

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER LÄNDER

DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

BERICHTE

Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer `Brandgefahrenklasse´.

- Teil 1:
- Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel im Holztreppenraum (ohne und mit Windeinfluss auf einen natürlichen Rauchabzug).
 - Vergleich mit Niederdruck-Wassernebel und Sprinkler.

von Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

143

Forschungsbericht Nr. 143

**Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete
und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche
Löschwassermengen in Abhängigkeit einer
`Brandgefahrenklasse`.**

- Teil 1:
- Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel im Holztreppenraum (ohne und mit Windeinfluss auf einen natürlichen Rauchabzug).
 - Vergleich mit Niederdruck-Wassernebel und Sprinkler.

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Januar 2007

INHALTSVERZEICHNIS

	BERICHTSKENNBLATT	1
1.	EINLEITUNG	2
2.	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN MIT HOCHDRUCK- WASSERNEBEL	5
2.1	Versuchsaufbau, Messtechnik und Versuchsdurchführung	5
2.2	Auslegung von Düsen und Sprühkopf - Tropfenmessungen und Kaltversuche	6
3.	BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE OHNE WINDEINFLUSS	9
3.1	Versuche mit festen Brandstoffen	9
3.1.1	Versuch HDSCOW1 - 135 bar	10
3.1.2	Versuch HDSCOW2 - 135 bar	11
3.1.3	Versuch HDSCOW3 - 135 bar	12
3.1.4	Versuch HDSCOW4 - 80 bar	13
3.1.5	Versuch HDSCOW5 - 80 bar	13
3.2	Versuche mit flüssigen Brandstoffen	14
3.2.1	Versuch HDSCOW6 - 135 bar	14
3.2.2	Versuch HDSCOW7 - 80 bar	15
3.2.3	Versuch HDSCOW8 - 135 bar	16
4.	BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE MIT WINDEINFLUSS	17
4.1	Versuche mit festen Brandstoffen	21
4.1.1	Versuch HDSCMW1 - 135 bar	21
4.1.2	Versuch HDSCMW2 - 135 bar	22
4.1.3	Versuch HDSCMW3 - 80 bar	23
4.1.4	Versuch HDSCMW4 - 80 bar	24
4.2	Versuche mit flüssigen Brandstoffen	25
4.2.1	Versuch HDSCMW5 - 135 bar	25
5.	VERGLEICH DER VERSUCHE MIT HOCHDRUCK-WASSER- NEBEL	27
5.1	Versuche ohne Windeinfluss	27
5.1.1	Feste Brandstoffe	27

5.1.2	Flüssige Brandstoffe	28
5.2	Versuche mit Windeinfluss	29
5.2.1	Feste Brandstoffe	29
5.2.2	Flüssige Brandstoffe	30
6.	VERGLEICH VON HOCHDRUCK-WASSERNEBEL MIT NIEDERDRUCK-WASSERNEBEL UND SPRINKLER	31
6.1	Versuche ohne Windeinfluss	31
6.2	Versuche mit Windeinfluss	32
6.3	Versuche ohne Unterscheidung des Windeinflusses	34
7.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	36
8.	LITERATURVERZEICHNIS	38
9.	TABELLEN	40
10.	BILDER	55

BERICHTSKENNBLOTT

Nummer des Berichtes: <p style="text-align: center;">143</p>	Titel des Berichtes: Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer Brandgefahrenklasse. Teil 1: <ul style="list-style-type: none"> • Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel im Holztreppenraum (ohne und mit Windeinfluss auf einen natürlichen Rauchabzug) • Vergleich mit Niederdruck-Wassernebel und Sprinkler. 	ISSN: <p style="text-align: center;">0170-0060</p>
Autor: <p style="text-align: center;">Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann</p>		durchführende Institution: Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Hertzstrasse 16, D-76187 Karlsruhe
Nummer des Auftrages: 197 (3/2005)		auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung
Abschlussdatum: Januar 2007		
Seitenzahl: 105 (61 Seiten in Farbe)	Bilder: 50	Tabellen: 4
Literaturverweise: 10		
Kurzfassung: Bei im Realmaßstab durchgeführten Versuchen konnte festgestellt werden, dass sowohl durch Sprinkler als auch Nieder- und Hochdruck-Wassernebel die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden konnte und der Brandschaden somit gering war. Durch sämtliche Löschanlagen wurde das Temperaturniveau unmittelbar nach Löschbeginn auf unkritische Werte abgesenkt. Die gemessenen Brandgaskonzentrationen blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Verhältnis zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich. Die erforderliche Löschwassermenge bis zum vollständigen Löschen des Brandes ist hierbei bei einem einzelnen Normalsprinkler bei einem Brandherd direkt unter dem Sprinkler aufgrund der Hohlkegelbildung weitaus am höchsten. Die Nebeldüsen haben gegenüber einem Sprinkler den Vorteil einer gleichmäßigeren Wasserverteilung über dem Sprühquerschnitt. Bei Niederdruck- und Hochdruckwassernebel sind bedeutend geringere Löschwassermengen erforderlich, wobei der Löschwasserbedarf beim Niederdruck-Wassernebel um ca. 20 % über dem von Hochdruck-Wassernebel bei den hier im Treppenraum durchgeführten Brandversuchen liegt. Der Niederdruck-Wassernebel benötigt ca. 20 %, der Hochdruck-Wassernebel ca. 15 % der Löschwassermenge eines Normalsprinklers. Die Verschlechterung der Sicht durch Sprühnebel, Wasserdampf und Brandrauch ist bei Niederdruck-Wassernebel am geringsten, gefolgt vom Normalsprinkler. Beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich bei den Versuchen ohne Windeinfluss die größte Verschlechterung der Sicht (bis zum 4 fachen des Wertes von Niederdruck-Wassernebel), zum einen aufgrund des feinen Sprühnebels selbst, zum anderen aufgrund der Brandbekämpfung durch das in beträchtlichen Mengen entstehende Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosol. Insbesondere beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich weiterhin eine Verschlechterung der Sicht durch starke Ablenkung des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols in das Erdgeschoss aufgrund von Ventilationsbedingungen z.B. Windeinfluss auf Rauchabzüge, Tür- oder Fensteröffnungen. Dies hat insbesondere Bedeutung bei der angestrebten Nutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen durch Bereitstellung raucharmer Rettungswege. Der Normalsprinkler bewirkt ebenfalls eine starke Verschlechterung der Sicht sowohl ohne als auch mit Windeinfluss im Erdgeschoss. Bei der beim Niederdruck-Wassernebel eingesetzten Einzeldüse trat die Verschlechterung der Sicht im Erdgeschoss bei Windeinfluss nicht in dem Maße auf wie beim Hochdruck-Wassernebel. Die fotoelektronischen Rauchmelder lösten im Gegensatz zu den eingesetzten Indikatorsprinklern bereits bei Temperaturen unter der maximal zulässigen Temperatur von 60°C (kurzzeitig 80°C) bei Normalglasverglasungen (Floatglas, Verbund-sicherheitsglas) aus. Es hätte daher keine Gefahr für Normalverglasungen etwa im Bereich denkmalgeschützter Holztreppenträume bestanden, falls die Löschanlage bereits zum Zeitpunkt der Rauchmelder ausgelöst hätte. Beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement wird der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten, und zwar selbst dann, wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde. Besonders in ausgedehnten Räumen bieten nur Rauchmelder die Möglichkeit einer ausreichend schnellen Alarmierung der Personen und stellen somit sicher, dass bei unmittelbar einsetzender und zügig durchgeführter Evakuierung (Selbstrettung) die Brandgaskonzentrationen im für Menschen unkritischen Bereich bleiben.		
Schlagwörter: Brand- und Rauchausbreitung, Treppenraum, Holz, Rauchmelder, Rauchabzug, Wind, Sichtverhältnisse, Evakuierung, optische Brandrauchdichte, Exktinktionskoeffizient, Brandgase, Wassernebel, Hochdruck, Niederdruck, Sprinkler		

1. EINLEITUNG

Die Gefährlichkeit von Brandrauch zeigt sich darin, dass im Schnitt 80 % aller Brandtoten an den Folgen einer Rauchvergiftung sterben. Bei Brandrauch handelt es sich um ein Gemisch aus Gasen, Dämpfen und schwebenden festen oder flüssigen Partikeln (Aerosolen => z.B. Ruß).

Folgende kritischen Werte gelten beispielsweise für die Hauptbrandrauchbestandteile Sauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid:

Sauerstoff:

≤12 Vol.-%: Sauerstoffmangelkrankheit: Kopfschmerzen, Gähnen, Konzentrationsmangel, rasche Ermüdbarkeit, Übelkeit, Sprachstörungen, Gangunsicherheit, Sehstörungen

3 Vol.-%: baldiger Erstickungstod (ca. 1 Minute)

Kohlendioxid:

MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatzkonzentration): 5000 ppm (0,5 Vol.-%)

3 - 4 Vol.-% (Kurzzeiteinwirk.): 300%ige Erhöhung der Atmung, leichtes Unbehagen

5 - 6 Vol.-%: bei schnellem Anstieg der Konzentration: hämmernde Kopfschmerzen, Ohrensausen, Atemnot, Schweißausbruch, Ohnmacht

12 - 15 Vol.-%: nach wenigen Minuten Atemstillstand, bewußtlos

Kohlenmonoxid:

MAK-Wert: 30 ppm (0,003 Vol.-%)

800 ppm (0,08 Vol.-%) : Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 45 Min.

