinkler mit 5 mm – Glasfaß. Durch das Ansaugen von kalter Luft durch die Treppenraumtür und Durchströmen des Treppenraumes wurde das 5 mm-Glasfaßauslöselement so gekühlt, daß die Auslösetemperatur erst im fortgeschrittenen Brandstadium erreicht wurde.

Beim 3 mm – Glasfaß des Indikatorsprinklers waren die Auswirkungen des Rauchabzuges nicht so gravierend. Die fotoelektronischen Rauchmelder lagen gegenüber den thermischen Glasfaßauslöseelementen trotz des Einflusses des Rauchabzuges bzgl. der Auslösezeit ebenfalls noch auf der sicheren Seite.

Bild 6.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage, die Brandmelde- und Löschtechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang. Die Brandschäden waren auf die mobile Brandlast sowie das Treppenraumgeländer auf dem ersten Podest beschränkt.

Bild 6.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Man erkennt, daß die Rauchtemperatur durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert wird. Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bild 6.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn. Bei Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 6.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

2.3.2.5 Versuch SP13 - vertikale Sprühhichtung (ohne Windeinfluß).

Die **Tabellen 2 und 3** zeigen die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse.

Bei diesem Versuch war die Treppenraumbür während des Versuches geschlossen. Die Zwischentür zwischen Treppen- und Brandraum war geöffnet und die Tür von der Versuchshalle in den Brandraum geschlossen.

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 7.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage, die Brandmelde- und Löschtechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

Die Brandschäden waren auf die mobile Brandlast sowie das Teppenraumgeländer auf dem ersten Podest beschränkt.

Bild 7.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Die Rauchtemperatur wird durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert. Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bei diesem Versuch war die größte Löschwassermenge (2.645 l) aller Versuche erforderlich, um den Brand vollständig zu löschen. Das Feuer brannte bei diesem Versuch sehr lange in Hohlräumen unter dem zusammengefallenen Windelpaket. Der Sprinklersprühnebel war nicht in der Lage, diesen verdeckten Brand zu erreichen.

Bild 7.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn. Bei Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 7.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

2.3.2.6 Versuch SP14 - vertikale Sprührichtung (ohne Windeinfluß).

Die **Tabellen 2 und 3** stellen die wesentlichen Versuchsp Parameter und Versuchsergebnisse zusammen.

Bei diesem Versuch war die Treppenraumtür während des Versuches geschlossen. Die Zwischentür zwischen Treppen- und Brandraum war geöffnet und die Tür von der Versuchshalle in den Brandraum geschlossen.

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschbeginn geöffnet.

Bild 8.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage, die Brandmelde- und Löschtechnik sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

Bild 8.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen.

Man erkennt, daß die Rauchtemperatur durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert wird. Kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden nicht erreicht.

Bei diesem Versuch ergab sich die am längsten andauernde Sauerstoffabsenkung (siehe **Bild 8.2**) während des Löschvorganges, bedingt zum einen durch den langen Brand- und Löschvorgang als auch durch den zwar offenen Rauchabzug jedoch die geschlossene Treppenraumtür. Bei diesem wie jedoch bei allen anderen Versuchen wurden jedoch nie für den Menschen kritische Sauerstoffkonzentrationen erreicht. Die übrigen Brandgaskonzentrationen werden durch einen schnell einsetzenden Löschvorgang ebenfalls sehr stark reduziert.

Bild 8.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn.

Bei Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 8.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

3. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

In den Untersuchungen wurden Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage als auch mit Sprinkleranlage im Versuchsholztreppenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durchgeführt. Hierbei wurde sowohl die Brand- und Rauchausbreitung vor als auch während des Löscheinsatzes, das Auslöseverhalten von thermischen Glasfaßauslöseelementen und fotoelektronischen Rauchmeldern, die Lösch-effektivität der jeweiligen Löschanlage beurteilt.

In Vorversuchen wurde weiterhin das Strömungsverhalten von Disconebel mit realen Brandgasen verglichen.

Bild 9 zeigt im Vergleich die durchgeführten Versuche mit Niederdruck-Wassernebel und Normal-Sprinkler. Das Schaubild gibt Auskunft über die Löschwassermenge und Löschzeit bis zum vollständigen Löschen des Brandes, die Verrauchung des Treppenraumes bei den jeweiligen Düsenarten, Düsenanzahlen und Düsenpositionen.

Aus diesem Schaubild kann man auch entnehmen, welchen Einfluß die Aktivierung der Rauchabführung bereits vor oder erst nach Einschalten der Löschanlage hat.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefaßt:

1. Disconebel weist ein im Vergleich zu Rauch deutlich abweichendes Strömungsverhalten auf. U. a. wegen des geringen thermischen Auftriebes aufgrund der niedrigen Temperaturen ist Disconebel nicht grundsätzlich dazu geeignet, das Auslöseverhalten von Brand- insbesondere Rauchmeldern sowie von Rauchabzugsanlagen zu überprüfen. Dies insbesondere bei großen Entfernungen zwischen „Raucherzeugung“ und Rauchmelder. Die Brandmelder lösten erst aus, nachdem sie deutlich vom Nebel eingehüllt waren. Dieses steht im Gegensatz zu realem Rauch, bei denen die Rauchmelder schon bei visuell fast nicht wahrnehmbarem Rauch bereits nach kurzer Zeit auslösen. Durch Aufheizung eines Treppenraumes z.B. durch Sonneneinstrahlung im oberen Bereich wird das Aufsteigen des kalten DisconeBELs noch wesentlich erschwert.

2. Durch das schnelle Auslösen einer Wasserlöschanlage werden die Temperaturen sehr schnell auf für Personen und Bauteile unkritische Werte abgesenkt.
3. Die Sauerstoffkonzentration erreicht während des Löschvorganges nie für den Menschen kritische Werte Die übrigen Brandgaskonzentrationen werden durch einen schnell einsetzenden Löschvorgang ebenfalls sehr stark reduziert.
4. Bei geöffneter Treppenraumtür hat das Öffnen der 1 m²-Öffnung oder das Einschalten des maschinellen Rauchabzuges einen bedeutenden Einfluß auf den Auslösezeitpunkt der Löschanlage (siehe **Bild 9, Tabelle 2 und 3**). Beim Vergleich der Versuche SP1 / SP2 ergab sich durch die Öffnung bzw. Einschalten vor Löschbeginn eine Zeitverzögerung um 5 Minuten, bei den Versuchen SP3 / SP4 eine Verzögerung um 3 Minuten beim Sprinkler mit 5 mm – Glasfaß. Beim 3 mm – Glasfaß des Indikatorsprinklers waren die Auswirkungen des Rauchabzuges weniger ausgeprägt.
5. Ein einzelner Normalsprinkler kann aufgrund seiner Sprühcharakteristik mit Hohlkegel vertikal unter dem Sprinklerkopf nur begrenzte Wirkung entfalten. Bei sämtlichen durchgeführten Brand- und Löschversuchen muß jedoch festgestellt werden, daß sowohl durch Sprinkler als auch durch Wassernebel der Brandschaden auf das Geländer im Bereich des Podestes sowie den Podestboden begrenzt wurde.
6. Eine Niederdruck-Wassernebeldüse bzw. Sprühkopf mit gleichmäßiger Wasserverteilung hat beträchtliche Vorteile bei der Löschwirksamkeit (Zeit und Wasserverbrauch), insbesondere bei verdeckten Bränden. Dies zeigt sich auch an den geringeren Brandschäden an der Brandstelle beim Einsatz von Wassernebel.
7. Man erkennt an den verwendeten Löschanlagen zwei Grenzfälle für die Wasserverteilung. So erzeugt eine Wassernebeldüse eine relativ gleichmäßige Wasserverteilung über den gesamten Querschnitt, während der Normalsprinkler Hohlkegelbildung aufweist. Es ist also hierbei die klare Zielsetzung, daß falls ein Sprinkler eingesetzt wird, dieser eine möglichst gleichmäßige Wasserverteilung über dem Sprühkegelquerschnitt aufweist. Gerade in kleinen Räumen oder wie bei den hier durchgeführten Versuchen im Treppenraum kann nicht wie z.B. wie in großen zu schützenden Bereichen davon ausgegangen werden, daß

mehrere benachbarte Sprinkler auslösen und durch Überlagerung der Sprühkegel eine gleichmäßige Wasserverteilung erzielt wird.

8. 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 aufgeheizt werden und daher nicht auslösen.

9. 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. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die höchsten Maximalwerte der Extinktionskoeffizienten überwiegend dann auftreten, wenn das thermische Auslöseelement des Sprinklers sehr spät auslöst und der Brand hierdurch bereits eine relativ große Wärmefreisetzung aufweist (siehe **Tabelle 2, Bild 8**). Dadurch haben die Brandgase und der Wasserdampf einen größeren thermischen Auftrieb und führen dementsprechend zum Verrauchen der oberen Stockwerke. Auf eine Rauchabzugsanlage kann daher bei mehrgeschossigen Gebäuden nicht verzichtet werden.

10. Ein natürlicher Rauchabzug ist bei einer geringen Thermik der Brandgase bzw. Abkühlung der Brandgase durch Löschwasser nicht in der Lage, schnell Rauchfreiheit zu gewährleisten. Erst ein maschineller Rauchabzug (hier 10.0000 m³/h im Normzustand) schafft hier Abhilfe.

11. Durch Einsatz der Löschanlage wird der Brandrauch abgekühlt. Ein natürlicher Rauchabzug ist nicht mehr in der Lage, den Rauch abzuführen. Dies bedeutet weiterhin, daß darunterliegende Etagen zum einen durch den absinkenden gekühlten Rauch, zum anderen durch die Impulswirkung der Wassertropfen auf den Brandrauch erheblich verrauchen.

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

13. Um eine Fehlauflösung 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 Fehlauflösungen 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.

14. Aus den Versuchsergebnissen kann man erkennen, dass bei dem untersuchten Brand-szenario „Brand auf dem Podest der 1. Etage“ eine Einzeldüse zentral über der Brandlast völlig ausreicht, um den Brand mit einem sehr niedrigen Wasserverbrauch von 327 l (Versuch HTR7) innerhalb von 25 min 7 s vollständig und mit geringem Löschwasserschaden zu löschen (siehe Bild 8). Man sieht an diesem Beispiel, dass bei optimal ausgelegter Wassernebellöschanlage der anlagentechnische Aufwand bedeutend reduziert werden kann. Eine große Anzahl von Sprühköpfen und Düsen wie in den Versuchen BMBF H5 und HTR1 zeigt, dass es durch diese sehr große Löschsektion zu einem bedeutenden Löschwasserschaden trotz der kurzen Löschzeit kommt.

15. Bei den auf dem Podest der 1. Etage des Treppenraumes durchgeführten Brand- und Löschversuchen ohne Windeinfluß auf den natürlichen Rauchabzug ergeben sich folgende Löschwassermengen im Mittel aller Versuche bei der jeweiligen Löschtechnik:

Niederdruck-Wassernebel: 260 l bis 1.350 l (Mittelwert aller Versuche: 780 l)

Normalsprinkler: 1.100 l bis 2.645 l (Mittelwert aller Versuche: 1.377 l)

Die jeweils untypisch hohen Löschwassermengen beim Wassernebel resultieren aus ungünstig angebrachten Wassernebelsprühköpfen und großen Löschsektionen.

Man erkennt aus den sehr unterschiedlichen Löschwassermengen, dass es bei Wassernebellöschanlagen sehr auf die Anordnung der Düsen ankommt. Die geringste Löschwas-

sermenge konnte bei diesen Versuchen mit Brandlast auf dem 1. Podest durch die gleiche Position einer einzelnen Wassernebeldüse, an der auch der Normal-Sprinkler eingesetzt wurde, erreicht werden (=> Düse zentral über der Brandlast). Durch horizontal sprühende Wassernebelprühköpfe ergaben sich weit höhere Löschwassermengen. Allerdings muß an dieser Stelle betont werden, dass dieses nicht verallgemeinert werden kann. Bei einer Lageranordnung zum Beispiel kann auf horizontal in das Lager sprühende Wassernebelprühköpfe in vielen Fällen zur Erzielung eines Einhausungseffektes nicht verzichtet werden. Beim Vergleich der Löschwassermengen zwischen Niederdruck-Wassernebel und Normal-Sprinkler kann jedoch eindeutig festgestellt werden, dass die erforderliche Löschwassermenge beim Wassernebel weit aus niedriger als beim Sprinkler ist. Zumindest trifft diese Aussage für die hier untersuchte Sprinklerdüse zu.

16. Die Löschwassermenge ist relativ unabhängig von der Auslösezeit des Sprinklers. Es ergaben sich zum Teil wesentlich höhere Löschwassermengen, obwohl der Sprinkler früher ausgelöst hat.

17. Bei den Versuchen mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage betrug die maximale Zeit bis zum vollständigen Löschen des Brandes bei den Versuchen ohne Windeinfluß 25 min 7 s, bei den Sprinklerversuchen 40 min 5 s. Dies zeigt, daß für vergleichbare Szenarien eine Löschwasserbevorratung von 30 min bei Niederdruck-Wassernebellöschanlagen als ausreichend angesehen werden kann.

18. Bei der Auslegung der Löschanlage ist darauf zu achten, dass möglichst kleine Löschsektionen gebildet werden, die jede für sich ausgelöst werden können. Durch eine genaue Detektion des Brandes wird vermieden, dass es zu einem unnötig großen Löschwasserschaden kommt.

19. Im Hinblick auf den Personenschutz sollten die schneller auslösenden 3 mm-Glasfaßauslöseelemente statt 5 mm-Elementen eingesetzt werden. 3 mm –Glasfaßauslöseelemente lösten bei den Treppenraumversuchen im Durchschnitt ca. 3,5 Minuten schneller aus als 5 mm Elemente. Dünnere Glasfaßauslöseelemente (hier untersucht: 1,5 mm) führen zu keiner Verbesserung des Auslöseverhaltens. Diese Elemente haben in 2 von 3 Versuchen nicht vor dem löschwirksamen Sprinkler mit 3 mm Glasfaß ausgelöst.