1.600 ppm (0,16 Vol.-%) : Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 20 Min.

3.200 ppm (0,32 Vol.-%) : Kopfschmerzen, Schwindel nach 5 - 10 Minuten,
Bewusstlosigkeit und Tod nach 20 Minuten

6.400 ppm (0,64 Vol.-%): Kopfschmerzen, Schwindel nach 2 - 3 Min.,
Tod nach 10 - 15 Min.

12.000 ppm(1,2 Vol.-%) : Tod nach 5 Minuten

Diese tödlichen Konzentrationen können bei einem Zimmerbrand bereits unterhalb von

3 Minuten auftreten.

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

Um die Gefährdung durch Braundrauch auszuschalten, sind raucharme Flucht- und Rettungswege für die sich im betroffenen Gebäude befindenden Personen entscheidend. Der erste Flucht- und Rettungsweg ist in der Regel der Treppenraum. Deshalb ist auf seine Rauchfreihaltung besonderer Wert zu legen.

In den bisherigen Untersuchungen von Kunkelmann [1], [2] wurden im Brandversuchstrepfenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) mit kleinen Versuchsbränden die Verhältnisse bei einem Entstehungsbrand untersucht.

Der Brand wurde in den bisherigen Versuchen anschließend mit einer Niederdruck-Wassernebellöschanlage bzw. Sprinkleranlage mit Normalsprinklern bekämpft.

In diese Untersuchungen flossen auch Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Kunkelmann [3, 4, 5] mit ein.

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

In mehreren Parallelversuchen wurden in der überwiegenden Anzahl der Versuche die Wechselwirkungen der ortsfesten Feuerlöschanlage mit einem natürlichen Rauchabzug (NRA) ermittelt.

Da Wind aber bekanntermaßen entscheidenden Einfluß auf die Rauchfreihaltung von Gebäuden, hier auf die Rauchströmung im Treppenraum, haben kann, wurde zusätzlich die Auswirkung dieser Einflußgröße mitberücksichtigt.

Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Anbietern von Hochdruck-Wasserebellöschanlagen wurde es nun erforderlich, das Löschverhalten von Sprinkler und Niederdruck-Wasserebel unmittelbar mit Hochdruck-Wasserebel zu vergleichen.

2. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN MIT HOCHDRUCK- WASSERNEBEL

2.1 Versuchsaufbau, Messtechnik und Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau, die Messtechnik und die Versuchsdurchführung sind den **Bildern 1.1 bis 1.9** sowie den **Tabellen 1, 2 und 3** zu entnehmen. Dies entspricht im Wesentlichen den Untersuchungen, die bereits mit Niederdruck-Wassernebel und Sprinkler (Kunkelmann [1], [2]) durchgeführt wurden.

In den Untersuchungen wurden Brandlasten gemäß **Bild 1.5 (3.82)** mit überwiegend festen Brandstoffen (=> verdeckter Brand) als auch eine Bratpfanne mit Pflanzenöl gemäß **Bild 1.5 (3.83)** eingesetzt.

Als Indikatorsprinkler (Sprinkler ohne Löschfunktion) wurden Sprinkler mit 68°C Nennauslösetemperatur und 3 mm Glasfass (mittlerer RTI-Wert: ca. $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$) verwendet, die im Vergleich zu Sprinklern mit 5 mm Glasfass, besonders im Hinblick auf den Personenschutz, deutlich kürzere Auslösezeiten unter gleichen Randbedingungen liefern.

Der Indikatorsprinkler Sp5 neben dem Sprühkopf wurde als Auslösekriterium für die Wassernebellöschanlage verwendet.

Als Rauchmelder wurden handelsübliche Heimrauchmelder nach dem fotoelektronischen Prinzip, mit VdS-Zulassung, verwendet.

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 der gegenüber angebrachten Rettungsweg-Kennzeichnung ergab sich hierdurch eine Beleuchtungsstärke von ca. 50 – 65 Lux.

2.2 Auslegung von Düsen und Sprühkopf - Tropfenmessungen und Kaltversuche

Bild 1.3 (3.14) zeigt das eingesetzte Hochdruckaggregat, **Bild 1.3 (3.15)** den Sprühkopf mit 4 Hochdruckdüsen.

Als Vorgabe für die Auslegung des Hochdruck-Sprühkopfes galt hierbei, dass mit Niederdruck-Wassernebel (4 bar Überdruck) der Referenzbrand nach **Bild 1.5 (3.82)** mit im Wesentlichen festen Brandstoffen mittels einer an das Löschesystem angeschlossenen Einzeldüse mit 13 l/min Durchsatz und insgesamt mit 218 l bzw. 327 l Wasser (2 Versuche) gelöscht werden konnte.

Der Hochdruck-Sprühkopf wurde von der Forschungsstelle für Brandschutztechnik so konzipiert, dass ein maximaler Volumenstrom von 13 l/min bei einem Druck von 135 bar (Überdruck) versprüht wurde. Durch den gleichen Volumenstrom wird der Niederdruck- und Hochdruckwassernebel unter Vernachlässigung des Sprühbildes von Einzeldüse und Sprühkopf unmittelbar vergleichbar. Das Hauptunterscheidungsmerkmal bei den Löschesuchen sind dann im Wesentlichen das Tropfengrößen- und Tropfengeschwindigkeitsspektrum.

Bei den eingesetzten Hochdruckdüsen (**Tabelle 1**) handelt es sich um Dralldüsen mit kreisförmigem Hohlkegel mit 1,2 mm Bohrungsdurchmesser der Firma Düsen-Schlick.

Aufgrund der beträchtlichen Verringerung des Sprühwinkels der Einzeldüsen bei Hochdruck gegenüber Niederdruck mußte, um ein mit dem Niederdruck und Sprinkler vergleichbar beaufschlagtes Volumen im Treppenraum zu erzielen, ein Sprühkopf mit mehreren Düsen (4 Stück) eingesetzt werden.

Die **Bilder 2.1** und **2.2** zeigen verschiedene Kaltsprühversuche sowohl mit der Einzeldüse als auch dem Sprühkopf jeweils bei 135 bar im Freien, im Brandraum und im Treppenraum mit und ohne Windeinfluss.

Vergleicht man die Kaltsprühversuche im Treppenraum in **Bild 2.1** mit den Videoprints und Messwerten der Verrauchung aus verschiedenen Brand- und Löschesuchen früherer

Untersuchungen (Kunkelmann [1, 2, 5]) in den **Bildern 3.1** und **3.2**, so erkennt man, dass insbesondere beim Sprühkopf mit 4 Düsen eine erhebliche Sichtbehinderung durch Wasserdampf bereits ohne Brand auftritt.

In den vorliegenden Untersuchungen wird zur Beurteilung der optischen Brandrauchdichte der wellenlängenabhängige Extinktionskoeffizient σ herangezogen. Dieser beschreibt im vorliegenden Fall die Schwächung der Intensität eines Lichtstrahles durch Brandrauch.

In den Untersuchungen von **Jin [6]** wurden Testpersonen in einem Raum ohne Fenster bei einer Beleuchtungsstärke von 30 Lux (zu Beginn des Versuches) realem Rauch aus der Erhitzung von Holz auf 500°C ausgesetzt und deren Verhalten erforscht.

In diesen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der maximal zulässige Extinktionskoeffizient (als breitbandiger Wert über dem Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts) σ_{zul} für Personen, die nicht an Brandrauch gewöhnt sind und nicht mit den Örtlichkeiten vertraut sind (Allgemeinheit)

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

beträgt.

Bild 3.1 macht deutlich, wie gering die visuelle Verrauchung im Treppenraum bei diesem Wert ist.

Die optische Dichte OD berechnet sich aus dem Extinktionskoeffizienten σ gemäß folgender Beziehung:

$$OD = \frac{\sigma}{\ln 10}$$

Die maximal zulässige optische Dichte beträgt somit

$$OD_{zul} = 0,065 \text{ m}^{-1}$$

Da in den Untersuchungen von **Jin [6]** ab diesem Grenzwert z.B. bei der Verschmelzung

von Holz der Pulsschlag anstieg und das Konzentrationsvermögen nachließ, ist dies als Maximalwert anzusehen, auch wenn bezüglich der Sichtverhältnisse im Einzelfall höhere optische Brandrauchdichten vertretbar wären.

Hier ist z.B. auch zu berücksichtigen, dass bei Beteiligung von Kabeln mit PVC-Isolierung bei Bränden Reizgase (Chlorwasserstoff) entstehen, die bereits in geringen Konzentrationen erhebliche Beeinträchtigungen hervorrufen.

Bild 2.2 zeigt den volumetrisch mittleren Tropfendurchmesser D_{30} (50% des zerstäubten Gesamtvolumens haben Tropfen, deren Durchmesser kleiner oder größer ist) der verwendeten Düsen. Maßgeblich ist hierbei die Kurve für 80 bar. Für den Bohrungsdurchmesser 1,2 mm ergibt sich hier ein Wert von ca. 37 μm .

Für den Druck 135 bar liegen keine Tropfenmessungen vor. Bei dem höheren Druck ergibt sich qualitativ eine Verschiebung zu etwas geringeren Tropfengrößen.