20. Der Rauchmelder stellt zur Alarmierung für den Personenschutz die erste Wahl aufgrund der sehr schnellen und relativ sicheren Auslösung dar. Problematisch kann die Branderkennung in einem Treppenraum bei einer "Stauzonenbildung" werden: Die Rauchgase können einen an der Decke des Treppenraumes installierten Brandmelder nicht erreichen. Daher sollte man in einem Treppenraum nicht nur einen Brandmelder an der Decke einsetzen, hier wäre ein Brandmelder an jeder Podestdecke des Treppenraumes angebracht. Die Ansprechzeiten des foto-elektronischen Rauchmelders in der 3. Etage des Treppenraumes variieren bei den verschiedenen auf dem Podest der 1. Etage durchgeführten Brand- und Löschversuchen zwischen 42 s (Versuch SP4) bis 2 min 35 s (Versuch SP1). Diese Streubreite resultierte daher, daß sich z.B. 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. Die Temperaturdifferenz zwischen der 3. und der 1. Etage betragen zum Zeitpunkt 0 bei Versuch SP4: 2°C, bei Versuch SP1: 1°C. Die entscheidende Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt der Auslösung des Rauchmelders beträgt bei Versuch SP4 nur 3°C, bei Versuch SP1 dagegen 22°C (siehe auch **Tabelle 2** sowie die diversen Diagramme zu den jeweiligen Versuchen). Dies zeigt, dass es bei Versuch SP1 viel wärmer im Deckenbereich war als bei Versuch SP4. Diese Versuche belegen auch die bekannten Effekte, wenn sich z.B. an einem heißen Sommertag der obere Bereich eines Treppenraumes aufheizt und der Brandrauch deshalb nicht mehr abgeführt werden kann.

21. Durch eine schnelle Auslösung der Löschanlage und frühzeitige Brandbekämpfung wird die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang wesentlich verringert. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang beim Normalsprinkler wesentlich größer als beim eingesetzten Wassernebel ist. Dies ergibt sich aus der effektiveren Brandbekämpfung durch Niederdruck-Wassernebel beim durchgeführten Brandszenario.

Der zulässige Extinktionskoeffizient von $0,15 \text{ m}^{-1}$ wurde jedoch sowohl bei Wassernebel als auch beim Sprinkler auf dem Podest der 2. und der 3. Etage und im Erdgeschoß des Versuchstreppenraumes beträchtlich überschritten. Dies hat zur Folge, daß bei höheren Gebäuden, trotz der im Vergleich zu einem Vollbrand auftretenden relativ unschädlichen Sau-

erstoff- und Brandgaskonzentrationen auf einen Rauchabzug nicht verzichtet werden kann um eine gefahrlose Evakuierung zu ermöglichen.

22. Für den Fall, daß die Wasserlöschanlage 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.

23. Wird die Niederdruck-Wasserebellösch- oder Sprinkleranlage 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.

4. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] 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)
- [2] 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
- [3] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wasserdampf-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenträumen mit Holztreppe(n) und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten. Teil 1:
- Brand- und Rauchausbreitung sowie brandschutztechnische Maßnahmen bei Altbaugebäuden und Gebäuden aus dem Bereich des Denkmalschutzes
- Baurechtliche Anforderungen
- Wirkungsweise von Sprinkler- und Wasserdampflöschanlagen
- Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wasserdampflöschanlage)
Forschungsbericht Nr. 120 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2000)
- [4] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wasserdampf-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenträumen mit Holztreppe(n) und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten.
Teil 2: Brand- und Löschanlagenversuche
Forschungsbericht Nr. 129 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2002)
- [5] Slaby, C.: Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluß von ortsfesten Wasserlöschanlagen, Studienarbeit an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Karlsruhe 2003, unveröffentlicht

5. TABELLEN

Tabelle 1: Versuchsaufbau und Meßtechnik

<p>Brandraum</p>	<p>Innenabmessungen: Höhe: 2,5 m, Länge: 4,09 m * Breite: 2,52 m > Grundfläche: 10,3 m² Vordere Wand: Holzrahmenbauwand mit 625 mm Rastermaß</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erdgeschoß: <i>Außenwand</i> <ul style="list-style-type: none"> • 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) <i>Installationsraum</i> <ul style="list-style-type: none"> • Lattung, 40 mm * 60 mm, Fichte/Tanne-Holz • Dämmstoff: Flachsdämmplatten (normalentflammbar - B2), 60 mm dick alternativ: Zellulosedämmstoff (normalentflammbar - B2, Fülllichte: 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 <p><i>Decke</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Brettstapeldecke</u>: im vorderen Bereich des Brandraumes aus 13 Kanthölzern, 55 mm * 150 mm => Länge der Decke: 715 mm, Dicke: 150 mm • <u>Holzbalkendecke</u>: 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: Flachsdämmplatten (normalentflammbar - B2), 60mm dick; Deckenunterseite: Gipskartonplatte ohne Feuerschutz, 12,5 mm dick • <u>Porenbetondachplatten</u> im Anschluß an die Holzdecke <p><i>Türöffnung von der Brandversuchshalle in den Brandraum:</i> 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)</p> <p><i>Türöffnung vom Brandraum in den Treppenraum:</i> siehe Treppenraumbeschreibung</p> <p><i>Hintere Wand:</i> Porenbetonmauerwerk <i>Seitenwände:</i> Porenbetonmauerwerk <i>Boden:</i> Abbrandwaage, darüber Konstruktion aus Porenbetondachplatten <i>Innenverkleidung im Bereich des Mauerwerks, der Decke</i> (ausgenommen Bereich der Holzdecke) und des Bodens: Fibersilikat-Feuerschutzbauplatten</p>
<p>Obergeschoß über dem Brandraum</p>	<p><i>Außenwand:</i> Holzrahmenbauwand mit 625 mm Rastermaß im vorderen Bereich des Brandraumes, Höhe: 2,5 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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)

<p>Treppenraum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4 geschossig (EG + 3 Obergeschosse), Gesamthöhe: 10 m, Stockwerkshöhe: 2,5 m • Tragkonstruktion: Regallagerkonstruktion aus Stahlprofilen • Verkleidung: Fichte/Tanne Rauhsplund mit Nut und Feder (Breite: ca. 130 mm, 20 mm dick) • Treppen: Einläufige gegenläufige Treppen mit Podesten in den jeweiligen Geschoßhöhen Treppenauflänge: 3.650 mm Treppenlaufbreite: 1.050 mm Steigung: 175 mm Steigungen: 14 Treppenbauform: aufgesattelte Treppen mit <ul style="list-style-type: none"> - 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, • Podeste: Länge: 1.400 mm, Breite: 2.650 mm 1 Podest bestehend aus 3 Podestbalken (Fichte/Tanne Bauholz, Länge: 1.400 mm, • Geländer: Geländerabstand: 130 mm <ul style="list-style-type: none"> - Geländerhöhe (senkrecht): 900 mm - Geländerpfosten und Geländerfüllung aus Fichte/Tanne-Latten (24 * 48 mm) - Geländerhandlauf aus Fichte/Tanne Rauhsplund (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 • Rettungswegkennzeichnung im Erdgeschoß und im Bereich der Podeste (Höhe Mitte Schild: 1,8 m)
<p>Rauchabzug im Treppenraum (mögliche Varianten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ohne • natürlich (1 m² große Öffnung in der Außenwand an der obersten Stelle des Treppenraumes über Kopfhöhe) ohne und mit Windeinfluß • maschinell: Absaugung durch Abgasreinigungsanlage direkt aus dem Treppenraum, Volumenstrom: 10.000 m³/h im Normzustand (Spülluftmenge für innenliegenden Treppenraum) • Winderzeugung: Axialventilator, D=500 mm, n=2.900 min⁻¹, 7,5 kW (ca. 20.000 m³/h, keine Temperaturangabe des Herstellers) in ca. 10 m Höhe auf die 1 m²-Öffnung gerichtet

<p>Wasserebellöschanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ortsfeste Niederdruckanlage • Sprühköpfe der Firma Systemtechnik Herzog GmbH • <u>Brandraum</u> 1 Sprühkopf mit 1 - 5 offenen Dralldüsen, Abstand Mitte Sprühkopf-Decke: 110 mm • <u>Treppenraum</u> 3 Sprührohreinheiten vertikal über sämtliche Etagen (linke Treppenraumwand, Treppenaug 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 der Niederdruck-Wasserebellösdüsen(in 1 m Entfernung): Betriebsüberdruck: <u>minimal: 4 bar</u> Tropfengrößen: - Arithmetischer Mittelwert : $D_{10}= 9,1 \mu\text{m}$ - Sauter-Durchmesser $D_{32}= 20,8 \mu\text{m}$ - Volumenbezogene Tropfendurchmesser $D_{V,10\%}= 10,1 \mu\text{m}$ $D_{V,50\%}= 17,3 \mu\text{m}$ $D_{V,90\%}= 33,4 \mu\text{m}$ $D_{V,99\%}= 47,0 \mu\text{m}$ - Anzahlbezogener Tropfendurchmesser $D_{A,50\%}= 10,0 \mu\text{m}$ <u>maximal: 8 bar</u> Tropfengrößen: - Arithmetischer Mittelwert : $D_{10}= 8,3 \mu\text{m}$ - Sauter-Durchmesser $D_{32}= 15,8 \mu\text{m}$ - Volumenbezogene Tropfendurchmesser $D_{V,10\%}= 9,5 \mu\text{m}$ $D_{V,50\%}= 16,9 \mu\text{m}$ $D_{V,90\%}= 32,1 \mu\text{m}$ $D_{V,99\%}= 46,0 \mu\text{m}$ - Anzahlbezogener Tropfendurchmesser $D_{A,50\%}= 9,0 \mu\text{m}$ • Wasservolumenstrom in Abhängigkeit vom Betriebsüberdruck, der aktivierten Sprührohreinheiten, der aktivierten Sprühköpfe, der Anzahl von Düsen je Sprühkopf und dem Düsentyp • Auslösung der Wasserebellöschanlage: manuell u.a. nach Auslösen von Indikatorsprinklern mit unterschiedlichen RTI-Werten (optional) oder nach Auslösen von Brandmeldern an verschiedenen Positionen im Brand- bzw. Treppenraum <p><u>Treppenraum</u> Normalsprinkler der Firma Tyco (Total Walther GmbH), hängend R 1/2", K 80, 66 l/min bei 0,7 bar, $T_{\text{enn}}= 68^{\circ}\text{C}$, Glasfaß: 5 mm; $\text{RTI}=\text{ca. } 100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, Glasfaß: 3 mm; $\text{RTI}=\text{ca. } 50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, minimaler Betriebsdruck: 0,7 bar (66 l/min), maximaler Betriebsdruck: 3,5 bar (150 l/min) Mittlere Tropfengröße (in 1 m Entfernung, 3 bar): 0,008 g entsprechend $D= 2,5 \text{ mm}$ hängend, zentral unter dem Podest der 3. Etage (Höhe Mitte Sprinkler: + 6,75 m): Sp5</p>
<p>Sprinkleranlage</p>	<p><u>Treppenraum</u> Normalsprinkler der Firma Tyco (Total Walther GmbH), hängend R 1/2", K 80, 66 l/min bei 0,7 bar, $T_{\text{enn}}= 68^{\circ}\text{C}$, Glasfaß: 5 mm; $\text{RTI}=\text{ca. } 100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, Glasfaß: 3 mm; $\text{RTI}=\text{ca. } 50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, minimaler Betriebsdruck: 0,7 bar (66 l/min), maximaler Betriebsdruck: 3,5 bar (150 l/min) Mittlere Tropfengröße (in 1 m Entfernung, 3 bar): 0,008 g entsprechend $D= 2,5 \text{ mm}$ hängend, zentral unter dem Podest der 3. Etage (Höhe Mitte Sprinkler: + 6,75 m): Sp5</p>
<p>Indikatorsprinkler</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sp1, Sp2, Sp3, Sp4, Sp5, Sp5*: 5 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68°C, mittlerer RTI-Wert: ca. $100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$ bzw. 3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68°C, mittlerer RTI-Wert: ca. $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$ Sp5*: zusätzlich 1,5 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68°C, mittlerer RTI-Wert: ca. $16 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$ • Sp1*: 3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68°C, mittlerer RTI-Wert: ca. $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$) • Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum: Sp1, Sp1* - Eingangstür zum Brandraum - Treppenraumseite Mitte, Oberkante Türöffnung (über dem Oberlicht): Sp2 - zentral im Treppenaug 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 bzw. Sp5*

Brandmelder	foto-elektronischer Rauchmelder Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum neben dem Sprühkopf bzw. in 1 m Abstand vom Sprühkopf (Br) - zentral unter dem Podest der 3. Etage bei Sprinkler Sp5 (BrTr1) - zentral im Treppenauge an der Treppenraumdecke (BrTr2)
Meßtechnik und Meßdatenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • 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 Sprühdrukkes in Brand- und Treppenraum (Piezoresistive Druckmeßumformer) • Dynamischer Druck der Luft bzw. der Brandgase (=> Luft- bzw. Brandgasgeschwindigkeit) an den Türöffnungen Brandraum/Treppenraum und Versuchshalle/Treppenraum, im Treppenaug, am natürlichen Rauchabzug (1m²-Öffnung), im Ansaugstutzen des maschinellen Rauchabzuges (Prandtl-Staurohre bzw. bidirektionale Strömungsmeßsonden) • 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: O₂, CO₂, CO) und Treppenraum (zentral im Treppenraum auf halber Höhe der 3. Etage: O₂, CO₂, CO) sowie zentral im Treppenraum auf halber Treppenraumhöhe (CO₂) • 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 m ² -Öffnung (3. Etage) Fotoaufnahmen

Tabelle 2: Brand- und Löschversuche – detaillierte Gesamtübersicht

Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wasserebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ , max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch BMBF H5 (AGF129) 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)</p> <p>Wasserebellöschanlage im Treppenraum: mittleres Sprührohr im Treppenauge vollständig über sämtliche Sprühebene mit Sprühköpfen bestückt (8 Sprühebene 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</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 43°C (1 min 4 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,6 Vol. % (4 min 30 s)</p> <p>CO_{max}: 900 ppm (6 min 30 s)</p> <p>CO_{2,max}: 2.500 ppm (6 min 30 s)</p>	<p>BrTr2 58 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 5°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 5 mm, 68°C RTI= ca. 100 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar in Sprühebene 8 ca. 475 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2</p> <p>gesamt: 2min 46s: ca. 1314 l</p> <p>2,74 l/m³ * min (vollständiger Treppenraum: Länge: 6,41 m, Breite: 2,71 m, Höhe: 10 m B = 173,7 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) 1. Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 1 min 13 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (1min 4 s) $\sigma_{max}=3,1 \text{ m}^{-1}$ (7 min 10 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (1 min 4 s) $\sigma_{max}=2,81 \text{ m}^{-1}$ (6 min 50 s)</p>
<p>Versuch HTR1 (AGF129) 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)</p> <p>Wasserebellöschanlage im Treppenraum: Sprührohr: rechts, vollständig über sämtliche Sprühebene mit Sprühköpfen bestückt (8 Sprühebene 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</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 98°C (2 min 40 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,9 Vol. % (3 min 56 s)</p> <p>CO_{max}: 340 ppm (6 min)</p> <p>CO_{2,max}: 7.710 ppm (4 min 10 s)</p>	<p>BrTr2 1 min 22 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 3°C; t_{BrTr2}: ca. 16°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}</p> <p>Sp5: T_{2,2E}= ca. 75°C (1 min 53 s) Sp2, Sp3, Sp4: keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar in Sprühebene 8 ca. 225 l/min</p> <p>Löschbeginn: absichtlich verspätet nach 2 min 47 s</p> <p>gesamt: 6 min: ca. 1350 l</p> <p>2,59 l/m³ * min (halber vollständiger Treppenraum: Länge: (6,41/2)m, Breite: 2,71 m, Höhe: 10 m B = 86,9 m³)</p>	<p>Natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 3 min 22 s</p> <p>maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) 9 min 59 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min) $\sigma_{max}=0,61 \text{ m}^{-1}$ (4 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 15 s) $\sigma_{max}=0,7 \text{ m}^{-1}$ (4 min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche					
Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wassernebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ , max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch HTR21 (AGF129) 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: Treppenaug und rechts, 2 Sprühhöpfe (horizontal) mit je 5 offenen Dralldüsen in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 31°C (50 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,8 Vol.% (3 min 30 s)</p> <p>CO_{max}: 170 ppm (6 min 20 s)</p> <p>CO_{2,max}: 1.860 ppm (3 min 30 s)</p>	<p>BrTr2 44 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 4°C; t_{BrTr2}: ca. 5°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 6 bar ca. 119 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 47 s</p> <p>gesamt: 8min 20s: ca. 992 l</p> <p>2,74 l/m³ * min (halbe Treppenauglänge: (6,41/2)m * Treppenaugbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) BrTr2, nach Löschbeginn: 58 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ nicht überschritten $\sigma_{max}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (5 min)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ nicht überschritten $\sigma_{max}=0,04 \text{ m}^{-1}$ (1 min 30 s)</p>
<p>Versuch HTR22 (AGF129) 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: Treppenaug und rechts, 2 Sprühhöpfe (horizontal) mit je 5 offenen Dralldüsen in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 28°C (1 min)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,8 Vol.% (15 min 50 s)</p> <p>CO_{max}: 170 ppm (10 min 10 s)</p> <p>CO_{2,max}: 2.050 ppm (15 min 30 s)</p>	<p>BrTr2 48 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 6°C; t_{BrTr2}: ca. 7°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca. 103 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 50 s</p> <p>gesamt: 7min 10s: ca. 738 l</p> <p>2,37 l/m³ * min (halbe Treppenauglänge: (6,41/2)m * Treppenaugbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) BrTr2, nach Löschbeginn: 1 min 4 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 50 s) $\sigma_{max}=0,48 \text{ m}^{-1}$ (15 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (11 min 45 s) $\sigma_{max}=0,32 \text{ m}^{-1}$ (15 min 40 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wasserebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen Sp2, Sp3, Sp4, Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms) 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 - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch HTR3 (AGF129) 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) Wasserebellöschanlage im Treppenraum: Sprührohre: Treppenaug und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 4 offenen Dralldüsen (am Umfang, ohne Zentraldüse) in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 45°C (2 min)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,5 Vol.% (8 min 40 s)</p> <p>CO_{2,max}: 220 ppm (10 min 10 s)</p> <p>CO_{2,max}: 4.590 ppm (10 min 10 s)</p>	<p>BrTr2 2 min 5 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd) T_{7,1E}: t=0 min: ca. 4°C; t_{BrTr2}: ca. 17°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4, Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca. 82 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 2 min 5 s</p> <p>gesamt: 8 min 30 s: ca. 697 l</p> <p>1,89 l/m³ * min (halbe Treppenauglänge: (6,41/2)m * Treppenaugbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 4 min 32 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (5 min 30 s) $\sigma_{max}=0,33 \text{ m}^{-1}$ (9 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (6 min 40 s) $\sigma_{max}=0,3 \text{ m}^{-1}$ (12 min 40 s)</p>
<p>Versuch HTR4 (AGF129) 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) Wasserebellöschanlage im Treppenraum: Sprührohre: Treppenaug und rechts, 2 Sprühköpfe (horizontal) mit je 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) in Sprühebene 4 (+ 4,1 m)</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 44°C (2 min)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,5 Vol.% (8 min 20 s)</p> <p>CO_{2,max}: 170 ppm (7 min 50 s)</p> <p>CO_{2,max}: 4.000 ppm (7 min 30 s)</p>	<p>BrTr2 2 min</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd) T_{7,1E}: t=0 min: ca. 6°C; t_{BrTr2}: ca. 16°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4, Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca. 26 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 2 min 3 s</p> <p>gesamt: 10 min: ca. 260 l</p> <p>0,60 l/m³ * min (halbe Treppenauglänge: (6,41/2)m * Treppenaugbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung (nach BrTr2, nach Löschbeginn): 2 min 21 s</p> <p>maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) 14 min</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 20 s) $\sigma_{max}=0,54 \text{ m}^{-1}$ (11 min)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (5 min) $\sigma_{max}=0,41 \text{ m}^{-1}$ (14 min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wassernebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ , max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische-Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch HTR5 (AGF129) 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</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=32^{\circ}\text{C}$ (50 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}: 20,4 \text{ Vol.}\%$ (4 min 26 s)</p> <p>$CO_{max}: 320 \text{ ppm}$ (14 min)</p> <p>$CO_{2,max}: 5.180 \text{ ppm}$ (3 min 50 s)</p>	<p>BrTr2 45 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $T_{7,1E}$): t=0 min: ca. 7°C; t_{BrTr2}: ca. 10°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca. 46 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 52 s</p> <p>gesamt: 13min 50s: ca. 636 l</p> <p>1,06 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 1 min 25 s</p> <p>maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) 17 min</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,78 \text{ m}^{-1}$ (16 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,73 \text{ m}^{-1}$ (18 min)</p>
<p>Versuch HTR6 (AGF129) 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</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=48^{\circ}\text{C}$ (1 min 40 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}: 20,5 \text{ Vol.}\%$ (6 min 40 s)</p> <p>$CO_{max}: 269 \text{ ppm}$ (6 min)</p> <p>$CO_{2,max}: 5.270 \text{ ppm}$ (6 min 40 s)</p>	<p>BrTr2 1 min 29 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $T_{7,1E}$): t=0 min: ca. 3°C; t_{BrTr2}: ca. 11°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca. 37 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 1 min 35 s</p> <p>gesamt: 19min 10s: ca. 709 l</p> <p>0,85 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 1 min 54 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min)</p> <p>$\sigma_{max}=0,62 \text{ m}^{-1}$ (13 min 40 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 10 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,48 \text{ m}^{-1}$ (14 min 50 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche					
Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wasserebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch HTR7 (AGF129) 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) Wasserebellöschanlage im Treppenraum: 1 Wasserebelsprühkopf mit 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=50^{\circ}\text{C}$ (5 min)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}: 20,3 \text{ Vol.}\%$ (6 min 10 s)</p> <p>$CO_{max}: 170 \text{ ppm}$ (8 min)</p> <p>$CO_{2,max}: 5.570 \text{ ppm}$ (6 min)</p>	<p>BrTr2 2min 17 s Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et. ($T_{7,3E}$) – 1.Et. (Brandherd $T_{7,1E}$): t=0 min: ca. 8°C; t_{BrTr2}: ca. 21°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4,Sp5: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 4 bar ca.13 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Brandmelder BrTr2 2 min 23 s</p> <p>gesamt: 25min 7s: ca. 327 l</p> <p>0,30 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, nach Löschbeginn: 2 min 39 s</p> <p>maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) 28 min 23 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,87 \text{ m}^{-1}$ (19 min 30 s)</p> <p>Podest 3. Etage Meßgerät defekt</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Normalsprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ , max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP1 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) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 107°C (4 min 10 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,4 Vol. % (5 min 30 s)</p> <p>CO_{max}: 270 ppm (14 min 20 s)</p> <p>CO_{2,max}: 12400 ppm (5 min 20 s)</p>	<p>BrTr1 1 min 13 s</p> <p>BrTr2 2 min 35 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 22°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2,2E}= 90°C 3 min 10 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar (Herstellerangabe))</p> <p>Löschbeginn: 4 min 10 s T_{2,2E}= 107°C</p> <p>gesamt: 16min 40s: ca. 1100 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach Löschbeginn: 4 min 16 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max}= 0,88 \text{ m}^{-1}$ (18 min 30 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 40 s)</p> <p>$\sigma_{max}= 1,49 \text{ m}^{-1}$ (6 min 20 s)</p>
<p>Versuch SP2 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) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 99°C (9 min 24 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,7 Vol. % (11 min)</p> <p>CO_{max}: 220 ppm (11 min 10 s)</p> <p>CO_{2,max}: 8900 ppm (11 min)</p>	<p>BrTr1 24 s</p> <p>BrTr2 1 min 30 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 9°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2,2E}= 82°C 2 min 22 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 9 min 24 s T_{2,2E}= 99°C</p> <p>gesamt: 7min 10s: ca. 473 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich (1 m² große Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 32 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}= 1,22 \text{ m}^{-1}$ (10 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ 2 min</p> <p>$\sigma_{max}= 2,50 \text{ m}^{-1}$ (11 min 30 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Normalsprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP3 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) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 86°C (9 min 25 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,8 Vol.% (10 min 50 s)</p> <p>CO_{max}: 200 ppm (25 min 30 s)</p> <p>CO_{2,max}: 8300 ppm (11 min)</p>	<p>BrTr1 32 s</p> <p>BrTr2 1 min 40 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenraum: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 8°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}), keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}), T_{2,2E}= 73°C 3 min 21 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 9 min 25 s T_{2,2E}= 86°C</p> <p>gesamt: 20min 50s: ca. 1375 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) nach BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 42 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (7 min 20 s) $\sigma_{max}= 0,99 \text{ m}^{-1}$ (9 min 40 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (6 min 50 s) $\sigma_{max}= 1,41 \text{ m}^{-1}$ (10 min 30 s)</p>
<p>Versuch SP4 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) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 94°C (6 min 2 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,4 Vol.% (7 min 30 s)</p> <p>CO_{max}: 170 ppm (6 min 40 s)</p> <p>CO_{2,max}: 13900 ppm (7 min 20 s)</p>	<p>BrTr1 31 s</p> <p>BrTr2 42 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenraum: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 3°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}), keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}), T_{2,2E}= 93°C 3 min 18 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 6 min 2 s T_{2,2E}= 94°C</p> <p>gesamt: 20min: ca. 1320 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Maschinell (10.000 m³/h im Normzustand) nach Löschbeginn: 6 min 4 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 10 s) $\sigma_{max}= 1,10 \text{ m}^{-1}$ (6 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 10 s) $\sigma_{max}= 1,5 \text{ m}^{-1}$ (6 min 50 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Normalsprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug (RA) im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP13 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: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2;2E}= 93°C (5 min 55 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,5 Vol.% (8 min)</p> <p>CO_{max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 9100 ppm (10 min 10 s)</p>	<p>BrTr1 1 min 25 s</p> <p>BrTr2 1 min 48 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7;3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7;1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 12°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2;2E}= 88°C 2 min 54 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar (Herstellerrangabe))</p> <p>Löschbeginn: 5 min 55 s T_{2;2E}= 93°C</p> <p>gesamt: 40min 5s: ca. 2645 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>natürlich (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach Löschbeginn: 6 min 5 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2 min 40 s)</p> <p>$\sigma_{max} = 1,37\text{ m}^{-1}$ (12 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max} = 1,64\text{ m}^{-1}$ (12 min 50 s)</p>
<p>Versuch SP14 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: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2;2E}= 99°C (3 min 22 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,6 Vol.% (5 min 30 s)</p> <p>CO_{max}: 70 ppm (15 min)</p> <p>CO_{2,max}: 8300 ppm (5 min 10 s)</p>	<p>BrTr1 1 min 28 s</p> <p>BrTr2 1 min 41 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7;3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7;1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 14°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2;2E}= 79°C 2 min 40 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 3 min 22 s T_{2;2E}= 99°C</p> <p>gesamt: 20min 28s: ca. 1350 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich (1 m² große Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe) Öffnung nach Löschbeginn: 1 min 52 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2 min 10 s)</p> <p>$\sigma_{max} = 1,24\text{ m}^{-1}$ (17 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max} = 1,30\text{ m}^{-1}$ (8 min 10 s)</p>