Bild 2.3 zeigt den Verlauf des mittleren Tropfendurchmessers (arithmetisches Mittel aller Tropfendurchmesser) D_{10} , des volumetrisch mittleren Tropfendurchmessers D_{30} sowie des Sauter-Durchmessers (Verhältnis: Summe aller Tropfenvolumina / Summe aller Tropfenoberflächen) D_{32} über einem Sprühradus von 80 mm - hier allerdings für einen Druck von 50 bar und einen Bohrungsdurchmesser von 2,3 mm.

Eine wesentliche Aussage dieser Kurven ist, dass die Tropfengrößen im Zentrum unter der Düsenaustrittsöffnung kleiner sind als im Randbereich. Beispielsweise steigt der Sauter-Durchmesser, der vorzugsweise zur Beschreibung von Wärme- und Stoffaustauschprozessen herangezogen wird, von 30 μm im Zentrum der Düse auf 100 μm beim Radius 80 mm an.

Bild 2.4 zeigt die Tropfengeschwindigkeitsverteilung und **Bild 2.5** die Volumenstromdichte über einem Sprühradus von 80 mm - ebenfalls für einen Druck von 50 bar und einen Bohrungsdurchmesser von 2,3 mm.

Neben den Versuchen mit 135 bar wurden mit dem gleichen Sprühkopf Versuche mit 80 bar und 10 l/min durchgeführt.

3. BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE OHNE WINDEINFLUSS

3.1 Versuche mit festen Brandstoffen

Bild 1.5 (3.82) zeigt die bei diesen Versuchen verwendete Brandlast auf dem Podest der 1. Etage (siehe auch **Tabelle 2**).

Bei sämtlichen Versuchen galt die Auslösung des Indikatorsprinklers Sp5 als Kriterium für die Auslösung der Löschanlage.

Der Löschvorgang wurde bei sämtlichen Versuchen solange fortgeführt, bis das Feuer vollständig gelöscht war.

Die **Tabellen 2, 3 und 4** geben wesentliche Daten zur Versuchsdurchführung und den Versuchsergebnissen wieder:

- Brandlast
- Betriebsbedingungen der Löschanlage
- Auslösung von Rauchmeldern und Indikatorsprinklern
- Löschbeginn
- Löschezit
- Löschwassermenge
- Volumetrische Wasserbeaufschlagung in l / (m³·min)
- maximale Temperatur im Bereich des Sprühkopfes
- Auslösung der Rauchmelder als Funktion der Temperaturdifferenz im Treppenaug zwischen der 1. und 3. Etage
- Brandgaskonzentrationen (Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Sauerstoff) in der 1. und 3. Etage
- Ventilationsbedingungen und Öffnung des Rauchabzuges (vor oder nach Löschbeginn)
- Verrauchung der 2. und 3. Etage (Extinktionskoeffizient)

3.1.1 Versuch HDSCOW1 - 135 bar

Bild 4.1 veranschaulicht die Brandentwicklung zum Zeitpunkt der Auslösung des Rauchmelders BrTr1 über dem Brandherd neben dem Sprühkopf, des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums sowie des Indikatorsprinklers Sp5 neben dem Sprühkopf.

Aufgrund eines defekten Glasfassauslöseelementes (**Bild 4.2 (1.1)**) löste der Indikatorsprinkler nicht aus. Die Löschanlage wurde daher nach einer Zeit von 14 min 3 s manuell ausgelöst (Temperatur: 150°C).

In **Bild 4.1** und **4.3** ist erkennbar, dass die an den Rauchmeldern bei der Auslösung auftretenden Temperaturen mit 50°C und 64°C unter der maximal zulässigen Temperatur von (60°C (kurzzeitig 80°C)) von Normalglasverglasungen (Floatglas, Verbundsicherheitsglas) liegen. Es hätte daher keine Gefahr für eine Verglasung (etwa neben oder in Wohnungseingangstüren) bestanden, falls die Löschanlage zu diesem Zeitpunkt bereits ausgelöst worden wäre.

Bild 4.2 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses und des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauchgemisches (-aerosols) sowie die Brandschäden.

Die Brandschäden **Bild 4.2 (1.2)** blieben im Wesentlichen auf die mobile Brandlast und das Treppenraumgeländer auf dem ersten Podest beschränkt.

Bild 4.3 stellt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) dar.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung wirksam verhindert wurde. Dies ist auch Folge der Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des

Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus.

Aufgrund der verspäteten Auslösung der Löschanlage ergaben sich eine relativ hohe Temperatur von 150°C im Bereich des Sprühkopfes sowie eine beträchtliche Verrauchung mit entsprechend hohen Brandgaskonzentrationen.

3.1.2 Versuch HDSCOW2 - 135 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 5.1 zeigt die Brandentwicklung zum Zeitpunkt der Auslösung des Rauchmelders BrTr1 über dem Brandherd neben dem Sprühkopf, des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums sowie des Indikatorsprinklers Sp5 neben dem Sprühkopf.

In **Bild 4.1** und **4.3** ist erkennbar, dass die an den Rauchmeldern zum Zeitpunkt der Auslösung auftretenden Temperaturen mit 40°C und 74°C unter der maximal zulässigen Temperatur von 60°C (kurzzeitig 80°C) von Normalglasverglasungen (Floatglas, Verbundsicherheitsglas) liegen. Es hätte daher keine Gefahr für derartige Verglasungen bestanden, falls die Löschanlage zu diesem Zeitpunkt bereits ausgelöst worden wäre. Die Sprinklerauslösetemperatur lag mit 88°C etwas über der maximalen Temperatur von Normalverglasungen.

Bild 5.2 veranschaulicht die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 5.3 stellt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) dar.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

3.1.3 Versuch HDSCOW3 - 135 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug vor Löschbeginn, nach Auslösung des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums, geöffnet.

Bild 6.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) werden in **Bild 6.2** dargestellt.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler bei Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten (siehe auch **Tabelle 3**).

3.1.4 Versuch HDSCOW4 - 80 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 7.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 7.2 stellt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) dar.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums und der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

3.1.5 Versuch HDSCOW5 - 80 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug vor Löschbeginn, nach Auslösung des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums, geöffnet.

Bild 8.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 8.2 stellt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) gegenüber dar.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

3.2 Versuche mit flüssigen Brandstoffen

Bild 1.5 (3.83) zeigt die bei diesen Versuchen verwendete Brandlast auf dem Podest der 1. Etage mit Pflanzenöl (Füllmenge 1 l, siehe auch **Tabelle 2**).

Die Pfanne mit Pflanzenöl wurde hierbei zunächst bei geschlossenem Glasdeckel mit einem Dachdeckerbrenner auf Flammpunkttemperatur von ca. 370°C vorgeheizt (negative Zeitachse, siehe z.B. Bild 9.2). Anschließend wurden 3 Pastenbrenner untergeschoben und der Glasdeckel entfernt (Zeitpunkt Null).

3.2.1 Versuch HDSCOW6 - 135 bar

Bei diesem Versuch mit Pflanzenöl wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 9.1 zeigt das Vorheizen der Bratpfanne mit Pflanzenöl mittels Dachdeckerbrenner auf Flammpunkttemperatur (ca. 370°C), das Entfernen des Glasdeckels sowie die Brandentwicklung bei Auslösung des Indikatorsprinklers Sp5 sowie kurz nach Löschbeginn.

Der Rauchmelder BrTr1 löste bereits während des Aufheizvorganges auf Flammpunkttemperatur vor dem Öffnen des Glasdeckels bei – 17 s (Öffnen des Glasdeckels der Pfanne:

0 s) aus.

Weiterhin ist die maximale Verrauchung des Erdgeschosses zu erkennen.

Bild 9.2 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Das Treppenraumgeländer wurde bei diesem Brandversuch nicht beschädigt.

Aufgrund des sehr späten Auslösens des Indikatorsprinklers nach 5 min 2 s war bereits ein sehr großer, jedoch im Versuch unbestimmter Teil der Pflanzenölmenge (1 l zu Beginn) bei Löschbeginn verbrannt. Somit betrug die erforderliche Löschzeit nur noch 37 s für die restliche Ölmenge.

3.2.2 Versuch HDSCOW7 - 80 bar

Bei diesem Versuch mit Pflanzenöl wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 10 stellt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) dar.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Bei diesem Versuch ist allerdings die hohe Kohlenmonoxid-Konzentration von 2.500 ppm (0,25 Vol.-%) über dem 1. Podest hervorzuheben, die beträchtlich über dem MAK-Wert von 30 ppm (0,003 Vol.-%) liegt.

Weiterhin liegt auch die Kohlendioxid-Konzentration mit 6.900 ppm (0,69 Vol.-%) über dem MAK-Wert von 5.000 ppm (0,5 Vol.-%)

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Das Treppenraumgeländer wurde bei diesen Brandversuchen nicht beschädigt.

3.2.3 Versuch HDSCOW8 - 135 bar

Bei diesem Versuch mit Pflanzenöl wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet.

Bild 11 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Bei diesem Versuch ist ebenfalls die hohe Kohlenmonoxid-Konzentration von 7.400 ppm (0,74 Vol.-%) über dem 1. Podest hervorzuheben, die beträchtlich über dem MAK-Wert von 30 ppm (0,003 Vol.-%) liegt.

Weiterhin liegt auch die Kohlendioxid-Konzentration mit 27.000 ppm (2,7 Vol.-%) um ein Mehrfaches über dem MAK-Wert von 5.000 ppm (0,5 Vol.-%).