Tabelle 3: Brand- und Löschversuche – Vergleich der Versuche ohne Windeinfluß

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug		Extinktionskoeffizient m^{-1}		Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge				
		1. Tür in den Brandraum 2. Zwischentür 3. Tür in den Treppenraum	Sonstige Öffnungen im Treppenraum (Türen, Fenster)	natürlich (1 m ² -Öffnung) Beginn	maschinell (10.000 m ³ /h im Normzustand) Beginn	vor Löschanfang u. nach BrTr2 / nach Löschanfang	Podest 2. Etage		Podest 3. Etage	BrTr1 (unter 3. Podest)		BrTr2 (unter dem Dach)	Niederdruck-Wassersprinkler	Sprinkler Sp5 (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100m ^{1/2} s) Max. Temp. T _{2;E}		
BMBF H5 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 13 s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	1 min 4 s	3,1m ⁻¹ 7 min 10 s	1 min 4 s	2,81m ⁻¹ 6 min 50 s	nein	nein	58 s	keine Auslösung (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100m ^{1/2} s) 43°C (1min 4s)	58 s 1314 l	-
HTR1 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 3min 22 s	ja 9 min 59 s	nach Löschbeg., nach BrTr2	2 min	0,61m ⁻¹ 4 min 50 s	2 min 15 s	0,7m ⁻¹ 4 min	nein	nein	1 min 22 s	1 min 53 s (ca. 75°C) 98°C (2min 40s)	2 min 47 s (absichtlich verspätet) 1350 l	-
HTR21 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 58 s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	nicht übers.	0,15m ⁻¹ 5 min	nicht übers.	0,04m ⁻¹ 1 min 30 s	nein	nein	44 s	keine Auslösung (31°C (50s))	47 s 992 l	-
HTR22 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 4 s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 50 s	0,48m ⁻¹ 15 min 20 s	11 min 45 s	0,32m ⁻¹ 15 min 40 s	nein	nein	48 s	keine Auslösung (28°C (1min))	50 s 798 l	-
HTR3 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 4min 32s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	5 min 30 s	0,33m ⁻¹ 9 min 20 s	6 min 40 s	0,3m ⁻¹ 12 min 40 s	nein	nein	2 min 5 s	keine Auslösung (45°C (2min))	2 min 5 s 697 l	-
HTR4 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 2min 21s	ja 14 min	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 20 s	0,54m ⁻¹ 11 min	5 min	0,41m ⁻¹ 14 min	nein	nein	2 min	keine Auslösung (44°C (2min))	2 min 3 s 260 l	-
HTR5 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 25s	ja 17 min	nach Löschbeg., nach BrTr2	3 min 50 s	0,78m ⁻¹ 16 min 50 s	3 min 50 s	0,73m ⁻¹ 18 min	nein	nein	45 s	keine Auslösung (32°C (50s))	52 s 636 l	-
HTR6 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 54s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	3 min	0,62m ⁻¹ 13 min 40 s	3 min 10 s	0,48m ⁻¹ 14 min 50 s	nein	nein	1 min 29 s	keine Auslösung (48°C (1min 40s))	1 min 35 s 709 l	-
HTR7 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 2min 39s	ja 28 min 23 s	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 20 s	0,87m ⁻¹ 19 min 30 s	kein Meßw.	kein Meßw.	nein	nein	2 min 17 s	keine Auslösung (50°C (5min))	2 min 23 s 327 l	-

Niederdruck-Wassersprinklerlöschanlage

Ohne Windeinfluß

Zu Tabelle 3: Brand- und Löschversuche – Vergleich der Versuche ohne Windeinfluß

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug		Extinktionskoeffizient m^{-1}				Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge		
		1. Tür in den Brandraum 2. Zwischentür 3. Tür in den Treppenraum	Sonstige Öffnungen im Treppenraum (Türen, Fenster)	natürlich (1 m ² -Öffnung) Beginn	maschinell (10.000 m ³ /h im Normzustand) Beginn	vor Löschbeginn u. nach BrTr2 / nach Löschbeginn	Podest 2. Etage	Podest 3. Etage	0,15 m ⁻¹ über-schritten		0,15 m ⁻¹ über-schritten	Max.		Max.	BrTr1 (unter 3. Podest)	BrTr2 (unter dem Dach)
Sprinkleranlage (Normalsprinkler)																
Ohne Windeinfluß																
SP1	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 4min 16 s	nein	nach Löschbeg.	2 min 50 s	0,88 m ⁻¹ 18 min 30 s	2 min 40 s	1,49 m ⁻¹ 6 min 20 s	nein	1 min 13s	2 min 35 s	3 min 10 s 90°C	-	4min 10 s 107°C 1100 l
SP2	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 32 s	nein	vor Lösch., nach BrTr2	2 min 20 s	1,22 m ⁻¹ 10 min 20 s	2 min 20 s	2,50 m ⁻¹ 11 min 30 s	nein	24 s	1 min 30 s	2 min 22 s 82°C	-	9 min 24 s 99°C 473 l
SP3	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	nein	ja 1min 42 s	vor Lösch., nach BrTr2	7 min 20 s	0,99 m ⁻¹ 9 min 40 s	6 min 50 s	1,41 m ⁻¹ 10 min 30 s	nein	32 s	1 min 40 s	3 min 21 s 73°C	-	9 min 25 s 86°C 1375 l
SP4	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	nein	ja 6min 4 s	nach Löschbeg.	3 min 10 s	1,10 m ⁻¹ 6 min 20 s	3 min 10 s	1,50 m ⁻¹ 6 min 50 s	nein	31 s	42 s	3 min 18 s 93°C	-	6 min 2 s 94°C 1320 l
SP13	ja	1. zu 2. auf 3. zu	nein	ja 6min 5s	nein	nach Löschbeg.	2 min 40 s	1,37 m ⁻¹ 12 min 50 s	2 min 50 s	1,64 m ⁻¹ 12 min 50 s	nein	1min 25 s	1 min 48 s	2 min 54 s 88°C	-	5 min 55 s 93°C 2645 l
SP14	ja	1. zu 2. auf 3. zu	nein	ja 1min 52 s	nein	vor Lösch.,	2 min 10 s	1,24 m ⁻¹ 17 min 20 s	2 min 20 s	1,30 m ⁻¹ 8 min 10 s	nein	1min 28 s	1 min 41 s	2 min 40 s 79°C	-	3 min 22 s 99°C 1350 l

6. BILDER

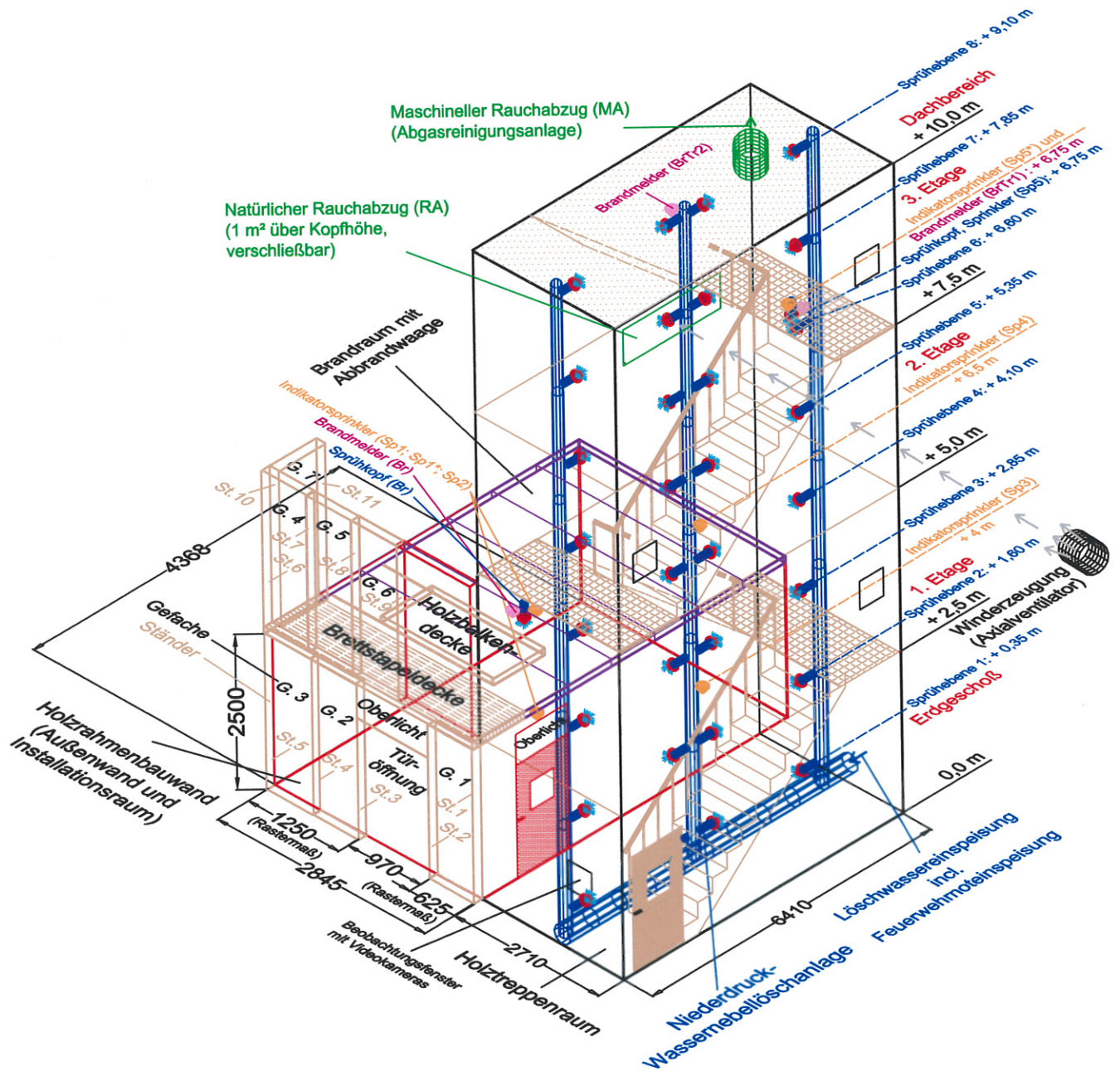


Bild 1.1: Aufbau des Versuchsholzgebäudes (Konstruktionszeichnung).

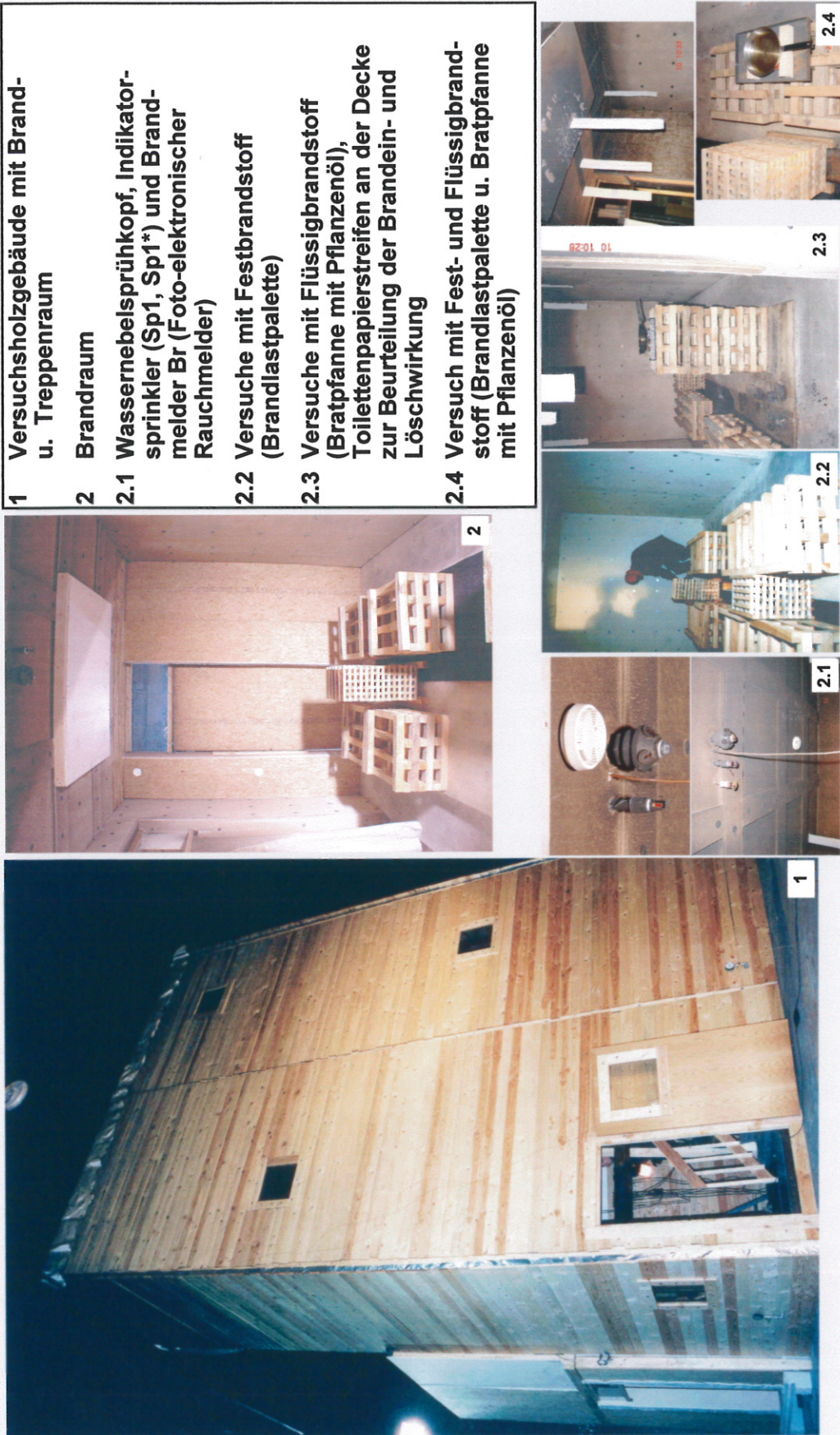
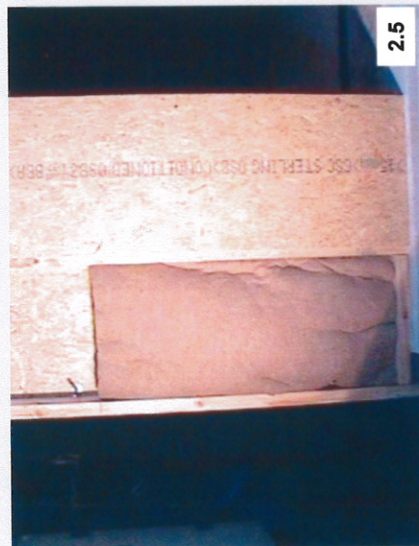


Bild 1.2: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Gesamtansicht und Brandraum



2.5



2.6



20 15:02

2.5 Holzrahmenbauwand (Außenwand) mit Flachsdämmstoff

2.6 Brettstapeldecke und Innenwand des Installationsraumes mit Abzweigdosenöffnung (Verteileröffnung) in Gefach 1 (Öffnung im Brandversuch mit Federdeckel aus Kunststoff ver-schlossen, Steckdosen- und Lichtschalteröffnung siehe Foto 2)

2.7 Installationsraum mit Dämmstoff (Gefach 1 mit Zellulosedämmstoff (siehe Foto) oder Flachsdämmstoff)

2.8 Holz balkendecke (geöffnet, ohne Gips-kartonplatte) mit Flachsdämmstoff (Foto 2: Holzbalkendecke mit Gips-kartonplatte)



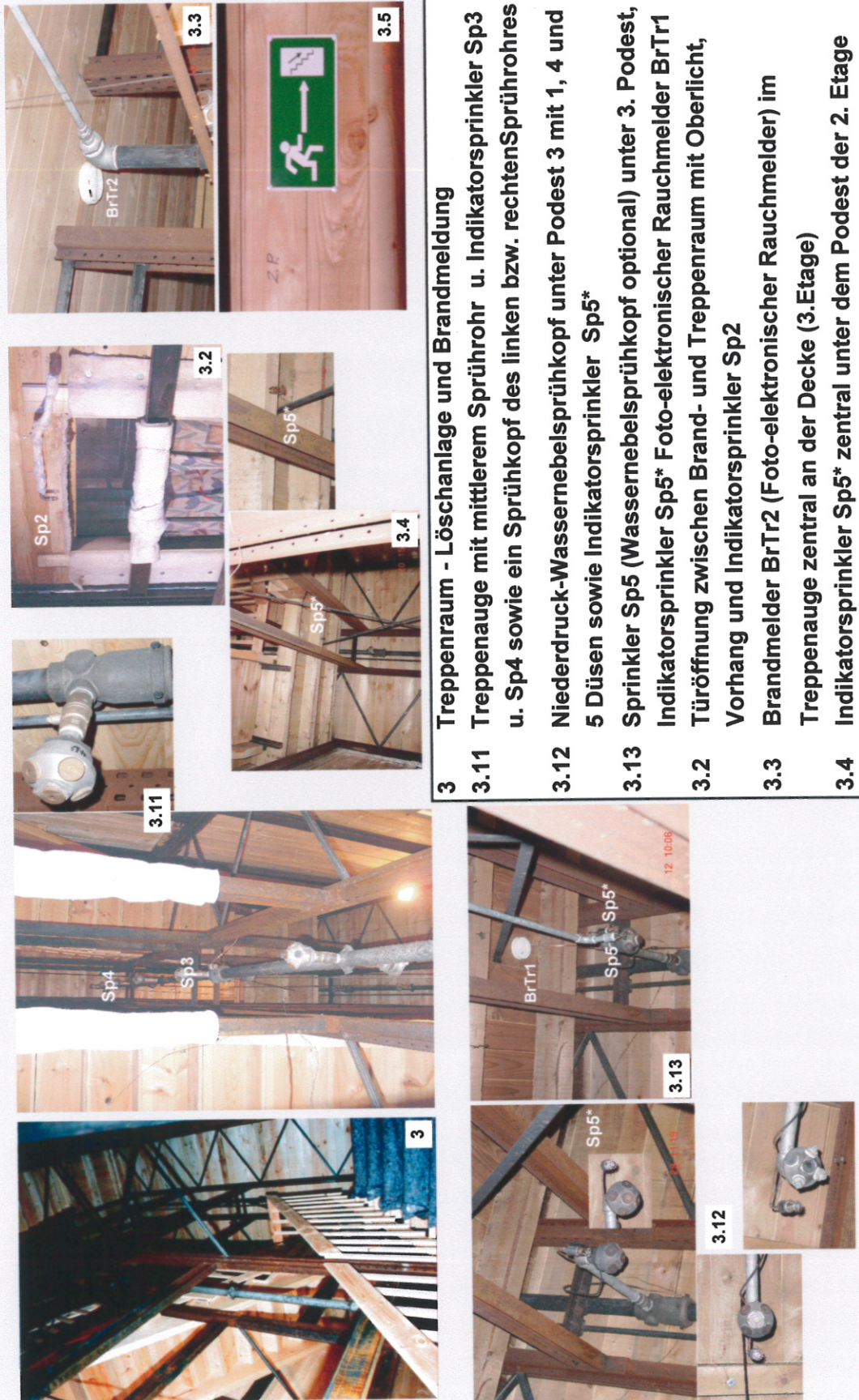
2.7

22 8:47



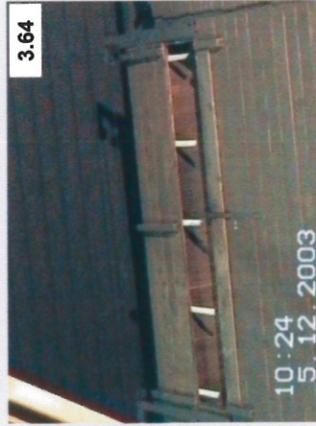
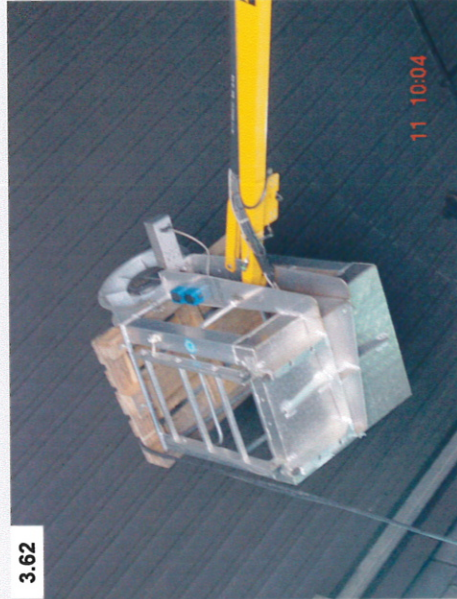
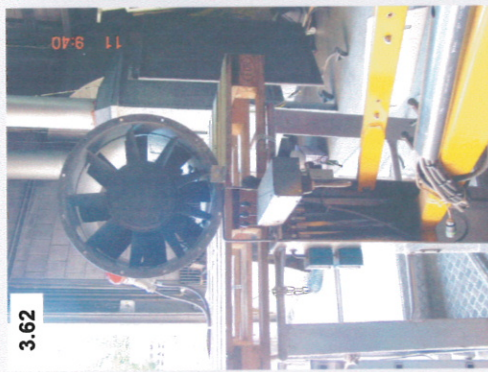
2.8

Bild 1.3: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Brandraum - Wand- und Deckenkonstruktionen



- 3 Treppenraum - Löschanlage und Brandmeldung
- 3.11 Treppenaug mit mittlerem Sprührohr u. Indikatorsprinkler Sp3 u. Sp4 sowie ein Sprühkopf des linken bzw. rechten Sprührohres
- 3.12 Niederdruck-Wassernebelsprühkopf unter Podest 3 mit 1, 4 und 5 Düsen sowie Indikatorsprinkler Sp5*
- 3.13 Sprinkler Sp5 (Wassernebelsprühkopf optional) unter 3. Podest, Indikatorsprinkler Sp5* Foto-elektronischer Rauchmelder BrTr1
- 3.2 Türöffnung zwischen Brand- und Treppenraum mit Oberlicht, Vorhang und Indikatorsprinkler Sp2
- 3.3 Brandmelder BrTr2 (Foto-elektronischer Rauchmelder) im Treppenaug zentral an der Decke (3.Etage)
- 3.4 Indikatorsprinkler Sp5* zentral unter dem Podest der 2. Etage
- 3.5 Rettungsweg-Kennzeichnung

Bild 1.4: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Treppenraum



3 Treppenraum - Rauchabzug

3.61 Natürlicher Rauchabzug RA (1m² - Öffnung)

3.62 Axialventilator auf Hubsteiger zur Winderzeugung an 1m² - Öffnung

3.63 Verdampfer-Nebelmaschine zur Erzeugung von kaltem Rauch

3.64 Wind-Indikatorstreifen zur Anzeige der Strömungsrichtung

3.7 Maschinelles Rauchabzug MA (Abgasreinigungsanlage)

Bild 1.5: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernerbellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
 - Rauchabzug, Winderzeugung, Verdampfer-Nebelmaschine

3.8 Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage



3.81 Holzkippe (ca. 13 kg), Zündwanne mit Heptan (0,5 l)



3.82 Stapelbehälter aus Polypropylen (ca. 2 kg), 1 Paket Babywindeln (ca. 2,8 kg), 2 Vierkanthölzer (ca. 0,8 kg), Zündwanne mit Heptan (0,5 l)



3.83 Bratpfanne mit auf Flammpunkttemperatur vorgeheiztem Pflanzenöl (1 l) auf 3 Pastenbrennern, 2 Vierkanthölzer (ca. 0,8 kg)

Bild 1.6: Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage.



Bild 1.7: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernerbellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meßtechnik



4.6 Rauchdichtemessung mit Lichtmeßgerät (Maurer), Meßlicht-Empfänger und -geber im Treppenraum auf den Podesten der 2. und 3. Etage

4.7 Prandtl-Staurohre an Treppenraumtür und Zwischenfür Brand-/Treppenraum

4.8 Flügelradanemometer an 1 m²-Öffnung der 3. Etage

4.9 Brandgasanalyse im Brand- und Treppenraum:
Kontinuierliche Gasanalysatoren für Sauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid

4.10 Manometer zur Ermittlung der Auslösezeitpunkte der Indikatordispenser



Bild 1.8: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meßtechnik



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



4.11.1



4.11.2



4.11.3



4.11.4

- 4.11 Bidirektionale Strömungsmeßsonden
- 4.11.1 Türöffnung in den Treppen- und Brandraum
- 4.11.2 Treppenauge
- 4.11.3 1 m² - Öffnung
- 4.11.4 Maschinelles Rauchabzug
- 4.12 Videokameras an den Beobachtungsfenstern, Übertragung der Aufnahmen auf eine Monitorwand im Foyer



4.12



Bild 1.9: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meß- und Videotechniktechnik

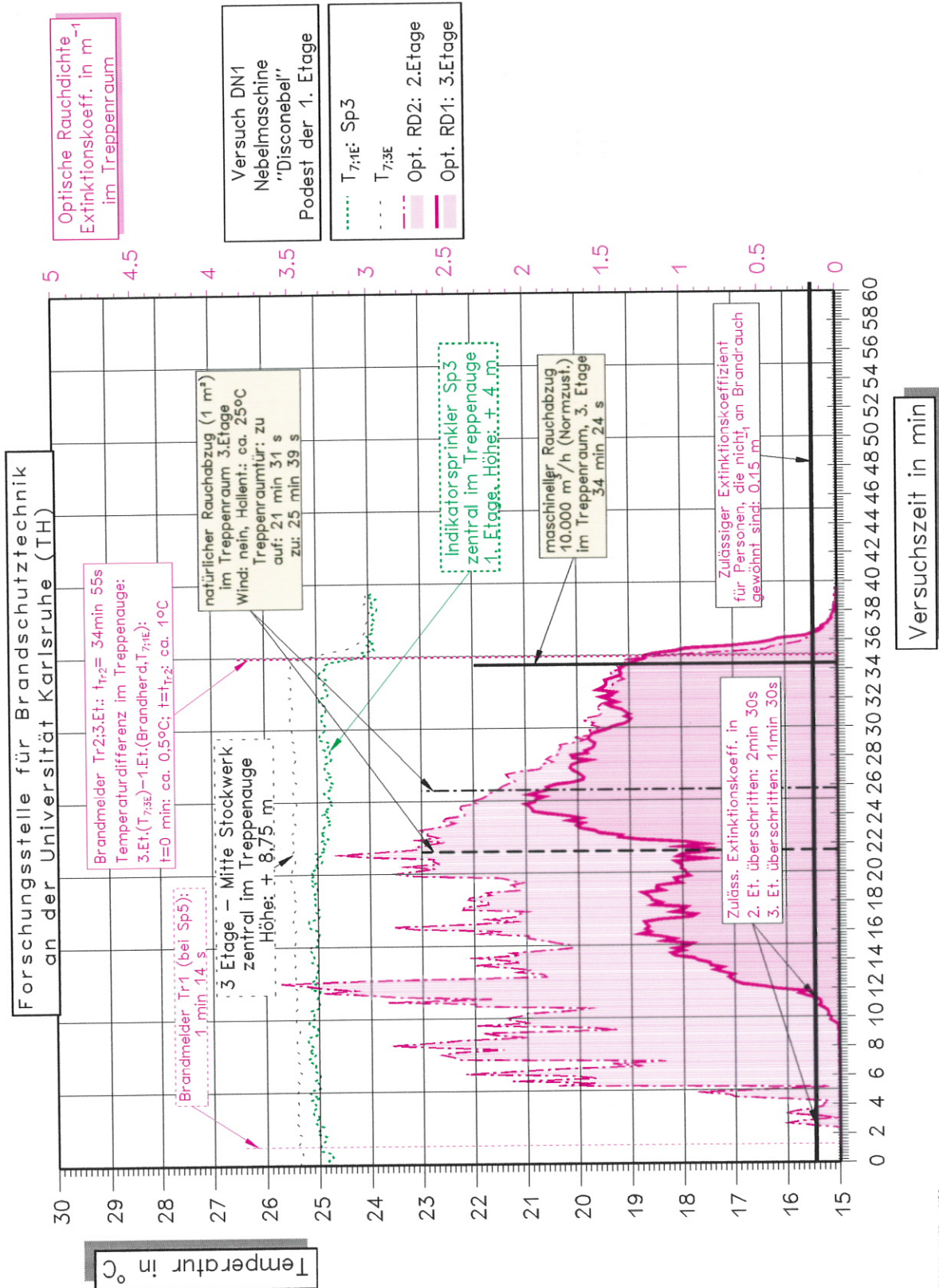
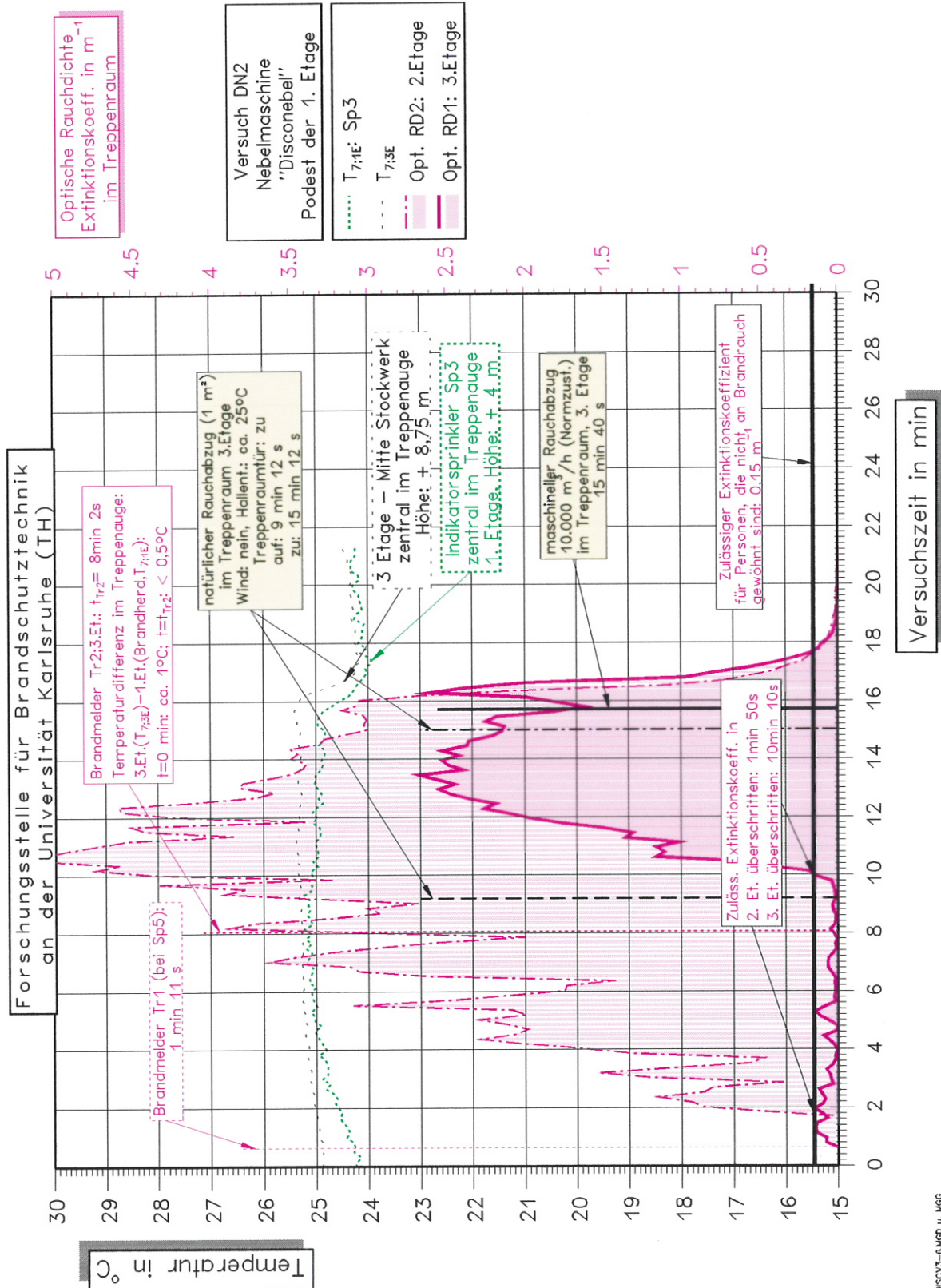