Der Rauchmelder BrTr1 löste bereits während des Aufheizvorganges auf Flammpunkttemperatur vor dem Öffnen des Glasdeckels bei – 1 min 38 s aus.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf löste vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten sowohl in der 2. als auch 3. Etage aus. Der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums löste vor dem Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. Etage und nach Überschreiten des zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 3. Etage aus. Der Indikatorsprinkler löste erst nach der Überschreitung der zulässigen Extinktionskoeffizienten in der 2. und 3. Etage aus (siehe auch **Tabelle 3**).

Das Treppenraumgeländer wurde bei diesem Brandversuch nicht beschädigt.

4. BRAND- UND LÖSCHVERSUCHE MIT WINDEINFLUSS

Der Einfluss des Windes äußert sich in einer Zu- oder Abnahme des statischen Druckes längs der Außenseite eines Gebäudes. Dieser Vorgang wird durch die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft beim Umströmen eines Bauwerkes hervorgerufen. An der angeblasenen Stirnseite des Gebäudes wird die Luftbewegung gebremst, was zu einer Verminderung der kinetischen Energie und damit entsprechend den Gesetzen der Aerodynamik zu einer Vergrößerung der potentiellen Energie bzw. des statischen Druckes führt.

Die Umströmung verursacht eine Strahlkrümmung, eine Verwirbelung und eine teilweise Verdichtung der Luft. Durch diese Vorgänge kann eine Geschwindigkeitserhöhung in der Nähe der Begrenzungsflächen des Bauwerkes stattfinden, die zu einer Zunahme der kinetischen Energie und damit zu einer Abnahme des statischen Druckes unter dessen Wert bei ungestörter Strömung führt.

Die Stärke des natürlichen Rauchabzuges in einem Gebäude beruht zunächst auf dem Unterschied der Dichte (\Leftrightarrow Temperatur) des Luft / Rauchgasgemisches zwischen Eintritt und Austritt.

Einen erheblichen Einfluss haben vom Wind hervorgerufene Druckunterschiede zwischen Öffnungen, die den belüfteten Raum mit der Atmosphäre verbinden. Die Richtung des Windangriffs ist hierbei von entscheidender Bedeutung.

Da sich die Geschwindigkeit der Luft beim An- und Umströmen des Gebäudes ändert, stellt sich der Staudruck als Ortsfunktion dar. Die Anströmgeschwindigkeit wird von den Störfaktoren der Umgebung, wie Hügel, Bäume und Gebäude beeinflusst. Welche Druckwirkung der Wind auf die verschiedenen Oberflächenelemente eines Gebäudes in Abhängigkeit von der Anströmrichtung ausübt, kann mit hinreichender Genauigkeit bislang nur experimentell (z.B. mit maßstäblich verkleinerten ähnlichen Modellen im Windkanal, unter Berücksichtigung der Modell- oder Ähnlichkeitsgesetze) bestimmt werden.

Die Änderung des statischen Druckes an der Gebäudeaußenwand wird durch so genannte aerodynamische Druckzahlen (Winddruckbeiwerte) berücksichtigt. An der windzugewandten Seite eines Gebäudes ist die Druckzahl in der Regel eine positive Größe. An der windabgewandten Seite und an denjenigen Stellen, wo als Folge der Verwirbelung der statische Druck unter den der ungestörten Atmosphäre sinkt, muss die Druckzahl negativ werden.

Die Größe der Druckzahlen für die verschiedenen Gebäudetypen bei unterschiedlichen Windrichtungen und Bebauungsstrukturen wird durch Modellversuche im Windkanal bestimmt. Experimentelle Analysen der Druckverhältnisse an geometrisch ähnlichen Gebäudemodellen haben ergeben, dass die Druckzahl weder wesentlich von der Windgeschwindigkeit noch von der Reynolds-Zahl beeinflusst wird. Bei den Untersuchungen zeigte sich jedoch auch, dass quaderförmige Körper den statischen Druck des sie umströmenden Fluids in anderer Weise beeinflussen als Körper mit gleichmäßig gekrümmter Oberfläche, wie Kugel und Zylinder, von denen sich das strömende Medium nach einer Teilumströmung ablöst. Die Ablösungskontur ist bei diesen Körpern jedoch sehr wohl eine Funktion der Reynolds-Zahl.

Bei der Bewertung von Rauchabzugsöffnungen ist zu beachten, dass die tatsächliche Ausflussmenge teilweise erheblich niedriger als die theoretisch mögliche ist. Hierfür verantwortlich ist der Strömungswiderstand an der Öffnung in Verbindung mit Einschnüreneffekten des Gasstromquerschnittes an seiner engsten Stelle im Verhältnis zum geometrischen freien Querschnitt der Öffnung.

Nachfolgend werden die Windstärken in Beaufort wiedergeben [7, 8, 9].

Beaufortgrad	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
		m/s	km/h	
0	Windstille	0 – 0,2	< 1	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	0,3 – 1,4	1 - 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	1,5 – 3,4	6 - 12	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise schwacher Wind	3,5 - 5,4	13 - 19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise mäßiger Wind	5,5 – 7,4	20 - 27	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise frischer Wind	7,5 – 10,4	28 - 37	keine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	10,5 – 13,4	38 - 48	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafentelegraphenleitungen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	13,5 – 17,5	49 - 62	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	17,5 – 20,4	63 - 73	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	20,5 – 24,4	74 - 87	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben werden abgehoben)
10	schwerer Sturm	24,5 – 28,4	88 - 102	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	28,5 – 32,4	103 - 117	Wind entwirzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	ab 32,5	ab 118	schwere Verwüstungen

Gemäß DIN 18232 Teil 5 [10] wird für die Bemessung von maschinellen Rauchabzugsanlagen eine ausreichend groß dimensionierte und gleichmäßig verteilte bodennahe Zuluftführung, die mit dem Einschalten der MRA wirksam wird, damit eine Verwirbelung des Rauches vermieden wird (Zuluftströmung ≤ 3 m/s in den Zuluftöffnungen) unterstellt.

Gemäß Angaben der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/wind/wind_04443 bzw. [04444.gif](http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/wind/wind_04444)) ergibt sich zum Beispiel für den

Zeitraum 1.1.1996 bis 31.12.2000 für den Bereich Karlsruhe West eine mittlere Windgeschwindigkeit von 2,42 m/s und für den Bereich Karlsruhe Nordwest eine mittlere Windgeschwindigkeit von 1,34 m/s.

Bei den Untersuchungen wurde zunächst in Kaltversuchen nach **Bild 2.2** der Einfluss des Windes auf den Sprühnebel sowohl bei der Einzeldüse als auch beim Sprühkopf untersucht.

Man erkennt, dass bereits bei einer Winderzeugung mittels eines Radialventilators (Windgeschwindigkeit: 3 m/s, schwacher Wind, schwache Brise) der Sprühnebel in relativ geringem Abstand von der Düse um ca. 25° abgelenkt wird.

Dieses wird noch unterlegt durch Versuche im Freien mit dem Sprühkopf. Die Windgeschwindigkeit wurde hierbei allerdings nicht gemessen, jedoch lässt der Ablenkwinkel in ähnlicher Größenordnung auch hier auf einen schwachen Wind schließen.

Bei den Brandversuchen wurde mittels eines Axialventilators (**Bild 1.4 (3.62)**) eine Windanströmung des natürlichen Rauchabzugs (1 m²-Öffnung, **Bild 1.4 (3.61)**) erzeugt. Der Ventilator wurde hierbei so vor der Öffnung positioniert, dass eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von ca. 3 m/s im Öffnungsquerschnitt bei geöffneter Treppenraumtür erzielt wurde. Dieses entspricht ungefähr einem mittleren dynamischen Druck von ca. 7 Pa bei 20°C.

Bild 1.5 (3.82) zeigt die bei diesen Versuchen verwendete Brandlast auf dem Podest der 1. Etage (siehe auch **Tabelle 2**).

Der Löschvorgang wurde bei sämtlichen Versuchen solange fortgeführt, bis das Feuer vollständig gelöscht wurde.

Die **Tabellen 2, 3 und 4** stellen die wesentlichen Daten zur Versuchsdurchführung und den wesentlichen Versuchsergebnissen zusammen:

- Brandlast
- Betriebsbedingungen der Löschanlage
- Auslösung von Rauchmeldern und Indikatorsprinklern
- Löschbeginn
- Löszeit

- Löschwassermenge
- Volumetrische Wasserbeaufschlagung in l / (m³*min)
- maximale Temperatur im Bereich des Sprühkopfes
- Auslösung der Rauchmelder als Funktion der Temperaturdifferenz im Treppenauge zwischen der 1. und 3. Etage
- Brandgaskonzentrationen (Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Sauerstoff) in der 1. und 3. Etage
- Ventilationsbedingungen und Öffnung des Rauchabzuges (vor oder nach Löscheintritt)
- Verrauchung der 2. und 3. Etage (Extinktionskoeffizient)

4.1 Versuche mit festen Brandstoffen

Bild 1.5 (3.81) zeigt die bei diesen Versuchen verwendete Brandlast auf dem Podest der 1. Etage (siehe auch **Tabelle 2**).

4.1.1 Versuch HDSCMW1 - 135 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug nach Löscheintritt geöffnet und Wind mit ca. 3 m/s auf die Öffnung gegeben.

Bild 12.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosols sowie die Brandschäden.

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

In **Bild 12.2** sind die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indicatorsprinkler, Löscheintritt, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient) dargestellt.

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell auf niedrige Werte ab, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug wird das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in den Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses abgedrängt. Die Verrauchung des 2. und 3. Podestes ist jedoch im Vergleich zu den Versuchen ohne Wind geringer.

4.1.2 Versuch HDSCMW2 - 135 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug vor Löschbeginn, nach Auslösung des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums, geöffnet und Wind mit ca. 3 m/s an der Öffnung erzeugt.

Bild 13.1 zeigt die Brandentwicklung zum Zeitpunkt der Auslösung des Rauchmelders BrTr1 über dem Brandherd neben dem Sprühkopf, des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums sowie des Indikatorsprinklers Sp5 neben dem Sprühkopf.

Bild 13.2 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel- / Wasserdampf- / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 13.3 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges,

Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell auf niedrige Werte ab, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug wird das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in den Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses abgedrängt. Die Verrauchung des 2. und 3. Podestes ist im Vergleich zu den Versuchen ohne Wind jedoch geringer.

4.1.3 Versuch HDSCMW3 - 80 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug nach Löschbeginn geöffnet und Wind mit ca. 3 m/s an der Öffnung erzeugt.

Bild 14.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 14.2 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert

wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug wird das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in den Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses abgedrängt. Die Verrauchung des 2. und 3. Podestes ist jedoch im Vergleich zu den Versuchen ohne Wind geringer.

4.1.4 Versuch HDSCMW4 - 80 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug vor Löschbeginn, nach Auslösung des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums, geöffnet und Wind mit ca. 3 m/s auf die Öffnung gegeben.

Bild 15.1 zeigt die maximale Verrauchung des Erdgeschosses, des 1. Podestes (nur Videoprint), des Podestes der 2. und 3. Etage (Videoprints, Extinktionskoeffizient und optische Dichte) aufgrund des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sowie die Brandschäden.

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

Bild 15.2 gibt Auskunft über die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell auf niedrige Wert ab, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus,

der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug wird das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in den Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses abgedrängt. Die Verrauchung des 2. und 3. Podestes ist im Vergleich zu den Versuchen ohne Wind jedoch geringer.

4.2. Versuche mit flüssigen Brandstoffen

Bild 1.5 (3.83) zeigt die bei diesem Versuch verwendete Brandlast auf dem Podest der 1. Etage mit Pflanzenöl (Füllmenge 2 l, siehe auch **Tabelle 2**).

4.2.1 Versuch HDSCMW5 - 135 bar

Bei diesem Versuch wurde der Rauchabzug vor Löschbeginn, nach Auslösung des Rauchmelders BrTr2 zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums, geöffnet und Wind mit ca. 3 m/s auf die Öffnung gegeben.

Bild 16.1 zeigt die Brandentwicklung zum Zeitpunkt der Auslösung des Indikatorsprinklers Sp5 über dem Brandherd neben dem Sprühkopf, Videoprints zur Brandentwicklung nach Löschbeginn sowie die sehr starke Verrauchung des Erdgeschosses und des 1. Podestes aufgrund des Windeinflusses.

Durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug wird das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosols sehr stark in den Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses abgedrängt. Die Verrauchung des 2. und 3. Podestes ist jedoch im Vergleich zu den Versuchen ohne Wind geringer.

Bild 16.2 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen Temperaturverlauf, Auslösung der Rauchmelder und Indikatorsprinkler, Löscheinsatz, Öffnung des natürlichen Rauchabzuges, Brandgaskonzentrationen sowie der Verrauchung (Extinktionskoeffizient).

Die Temperaturen fielen nach Löschbeginn sehr schnell, so dass eine weitere Brandausbreitung, auch durch Vorbenetzung bisher nicht entzündeter Brandlast, wirksam verhindert wurde.

Bei diesem Versuch ist allerdings wiederum die hohe Kohlenmonoxid-Konzentration von 2.300 ppm (0,23 Vol.-%) über dem 1. Podest hervorzuheben, die beträchtlich über dem MAK-Wert von 30 ppm (0,003 Vol.-%) liegt.

Weiterhin liegt auch die Kohlendioxid-Konzentration mit 19.500 ppm (1,95 Vol.-%) über dem MAK-Wert von 5.000 ppm (0,5 Vol.-%)

Der Rauchmelder BrTr1 löste bereits während des Aufheizvorganges auf Flammpunkttemperatur vor dem Öffnen des Glasdeckels bei – 55 s aus.

Die Rauchmelder neben dem Sprühkopf und zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums lösten vor Erreichen des maximal zulässigen Extinktionskoeffizienten aus, der Indikatorsprinkler erst später (siehe auch **Tabelle 3**).

Das Treppenraumgeländer wurde bei diesem Brandversuch nicht beschädigt.

5. VERGLEICH DER VERSUCHE MIT HOCHDRUCK-WASSERNEBEL

Der Vergleich der Versuche mit Hochdruck-Wassernebel kann den **Tabellen 3** und **4** sowie den **Bildern 17.3** und **18.3** entnommen werden.

5.1 Versuche ohne Windeinfluss

5.1.1 Feste Brandstoffe

Bei den Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden konnte und der Brandschaden gering war.

Das Temperaturniveau wurde unmittelbar auf den Löscheinsatz folgend auf unkritische Werte abgesenkt.

Die gemessenen Brandgaskonzentrationen (Kohlendioxid, Kohlenmonoxid) blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Vergleich zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich. Der MAK-Wert wurde zwar insbesondere beim Kohlenmonoxid überschritten, die Konzentration war jedoch bei weitem nicht so hoch, dass mit einer tödlichen Gefährdung gerechnet werden mußte.

Die Sauerstoffkonzentration lag bei allen Versuchen weit über dem Wert von 12 Vol.-% (Beginn der Sauerstoffmangelkrankheit). Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass der genannte Grenzwert nur bei Fehlen sonstiger Brandgase zutrifft.

Bei den Versuchen ohne Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug ergibt sich bei den festen Brandstoffen ein Löschwasserverbrauch von im Mittel 188 l (135 bar) bis 243 l (80 bar).

Man erkennt den geringeren Löschwasserbedarf bei 135 bar gegenüber 80 bar.

Die Löschzeit variiert hierbei von im Mittel 14 min 28 s (135 bar) bis 24 min 17 s (80 bar).

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert über 2. und 3 Etage) variiert bei den festen Brandstoffen von $3,28 \text{ m}^{-1}$ (135 bar) bis $3,44 \text{ m}^{-1}$ (80 bar).

Aus **Bild 18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde.

5.1.2 Flüssige Brandstoffe

Auch bei diesen Versuchen wurde das Temperaturniveau unmittelbar nach Löschbeginn auf unkritische Werte abgesenkt.

Allerdings wurden die MAK-Werte für Kohlendioxid und Kohlenmonoxid beträchtlich überschritten.

Das Holzgeländer wurde nicht beschädigt.

Bei den Versuchen ohne Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug ergibt sich bei den flüssigen Brandstoffen ein Löschwasserverbrauch von 52 l (135 bar) bis 47 l (80 bar) (ohne Berücksichtigung des Versuches HDSCOW6 mit 7 l aufgrund der sehr späten Auslösung und entsprechend großem Abbrand des Öles).

Bei diesen Versuchen ergibt sich beim höheren Druck von 135 bar kein Vorteil gegenüber dem niedrigeren Druck von 80 bar.

Die Löschzeit variiert bei den flüssigen Brandstoffen von 3 min 59 s (135 bar) bis 4 min 40 s (80 bar).

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert über 2. und 3 Etage) variiert bei

den flüssigen Brandstoffen von $1,60 \text{ m}^{-1}$ (135 bar) bis $1,47 \text{ m}^{-1}$ (80 bar).

Aus **Bild 18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde. Aus Personenschutzgründen ist daher konzeptionell dem Rauchmelder der Vorzug zu geben.

5.2 Versuche mit Windeinfluss

5.2.1 Feste Brandstoffe

Bei den Versuchen konnte die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden, der Brandschaden war gering. Das Temperaturniveau wurde unmittelbar nach Löscheintritt auf unkritische Werte abgesenkt.

Die gemessenen Brandgaskonzentrationen (Kohlendioxid, Kohlenmonoxid) blieben bei schnellem Löscheintritt bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Vergleich zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich. Der MAK-Wert wurde zwar insbesondere beim Kohlenmonoxid überschritten, die Konzentration war jedoch bei weitem nicht so hoch, dass mit einer tödlichen Gefährdung gerechnet werden mußte.

Die Sauerstoffkonzentration lag bei allen Versuchen weit über dem Wert von 12 Vol.-% (Beginn der Sauerstoffmangelkrankheit). Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass der genannte Grenzwert nur bei Fehlen sonstiger Brandgase zutrifft.

Bei den Versuchen mit Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug ergibt sich bei den festen Brandstoffen ein Löschwasserverbrauch von im Mittel 265 l (135 bar) bis 223 l (80 bar).

Die Löscheinzeit variiert bei den festen Brandstoffen hierbei von im Mittel 20 min 24 s (135 bar) bis 22 min 17 s (80 bar).

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert über 2. und 3 Etage) variiert bei den festen Brandstoffen von $0,28 \text{ m}^{-1}$ (135 bar) bis $0,27 \text{ m}^{-1}$ (80 bar).

Diese niedrigen Extinktionskoeffizienten auf dem 2. bzw. 3. Podest sowie die Videoprints zeigen, dass nach der Windeinwirkung auf den Rauchabzug das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in das Erdgeschoss abgelenkt und durch die offene Tür ausgeblasen wurde und dort zu einer bedeutenden Sichtverschlechterung führte.