Bild 2.1: Versuch DN1 - Ausgewählte Temperaturverläufe, optische Brandrauchdichte (Extingtionskoeffizient), Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



DSCV3-6MKB u. MGB

Bild 2.2: Versuch DN2 - Ausgewählte Temperaturverläufe, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP1: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler, Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Indikatorsprinkler: Glasfaß: 3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca. 50 m^{1/2} s^{1/2}

Fotoelektronischer Rauchmelder

Vertikaler Wassernebel-Sprühkopf: nicht aktiv

unter Podest 3



Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.2) sowie am Stapelbehälter (Foto 1.3)



Bild 3.1: Versuch SP1 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

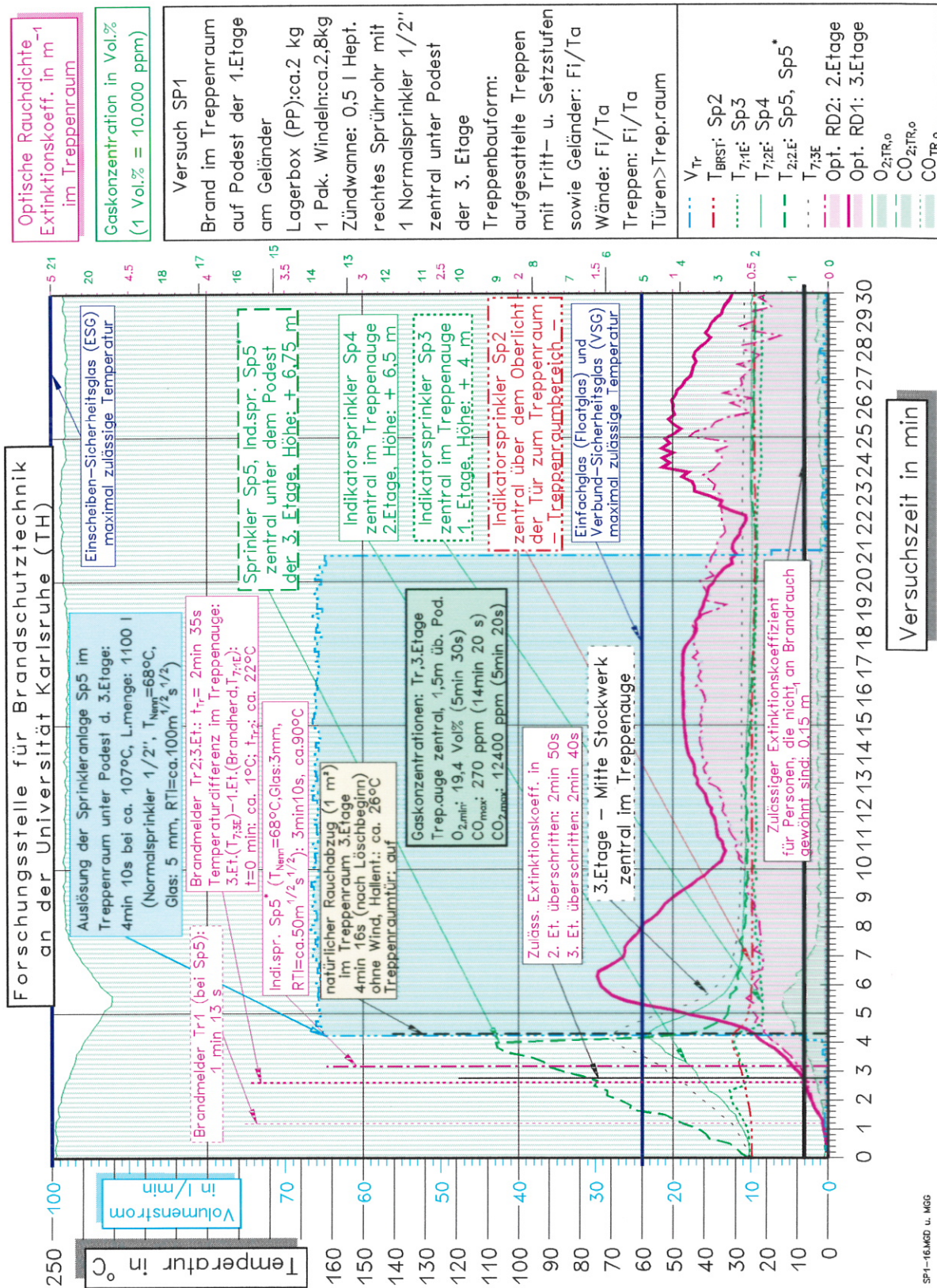


Bild 3.2: Versuch SP1 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP1: Brandgröße bei Löschbeginn

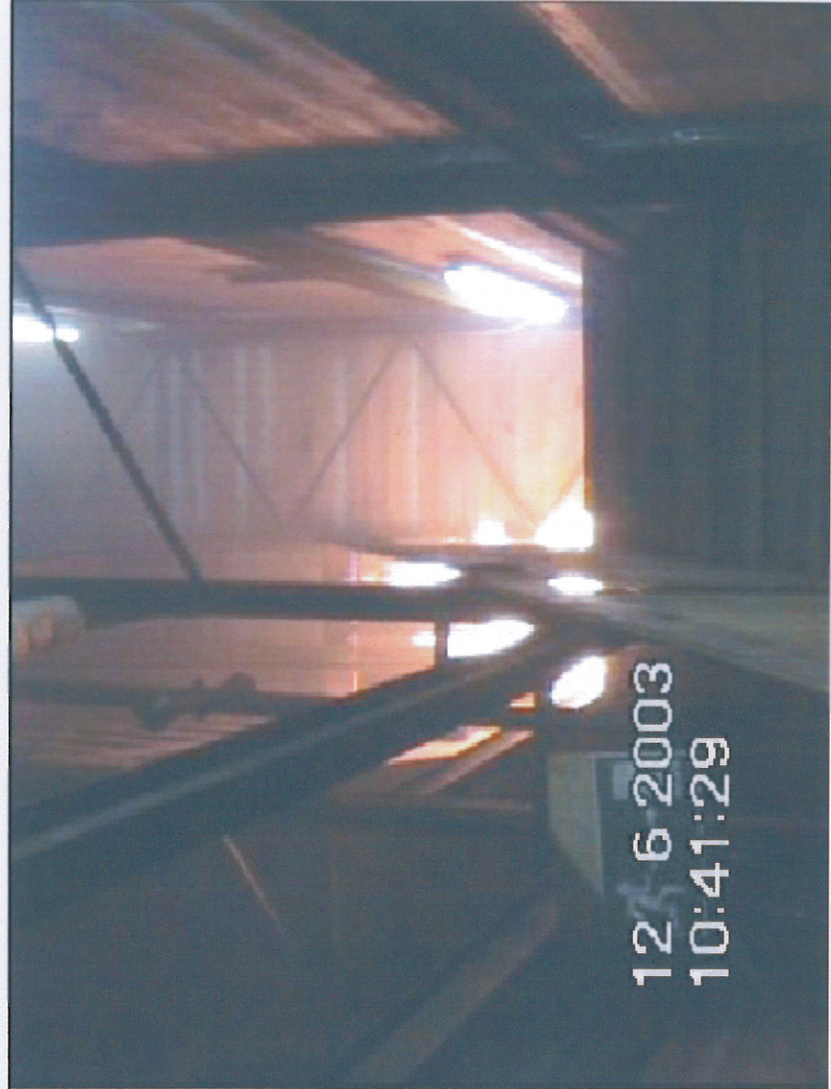


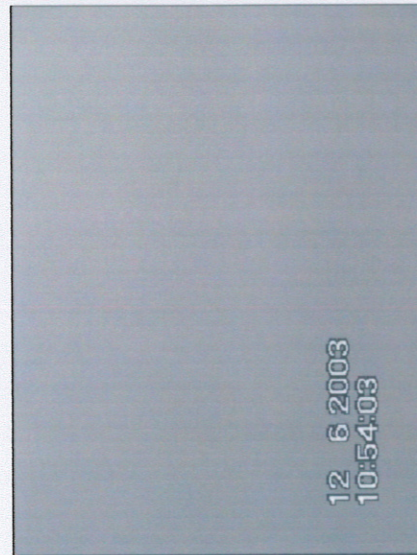
Bild 3.3: Versuch SP1 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP1: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
16 min 44 s



Podest 2. Etage
18 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 0,88 \text{ m}^{-1}$



Podest 3. Etage
6 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 1,49 \text{ m}^{-1}$

Bild 3.4: Versuch SP1 – maximale Verrauchung im Treppenraum.



Versuch SP2: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler,
Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$,
RTI = ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca.
50 m^{1/2} s^{1/2}

**Fotoelektronischer Rauch-
melder**

**Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf:** nicht aktiv

unter Podest 3



**Brandschäden an der Vorder-
(Foto 1.1) und Rückseite des
Geländers (Foto 1.2) sowie an
der Kunststoffabdeckung der
Feuchtraumleuchte an der
Treppenraumwand (Foto 1.3)
=> Wassereintritt führt zu Strom-
abschaltung durch Differenz-
stromschutzeinrichtung**

Bild 4.1: Versuch SP2 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

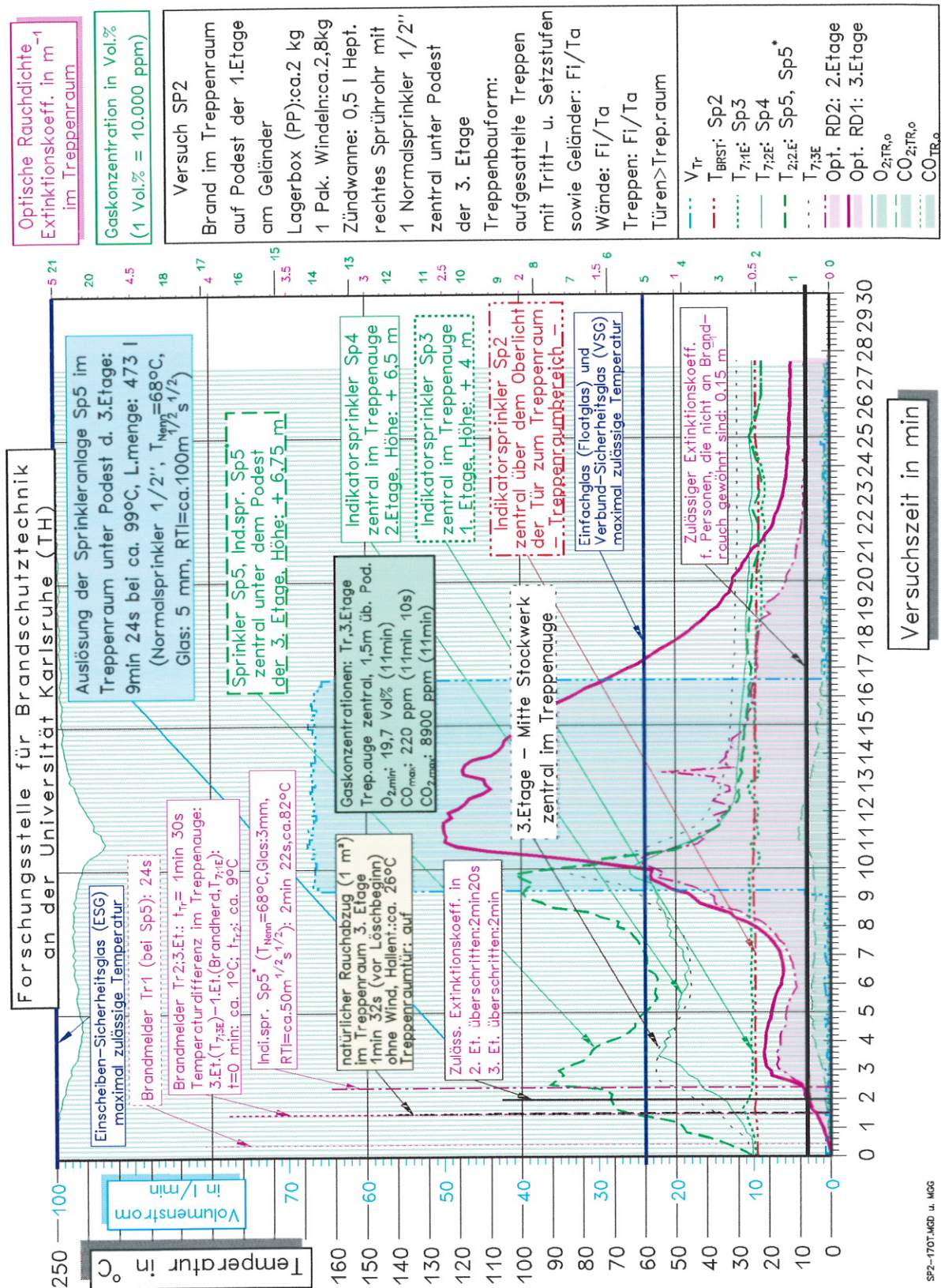


Bild 4.2: Versuch SP2 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Braundrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂- , CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP2: Brandgröße bei Löschbeginn



Bild 4.3: Versuch SP2 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP2: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
14 min 26 s
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)



Podest 2. Etage
10 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 1,22 \text{ m}^{-1}$
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)



Podest 3. Etage
11 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 2,5 \text{ m}^{-1}$
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)

Bild 4.4: Versuch SP2 – maximale Verrauchung im Treppenraum.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP3: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler,
Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$,
 $\text{RTI} = \text{ca. } 100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, $\text{RTI} = \text{ca.}$
 $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$

Fotoelektronischer Rauch-
melder

Vertikaler Wasserebel-
Sprühkopf: nicht aktiv

unter Podest 3



1.1



1.1



1.2



1.2



1.3



1.4

Brandschäden an der Vorder-
(Foto 1.1) und Rückseite des
Geländers (Foto 1.2) sowie an
der Kunststoffabdeckung der
Feuchtraumleuchte an der
Treppenraumwand (Foto 1.3)
=> Wassereintritt führt zu
Stromabschaltung durch Diffe-
renzstromschutzeinrichtung,
Nachlöscharbeiten (Foto 1.4)

Bild 5.1: Versuch SP3 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

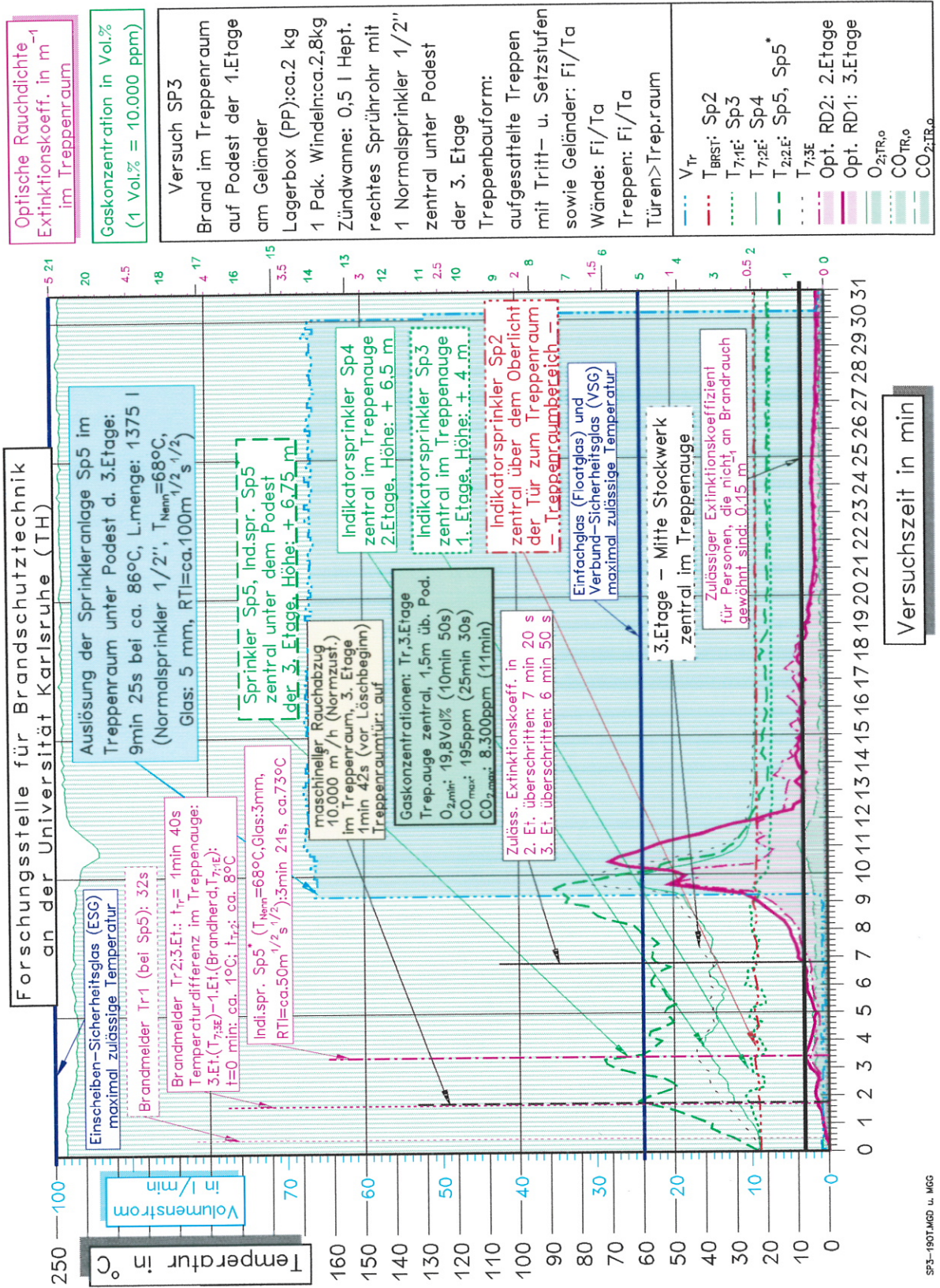


Bild 5.2: Versuch SP3 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Versuch SP3: Brandgröße bei Löschbeginn



Bild 5.3: Versuch SP3 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP3: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (maschineller Rauchabzug, Tür auf)**



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
16 min 55 s
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)



Podest 2. Etage
9 min 40 s
 $\sigma_{\max} = 0,99 \text{ m}^{-1}$
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)



Podest 3. Etage
10 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 1,41 \text{ m}^{-1}$
(Ausfall der Treppenraumbeleuchtung)

Bild 5.4: Versuch SP3 – maximale Verrauchung im Treppenraum.



Versuch SP4: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler,
Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$,
RTI = ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$, RTI = ca.
50 m^{1/2} s^{1/2}

Fotoelektronischer Rauch-
melder

Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf: nicht aktiv

unter Podest 3



1.1



1.2



1.2



1.3



1.4

Brandschäden an der Vorder-
(Foto 1.1) und Rückseite des
Geländers (Foto 1.2) sowie am
Podestboden (Foto 1.3), zu
erwartende große Löschwas-
serschäden aufgrund der gro-
ßen Löschwasseremenge (Foto
1.4)

Bild 6.1: Versuch SP4 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

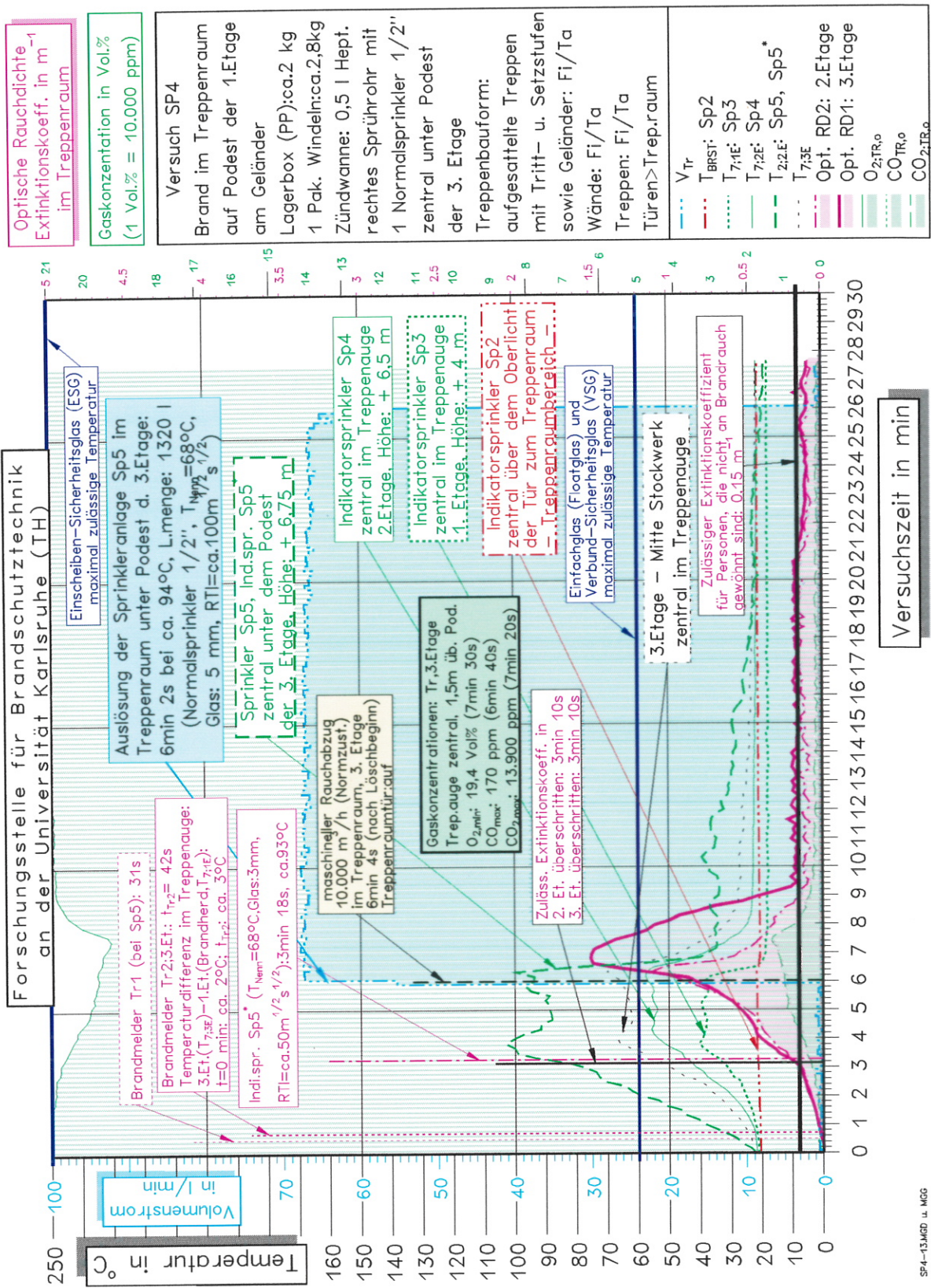


Bild 6.2: Versuch SP4 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O_2 -, CO_2 - und CO -Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP4: Brandgröße bei Löschbeginn



Bild 6.3: Versuch SP4 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP4: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (maschineller Rauchabzug, Tür auf)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
17 min 2 s**



**Podest 2. Etage
6 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 1,1 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3.Etage
6 min 50 s
 $\sigma_{\max} = 1,5 \text{ m}^{-1}$**

Bild 6.4: Versuch SP4 – maximale Verrauchung im Treppenraum.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP13: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler, Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Indikatorsprinkler: Glasfaß: 3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca. 50 m^{1/2} s^{1/2}

Fotoelektronischer Rauchmelder

Vertikaler Wassernebel-Sprühkopf: nicht aktiv unter Podest 3



1.1



1.2



1.3



Brandschäden an der Vorder- (Foto 1.1) u. Rückseite des Geländers (Foto 1.2) sowie am Stapelbehälter (Foto 1.3)

Bild 7.1: Versuch SP13 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

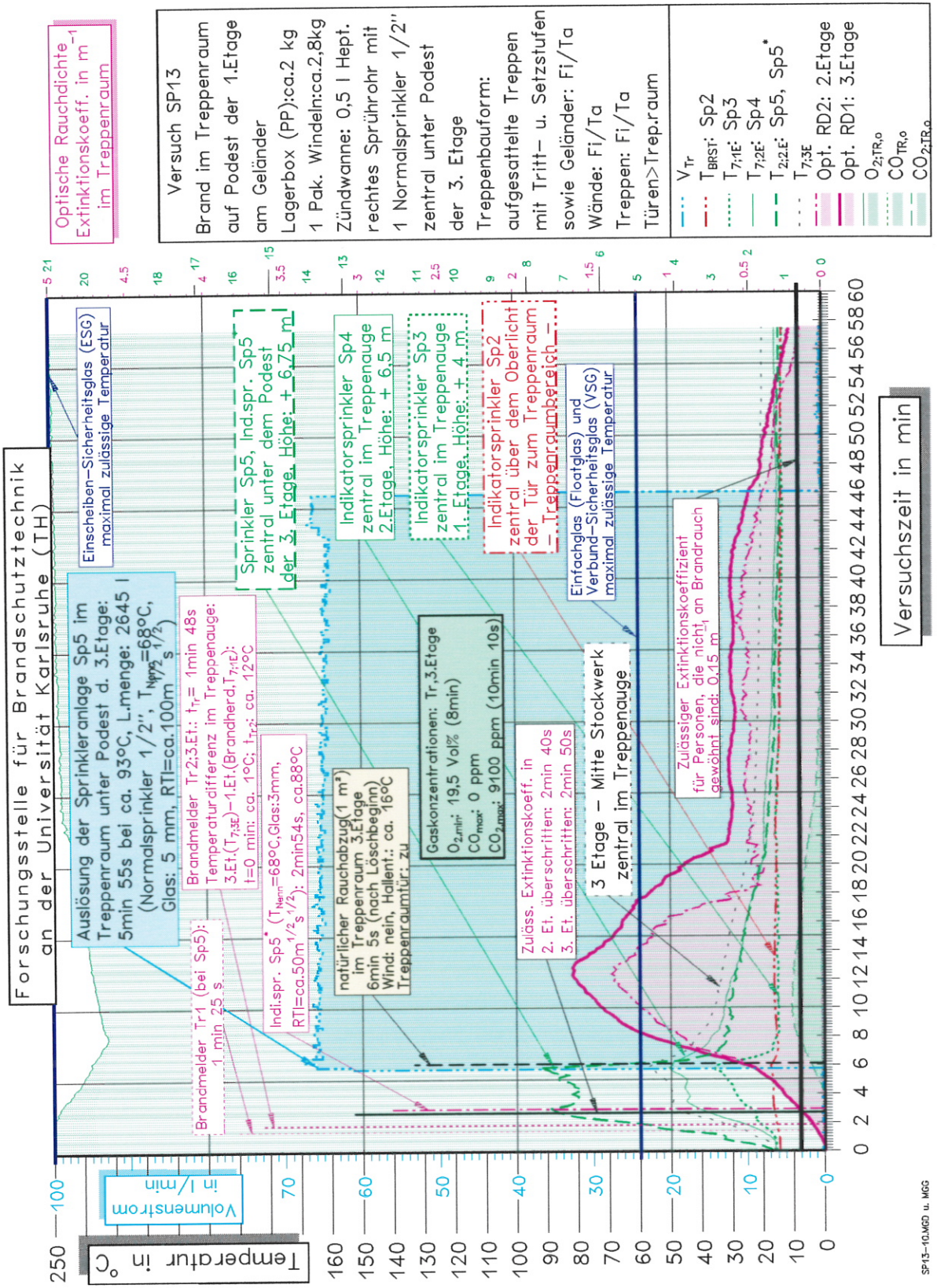


Bild 7.2: Versuch SP13 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brauchdichte (Extinktionskoeffizient), O_2 -, CO_2 - und CO -Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP13: Brandgröße bei Löschbeginn