Aus **Bild 18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde. Aus Personenschutzgründen ist daher konzeptionell dem Rauchmelder der Vorzug zu geben.

5.2.2 Flüssige Brandstoffe

Bei den Versuchen mit Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug ergibt sich bei den flüssigen Brandstoffen ein Löschwasserverbrauch von im 50 l (135 bar). Ein Versuch mit 80 bar steht für den Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Betriebsdrücke nicht zur Verfügung.

Auch bei diesen Versuchen wurde das Temperaturniveau unmittelbar nach Löschanfang auf unkritische Werte abgesenkt und das Treppenraumgeländer nicht beschädigt.

Allerdings wurden auch hier die MAK-Werte für Kohlendioxid und Kohlenmonoxid beträchtlich überschritten.

Die Löschanzeit ergab sich zu 3 min 50s (135 bar).

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert über 2. und 3 Etage) ergab sich zu $0,92 \text{ m}^{-1}$ (135 bar).

Dieser niedrige Extinktionskoeffizient auf dem 2. bzw. 3. Podest sowie die Videoprints zei-

gen, dass nach der Windeinwirkung auf den Rauchabzug das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in das Erdgeschoss abgelenkt wurde und dort zu einer bedeutenden Sichtverschlechterung führte. Der Rauch wurde durch die Strömung durch die offene Eingangstür nach außen abgeführt.

Aus **Bild 18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde.

Aus Personenschutzgründen ist daher konzeptionell dem Rauchmelder der Vorzug zu geben.

6. VERGLEICH VON HOCHDRUCK-WASSERNEBEL MIT NIEDERDRUCK-WASSERNEBEL UND SPRINKLER

6.1. Versuche ohne Windeinfluss

Nachfolgend werden sämtliche Sprinklerversuche ohne Windeinfluss (1 Normalsprinkler, Mindestdruck: 0,7 bar, 66 l/min) (Kunkelmann [1]) mit dem Niederdruckversuch HTR7 (1 Sprühkopf mit 1 Düse, Mindestdruck: 4 bar, 13 l/min) (Kunkelmann [1]) sowie den Hochdruckversuchen HDSCOW1, HDSCOW2 und HDSCOW3 (1 Sprühkopf mit 4 Düsen, 135 bar, 13 l/min) verglichen.

Bei den Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden konnte und der Brandschaden gering war. Das Temperaturniveau wurde unmittelbar nach Löschbeginn auf unkritische Werte abgesenkt.

Die gemessenen Brandgaskonzentrationen blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Vergleich zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich.

Bei der Auswertung der **Tabelle 4** sowie der **Bilder 17.1** und **17.3** können folgende Aussagen bezüglich des Löschverhaltens bei festen Brandstoffen getroffen werden:

Der mittlere Löschwasserbedarf ist beim Normalsprinkler mit 1.377 l am höchsten, gefolgt von Niederdruck-Wassernebel mit 327 l und Hochdruck-Wassernebel mit 188 l.

Die mittlere Löschzeit beträgt beim Normalsprinkler 20 min 56 s (20,93 min), beim Niederdruck-Wassernebel 25,12 min und beim Hochdruck-Wassernebel mit 14 min 28 s (14,46 min).

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert von 2. und 3. Etage) beträgt beim Normalsprinkler $1,39 \text{ m}^{-1}$, beim Niederdruck-Wassernebel $0,87 \text{ m}^{-1}$ und beim Hochdruck-Wassernebel $3,28 \text{ m}^{-1}$. Man erkennt, dass es beim Hochdruck-Wassernebel zu einer extremen Sichtverschlechterung beim Löschvorgang kommt und zwar bis zum 4-fachen des Wertes bei Niederdruck-Wassernebel.

Aus den **Bildern 18.1** und **18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann, wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde.

Aus Personenschutzgründen ist daher konzeptionell dem Rauchmelder der Vorzug zu geben.

6.2. Versuche mit Windeinfluss

Nachfolgend werden sämtliche Sprinklerversuche mit Windeinfluss (1 Normalsprinkler, Mindestdruck: 0,7 bar, 66 l/min) (Kunkelmann [2]) mit den Niederdruckversuchen HTR8, HTR9 (1 Sprühkopf mit 1 Düse, Mindestdruck: 4 bar, 13 l/min) (Kunkelmann [2]) sowie den Hochdruckversuchen HDSCMW1 und HDSCMW2 (1 Sprühkopf mit 4 Düsen, 135 bar, 13 l/min) verglichen.

Bei den Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden konnte und der Brandscha-

den gering war. Das Temperaturniveau wurde unmittelbar nach Löscheintritt auf unkritische Werte abgesenkt.

Die gemessenen Brandgaskonzentrationen blieben bei schnellem Löscheintritt bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Vergleich zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich.

Bei der Auswertung der **Tabelle 4** sowie der **Bilder 17.2** und **17.3** können folgende Aussagen bezüglich des Löscheintritts bei festen Brandstoffen getroffen werden:

Der mittlere Löschwasserbedarf ist beim Normalsprinkler mit 1.598 l am höchsten, gefolgt von Hochdruck-Wassernebel mit 265 l und Niederdruck-Wassernebel mit 257 l.

Mit Ausnahme des Niederdruck-Wassernebels nimmt sowohl beim Normalsprinkler als auch beim Hochdruck-Wassernebel bei Windeinfluss die Löschwassermenge zu.

Die mittlere Löscheintrittzeit beträgt beim Normalsprinkler 24 min 13 s (24,21 min), beim Hochdruck-Wassernebel 20 min 24 s (20,40 min) und beim Niederdruck-Wassernebel 19 min 32 s (19,54 min). Auch hier verbessert sich die Löscheintrittwirkung des Niederdruck-Wassernebels bei Windeinfluss.

Der mittlere maximale Extinktionskoeffizient (Mittelwert von 2. und 3. Etage) beträgt beim Normalsprinkler $1,28 \text{ m}^{-1}$, beim Niederdruck-Wassernebel $0,61 \text{ m}^{-1}$ und beim Hochdruck-Wassernebel $0,28 \text{ m}^{-1}$.

Wie die Auswertungen von Videoaufnahmen dieser Versuche belegen, wird sowohl beim Normalsprinkler als auch beim Hochdruck-Wassernebel durch den Windeinfluss auf den natürlichen Rauchabzug das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sehr stark in den Bereich des Erdgeschosses abgedrängt.

Dass die Verrauchung des Erdgeschosses beim Niederdruck-Wassernebel hierbei wesentlich geringer ausfällt, ist evtl. auf ein ausgewogeneres Verhältnis zwischen Brandgasströmung und Tropfenschwarmimpuls zurückzuführen.

Beim Sprinkler hingegen sind die Tropfen so groß, dass diese das Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosol sowohl mit als auch ohne Wind in das Erdgeschoß abdrängen

können.

Beim Hochdruck-Wassernebel hat das Sprühnebel /Wasserdampf / Brandgasaerosol eine so geringe thermische Auftriebsströmung aufgrund der guten Kühlwirkung des feinen Tropfenschwarmes, dass dieser mit den Brandgasen durch den Windeinfluss in das Erdgeschoß abgedrängt wird.

Aus den **Bildern 18.2** und **18.3** ist erkennbar, dass beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement (hier: 3 mm) der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten wird, und zwar selbst dann wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde. Aus Personenschutzgründen ist daher konzeptionell dem Rauchmelder der Vorzug zu geben.

6.3. Versuche ohne Unterscheidung des Windeinflusses

Vergleicht man die in den Abschnitten 6.1 und 6.3 aufgeführten Versuche ohne Unterscheidung bezüglich des Windeinflusses, so ergibt sich für die hier durchgeführten Versuche im Treppenraum mit festen Brandstoffen:

Normalsprinkler:

- mittlerer Löschwasserbedarf: 1.488 l
- mittlere Löschzeit: 22 min 34 s (22,57 min)
- mittlerer maximaler Extinktionskoeffizient: 1,34 m⁻¹

Niederdruck-Wassernebel:

- mittlerer Löschwasserbedarf: 292 l
- mittlere Löschzeit: 22 min 20 s (22,33 min)
- mittlerer maximaler Extinktionskoeffizient: 0,74 m⁻¹

Hochdruck-Wassernebel:

- mittlerer Löschwasserbedarf: 227 l
- mittlere Löszeit: 17 min 26 s (17,43 min)
- mittlerer maximaler Extinktionskoeffizient: $1,78 \text{ m}^{-1}$

Der Löschwasserbedarf des Niederdruck-Wassernebels beträgt ca. 20 % eines Normalsprinklers bei den hier durchgeführten Versuchen im Treppenraum.

Der Löschwasserbedarf des Hochdruck-Wassernebels beträgt ca. 15 % eines Normalsprinklers bei den hier durchgeführten Versuchen im Treppenraum.

Beim Hochdruck-Wassernebel verringert sich somit der Löschwasserbedarf um 22 % gegenüber dem Niederdruck-Wassernebel.

Die Löszeiten beim Normalsprinkler und Niederdruck-Wassernebel sind nahezu gleich groß.

Die Löszeit verringert sich beim Hochdruck-Wassernebel gegenüber dem Niederdruck-Wassernebel um 22 %.

Der Niederdruck-Wassernebel zeigt die geringste Verschlechterung der Sicht, gefolgt von Normalsprinkler und Hochdruck-Wassernebel.