Bild 7.3: Versuch SP13 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP13: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
30 min 52 s**



**Podest 2. Etage
12 min 50 s
 $\sigma_{\max} = 1,37 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3.Etage
12 min 50 s
 $\sigma_{\max} = 1,64 \text{ m}^{-1}$**

Bild 7.4: Versuch SP13 – maximale Verrauchung im Treppenraum.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Versuch SP14: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



Treppenraum (Podest 1. Eta-
ge) mit Brandlast vor dem Ver-
such



Sprinkler: Normalsprinkler,
Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$,
RTI = ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI = ca.
50 m^{1/2} s^{1/2}

**Fotoelektronischer Rauch-
melder**

**Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf:** nicht aktiv
unter Podest 3



1.1

Brandschäden an
der Vorder- (Foto
1.1) u. Rückseite
des Geländers
(Foto 1.2) sowie
am Stapelbehäl-
ter (Foto 1.3)



1.2



1.3

Bild 8.1: Versuch SP14 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

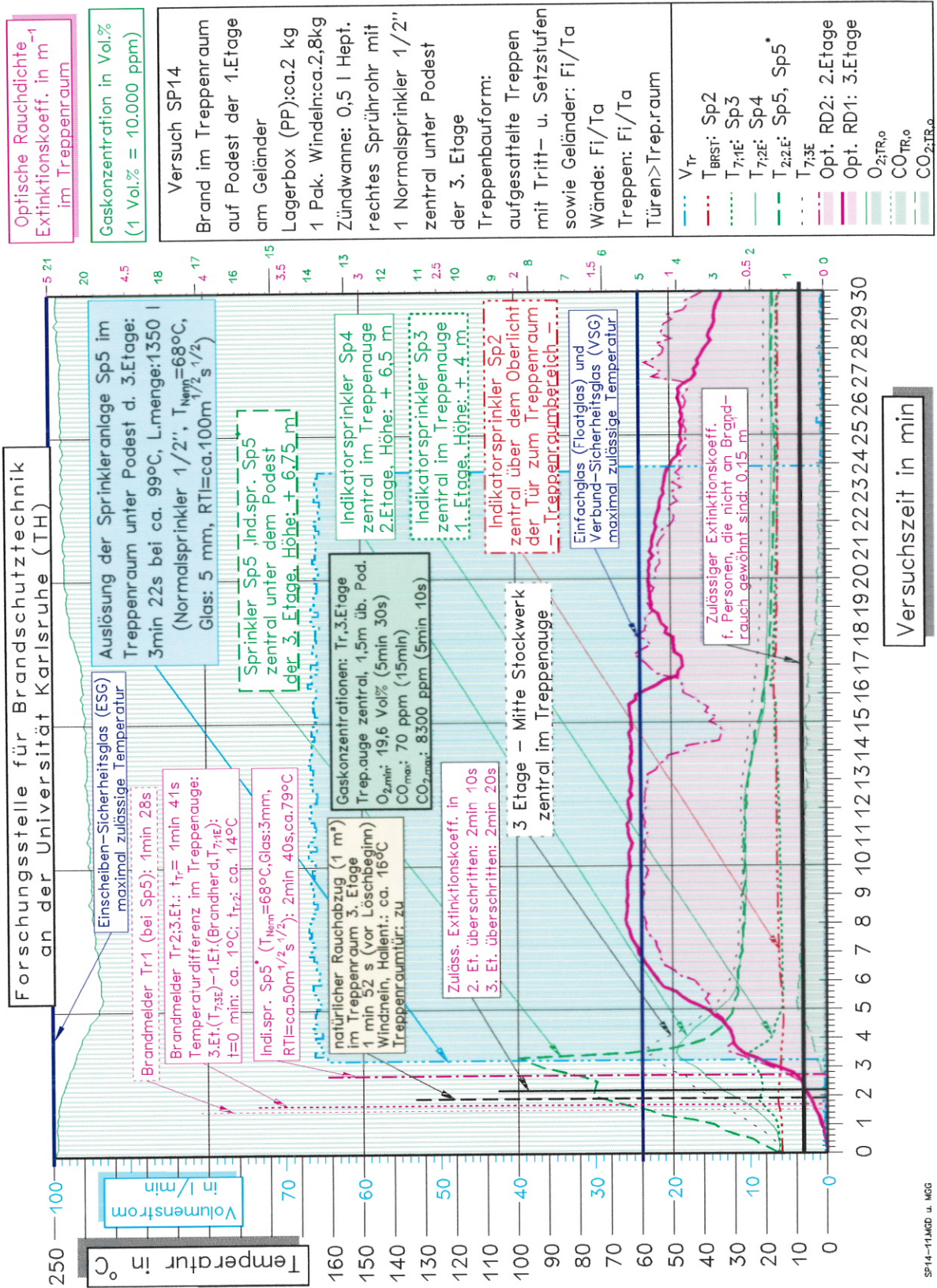


Bild 8.2: Versuch SP14 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP14: Brandgröße bei Löschbeginn

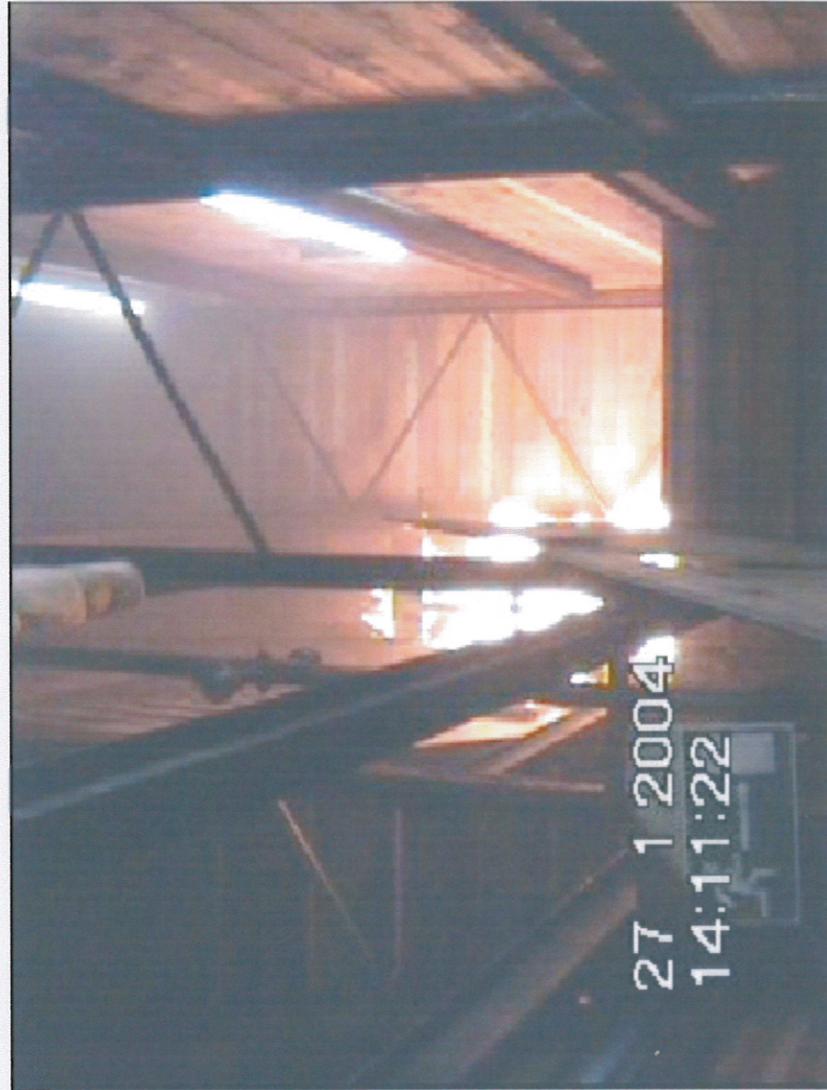


Bild 8.3: Versuch SP14 – Brandgröße bei Löschbeginn.



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



**Versuch SP14: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
21 min 2 s**



**Podest 2. Etage
17 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 1,24 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3.Etage
8 min 10 s
 $\sigma_{\max} = 1,3 \text{ m}^{-1}$**

Bild 8.4: Versuch SP14 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel mit Sprinkler - Versuche ohne Wind

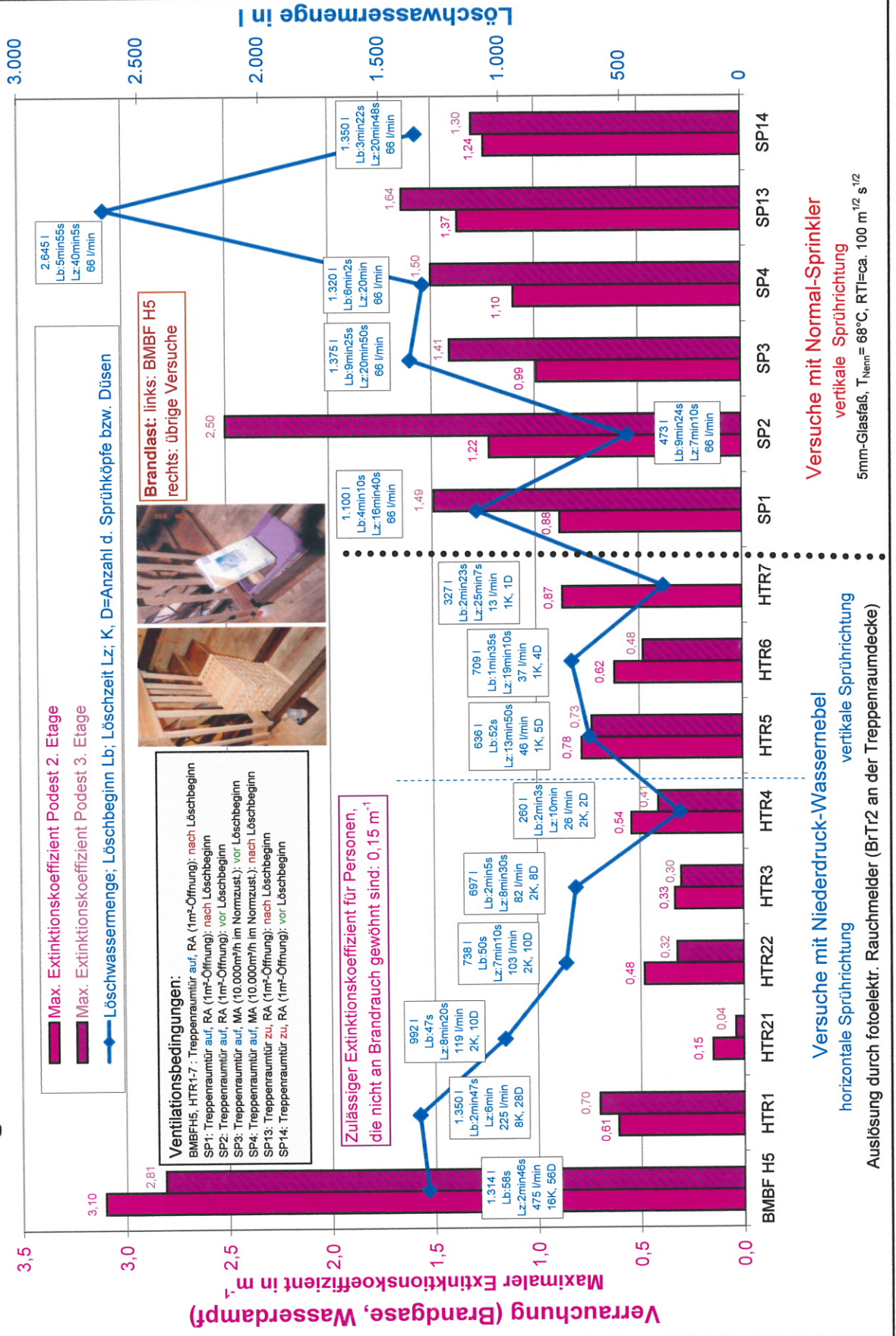


Bild 9: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normal-Sprinkler.
- Versuche ohne Wind

Versuche mit Normal-Sprinkler
vertikale Sprühhichtung
5mm-Glasfaß, T_{Nenn} = 68°C, RTI=ca. 100 m^{1/2} s^{1/2}

Versuche mit Niederdruck-Wassernebel
vertikale Sprühhichtung
horizontale Sprühhichtung
Auslösung durch fotoelektr. Rauchmelder (BrTr2 an der Treppenraumdecke)