Der mittlere Extinktionskoeffizient erhöht sich beim Hochdruck-Wassernebel um das 2,4 fache gegenüber dem Niederdruck-Wassernebel.

7. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei den im Realmaßstab durchgeführten Versuchen konnte festgestellt werden, dass sowohl durch Sprinkler als auch Nieder- und Hochdruck-Wassernebel die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest begrenzt werden konnte und der Brandschaden somit gering war. Durch sämtliche Löschanlagen wurde das Temperaturniveau unmittelbar nach Löschbeginn auf unkritische Werte abgesenkt.

Die gemessenen Brandgaskonzentrationen blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Verhältnis zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich.

Die erforderliche Löschwassermenge bis zum vollständigen Löschen des Brandes ist hierbei bei einem einzelnen Normalsprinkler bei einem Brandherd direkt unter dem Sprinkler aufgrund der Hohlkegelbildung weitaus am höchsten. Die Nebeldüsen haben gegenüber einem Sprinkler den Vorteil einer gleichmäßigeren Wasserverteilung über dem Sprühquerschnitt.

Bei Niederdruck- und Hochdruckwassernebel sind bedeutend geringere Löschwassermengen erforderlich, wobei der Löschwasserbedarf beim Niederdruck-Wassernebel um ca. 20% über dem von Hochdruck-Wassernebel bei den hier im Treppenraum durchgeführten Brandversuchen liegt. Der Niederdruck-Wassernebel benötigt ca. 20 %, der Hochdruck-Wassernebel ca. 15 % der Löschwassermenge eines Normalsprinklers.

Die Verschlechterung der Sicht durch Sprühnebel, Wasserdampf und Brandrauch ist bei Niederdruck-Wassernebel am geringsten, gefolgt vom Normalsprinkler. Beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich bei den Versuchen ohne Windeinfluss die größte Verschlechterung der Sicht (bis zum 4 fachen des Wertes von Niederdruck-Wassernebel), zum einen aufgrund des feinen Sprühnebels selbst, zum anderen aufgrund der Brandbekämpfung durch das in beträchtlichen Mengen entstehende Sprühnebel / Wasserdampf / Brandrauch aerosol.

Insbesondere beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich weiterhin eine Verschlechterung der Sicht durch starke Ablenkung des Sprühnebel / Wasserdampf / Brandgasaerosols in das Erdgeschoß aufgrund von Ventilationsbedingungen z.B. Windeinfluss auf Rauchabzüge, Tür- oder Fensteröffnungen. Dies hat insbesondere Bedeutung bei der angestrebten Nutzbarkeit

von Flucht- und Rettungswegen durch Bereitstellung raucharmer Rettungswege.

Der Normalsprinkler bewirkt ebenfalls eine starke Verschlechterung der Sicht sowohl ohne als auch mit Windeinfluss im Erdgeschoß. Bei der beim Niederdruck-Wassernebel eingesetzten Einzeldüse trat die Verschlechterung der Sicht im Erdgeschoß bei Windeinfluß nicht in dem Maße auf wie beim Hochdruck-Wassernebel.

Die fotoelektronischen Rauchmelder lösten im Gegensatz zu den eingesetzten Indikator-sprinklern bereits bei Temperaturen unter der maximal zulässigen Temperatur von 60°C (kurzzeitig 80°C) bei Normalglasverglasungen (Floatglas, Verbundsicherheitsglas) aus. Es hätte daher keine Gefahr für Normalverglasungen etwa im Bereich denkmalgeschützter Holztreppenräume bestanden, falls die Löschanlage bereits zum Zeitpunkt der Rauchmelder ausgelöst hätte.

Beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfassauslöseelement wird der maximal zulässige Extinktionskoeffizient im Gegensatz zur Auslösung durch Rauchmelder überschritten, und zwar selbst dann, wenn der Rauchmelder zentral unter dem oberen Abschluss des Treppenraums zur Auslösung verwendet würde.

Besonders in ausgedehnten Räumen bieten nur Rauchmelder die Möglichkeit einer ausreichend schnellen Alarmierung der Personen und stellen somit sicher, dass bei unmittelbar einsetzender und zügig durchgeführter Evakuierung (Selbstrettung) die Brandgaskonzentrationen im für Menschen unkritischen Bereich bleiben.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Kunkelmann J.: 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. Forschungsbericht Nr. 135 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2004)
- [2] Kunkelmann, J.: Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluss von ortsfesten Wasserlöschanlagen.
Teil 2:
- Brand- und Löschversuche mit Windeinfluss auf einen natürlichen Rauchabzug.
- Vergleich von Normal-Sprinkler- mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage. Forschungsbericht Nr. 136 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2005)
- [3] 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
- [4] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wassernebel-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 Wassernebellöschanlagen
- Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wassernebellöschanlage)
Forschungsbericht Nr. 120 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2000)
- [5] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wassernebel-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 Löschversuche
Forschungsbericht Nr. 129 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2002)

- [6] Jin, T.: Studies of Emotional Instability in Smoke from Fires, Journal of Fire & Flammability, Vol. 12, 1981, p. 130 – 142
- [7] Roth, G.D.: Wetterkunde für alle.
BLV Verlagsgesellschaft, München, Wien, Zürich, 3. Auflage, 1977
- [8] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Windgeschwindigkeit.
http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/klima/wind/wind_txt.htm,
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2004
- [9] Deutscher Wetterdienst Windstärken in Beaufort.
www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Schadensfall/Beaufortskala.htm
- [10] DIN 18232-5 Rauch- und Wärmefreihaltung.
Teil 5: Maschinelle Rauchabzugsanlagen (MRA)
Anforderungen , Bemessung
Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2003

9. 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, Füllichte: 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 Treppenlauflänge: 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) • Treppenaug: 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 Trepperaum, 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

Wasserebellöschanlage	<p>ortsfeste Niederdruckanlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sprühköpfe der Firma Systemtechnik Herzog GmbH • <u>Brandraum</u> 1 Sprühkopf mit 1 - 5 offenen Dralldüsen, Abstand Mitte Sprühkopf-Decke: 110 mm • <u>Treppenraum3</u> Sprührohreinheiten vertikal über sämtliche Etagen (linke Treppenraumwand, Treppenaugene 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 (Überdruck): <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 $D_{A;50\%} = 9,0 \mu\text{m}$
	<p>ortsfeste Hochdruckanlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Treppenraum</u> 1 Sprühkopf mit 4 offenen Dralldüsen der Firma Düsen-Schlick GmbH Einzeldüse: kreisförmiger Hohlkegel, Streuungswinkel ca. 120° (bei 3 bar), Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben) Sprühwinkel des Sprühkopfes ca. 110° zentral unter dem Podest der 3. Etage (Höhe Mitte Sprühkopf: + 6,75 m) Betriebsdruck: 80 bar, 135 bar Tropfengrößen: siehe Diagramme zur Tropfengrößenverteilung • 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
Sprinkleranlage	<p><u>Treppenraum</u> Normalsprinkler der Firma Tyco (Total Walther GmbH), hängend $R \frac{1}{2}''$, K 80, 66 l/min bei 0,7 bar, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$, Glasfaß: 5 mm; RTI=ca. $100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, Glasfaß: 3 mm; RTI=ca. $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$, minimaler Betriebsdruck (Überdruck): 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>

Indikatorsprinkler	<ul style="list-style-type: none"> • Sp1, Sp2, Sp3, Sp4, Sp5, Sp5*: 5 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 100 m^{1/2} s^{1/2} bzw. 3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 50 m^{1/2} s^{1/2} Sp5*: zusätzlich 1,5 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 16 m^{1/2} s^{1/2} • Sp1*: 3 mm Glasfaß, Nennauslösetemperatur: 68 °C, mittlerer RTI-Wert: ca. 50 m^{1/2} s^{1/2}) • Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum: Sp1, Sp1* <ul style="list-style-type: none"> - Eingangstür zum Brandraum - Treppenraumseite Mitte, Oberkante Türöffnung (über dem Oberlicht): Sp2 - zentral im Treppenauge in 4 m (1,5 m über dem Podest der 1. Etage: Sp3) und 6,5 m Höhe (1,5 m über dem Podest der 2. Etage: Sp4) - zentral unter dem Podest der 3. Etage: Sp5 bzw. Sp5*
Brandmelder	foto-elektronische 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 Treppenaug 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 <ul style="list-style-type: none"> - seitliches Beobachtungsfenster am Treppenraum (Erdgeschoß) - Eingangstür zum Treppenraum (Erdgeschoß) - Beobachtungsfenster 1. Etage – Podest - Beobachtungsfenster 2. Etage – Podest - Beobachtungsfenster 3. Etage – Podest - 1 m²-Öffnung (3. Etage) Fotoaufnahmen

Tabelle 2: Brand- und Löschversuche – detaillierte Gesamtübersicht

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche					
Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel	Maximale Temperatur	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum	Löschanlage - Betriebsbedingungen	Rauchabzug im Treppenraum
	Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	- Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient	
Horizontale Sprühdichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCOW1 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° (bei 3 bar), Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 150°C (13min 20s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trep.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 17,3 Vol. % (14min 30s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 800 ppm (14min 20s)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 26300 ppm (15min)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 16,2 Vol. % (14min 10s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 500 ppm (13min 50s)</p>	<p>BrTr1 1min 23s</p> <p>BrTr2 1min 54s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 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>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: Manuell 14min 3s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}:keine Auslösung)</p> <p>gesamt: 14min 16s: ca. 186 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) Löschbeginn: 14min 10s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=3,92\text{ m}^{-1}$ (14min 10s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=4,61\text{ m}^{-1}$ (14min 20s)</p>
<p>Versuch: HDSCOW2 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 88°C (2min 50s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trep.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 19,9 Vol. % (5min 10s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 500 ppm (14min)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 5300 ppm (5min 50s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 19,8 Vol. % (4min 20s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 200 ppm (13min 40s)</p>	<p>BrTr1 57s</p> <p>BrTr2 2min 21s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.(T_{7;3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7;1E}): t=0 min: ca. 3°C; t_{BrTr2}: ca. 15°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 50s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 13min 35s: ca. 177 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) Löschbeginn: 3min 13s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2min 40s) $\sigma_{max}=2,69\text{ m}^{-1}$ (13min 20s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15\text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=2,52\text{ m}^{-1}$ (14min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühdichtung ohne Windeinfluß Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCOW3 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 85°C (2min 30s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trep.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,1 Vol.% (5min 50s) CO_{max;3.Et.}: 500 ppm (13min) CO_{2,max;3.Et.}: 3900 ppm (5min 40s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 19,7 Vol.% (4min 40s) CO_{max;1.Pod.}: 200 ppm (11min 20s)</p>	<p>BrTr1 28s BrTr2 1min 43s</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. 12°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 30s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 15min 32s: ca. 202 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 vor Löschbeginn: 1min 47s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=3,47 \text{ m}^{-1}$ (13min 10s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=2,44 \text{ m}^{-1}$ (13min 50s)</p>
<p>Versuch: HDSCOW4 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 88°C (2min 24s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trep.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,1 Vol.% (4min 30s) CO_{max;3.Et.}: 400 ppm (8min 30s) CO_{2,max;3.Et.}: 3700 ppm (6min 40s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 20,0 Vol.% (3min 50s) CO_{max;1.Pod.}: 400 ppm (9min 50s) CO_{2,max;1.Pod.}: 5900 ppm (4min 20s)</p>	<p>BrTr1 31s BrTr2 2min 21s</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. 18°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 80 bar ca. 10 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 24s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 26min 33s: ca. 266 l</p> <p>0,23 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: 2min 34s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=3,76 \text{ m}^{-1}$ (13min 20s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=3,55 \text{ m}^{-1}$ (14min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

<p>Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel</p>	<p>Maximale Temperatur Min. O₂-, max. CO- u. CO₂-Konzentration im Treppenraum</p>	<p>Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)</p>	<p>Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen</p>	<p>Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)</p>	<p>Rauchabzug im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler ($\sigma_{max}$) Extinktionskoeffizient</p>
<p>Horizontale Sprühdichtung ohne Windeinfluß Versuche mit festen Brandstoffen</p>					
<p>Versuch: HDSCOW5 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E} = 88^\circ\text{C}$ (3min 7s) zentral 3. Etage, Treppenaugen, 1,5m über Podest: $O_{2,min;3.Et.} = 20,2 \text{ Vol.}\%$ (6min) $CO_{max;3.Et.} = 400 \text{ ppm}$ (19min 40s) $CO_{2,max;3.Et.} = 2900 \text{ ppm}$ (9min 50s) Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest $O_{2,min;1.Pod.} = 20,0 \text{ Vol.}\%$ (4min 10s) $CO_{max;1.Pod.} = 200 \text{ ppm}$ (6min 20s) $CO_{2,max;1.Pod.} = 5100 \text{ ppm}$ (4min 20s)</p>	<p>BrTr1 54s BrTr2 1min 44s Temp.differenz im Treppenaugen: $3.Et.(T_{7,3E}) - 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 \text{ min: ca. } 2^\circ\text{C};$ $t_{BrTr2}: \text{ca. } 12^\circ\text{C}$</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$ keine Auslösung</p>	<p>ca. 80 bar ca. 10 l/min Löschbeginn: 3min 7s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$) gesamt: 22min 1s: ca. 220 l 0,23 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 vor Löschbeginn: 1min 46s Podest 2. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max} = 3,55 \text{ m}^{-1}$ (17min 40s) Podest 3. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 40s) $\sigma_{max} = 2,86 \text{ m}^{-1}$ (9min 30s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühdichtung ohne Windeinfluß Versuche mit flüssigen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCOW6 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, Mitte)</p> <p>Brandlast: Bratpfanne (ϕ 28 cm) mit 1 l Pflanzenöl (Flammpunkttemperatur: ca. 370°C) auf 3 Pastenbrennern (Calciumacetat mit Brennspritus)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Wasserebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° (bei 3 bar), Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E} = 75^\circ\text{C}$ (5min 2s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: $O_{2,min;3.Et.}$: 19,7 Vol. % (6min)</p> <p>$CO_{max;3.Et.}$: 300 ppm (4min)</p> <p>$CO_{2,max;3.Et.}$: 7400 ppm (6min 30s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest $O_{2,min;1.Pod.}$: 18,2 Vol. % (4min 40s)</p> <p>$CO_{max;1.Pod.}$: 500 ppm (4min 20s)</p> <p>$CO_{2,max;1.Pod.}$: 16800 ppm (4min 40s)</p>	<p>BrTr1 -17s</p> <p>BrTr2 1min 30s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $T_{7,1E}$): $t=0$ min: ca. 6°C; t_{BrTr2}: ca. 13°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$ keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 5min 2s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$)</p> <p>gesamt: 32s: ca. 7 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 Löschbeginn: 5min 6s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (1min 40s) $\sigma_{max} = 1,53 \text{ m}^{-1}$ (5min 4s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (1min 50s) $\sigma_{max} = 1,56 \text{ m}^{-1}$ (6min 54s)</p>
<p>Versuch: HDSCOW7 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, Mitte)</p> <p>Brandlast: Bratpfanne (ϕ 28 cm) mit 1 l Pflanzenöl (Flammpunkttemperatur: ca. 370°C) auf 3 Pastenbrennern (Calciumacetat mit Brennspritus)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Wasserebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E} = 80^\circ\text{C}$ (2min 33s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: $O_{2,min;3.Et.}$: 19,6 Vol. % (4min 20s)</p> <p>$CO_{max;3.Et.}$: 300 ppm (1min)</p> <p>$CO_{2,max;3.Et.}$: 6900 ppm (4min 50s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest $O_{2,min;1.Pod.}$: 15,2 Vol. % (3min 40s)</p> <p>$CO_{max;1.Pod.}$: 2500 ppm (3min 30s)</p> <p>$CO_{2,max;1.Pod.}$: 6900 ppm (4min 50s)</p>	<p>BrTr1 14s</p> <p>BrTr2 1min 45s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $T_{7,1E}$): $t=0$ min: ca. 4°C; t_{BrTr2}: ca. 7°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$ keine Auslösung</p>	<p>ca. 80 bar ca. 10 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 33s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$)</p> <p>gesamt: 4min 40s: ca. 47 l</p> <p>0,23 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: 2min 38s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (1min 20s) $\sigma_{max} = 1,34 \text{ m}^{-1}$ (6min 20s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min) $\sigma_{max} = 1,60 \text{ m}^{-1}$ (5min 40s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Horizontale Sprühdichtung ohne Windeinfluß					
Versuche mit flüssigen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCOW8 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, Mitte)</p> <p>Brandlast: Bratpfanne (ϕ 28 cm) mit 1 l Pflanzenöl (Flammpunkttemperatur: ca. 370°C) auf 3 Pastenbrennern (Calciumacetat mit Brennspritus)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellangaben)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E} = 94^\circ\text{C}$ (27s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trep.auge, 1,5m über Podest: $O_{2,min;3.Et.} = 19,3 \text{ Vol.}\%$ (2min 15s)</p> <p>$CO_{max;3.Et.} = 400 \text{ ppm}$ (-3min 35s)</p> <p>$CO_{2,max;3.Et.} = 7400 \text{ ppm}$ (3min 25s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest $O_{2,min;1.Pod.} = 13,8 \text{ Vol.}\%$ (1min 35s)</p> <p>$CO_{max;1.Pod.} = 7400 \text{ ppm}$ (1min 25s)</p> <p>$CO_{2,max;1.Pod.} = 27000 \text{ ppm}$ (1min 35s)</p>	<p>BrTr1 -1min 38s</p> <p>BrTr2 7s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $T_{7,1E}$): $t=0$ min: ca. 5°C; t_{BrTr2}: ca. 6°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$ keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 27s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, $RTI = \text{ca. } 50 \text{ (ms)}^{1/2}$)</p> <p>gesamt: 3min 59s: ca. 52 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 Löschbeginn: 36s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (15s) $\sigma_{max} = 1,37 \text{ m}^{-1}$ (1min 35s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul} = 0,15 \text{ m}^{-1}$ (-5s) $\sigma_{max} = 1,83 \text{ m}^{-1}$ (1min 45s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühdichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCMW1 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangabe)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 83°C (3min 11s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,2 Vol. % (4min 30s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 400 ppm (3min 20s)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 3900 ppm (4min 40s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 19,8 Vol. % (5min 10s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 300 ppm (6min 50s)</p> <p>CO_{2,max;1.Pod.}: 7300 ppm (5min 10s)</p>	<p>BrTr1 1min 6s</p> <p>BrTr2 2min 2s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 7°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 3min 11s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 24min 20s: ca. 316 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 Wind: leichte Brise, ca. 3 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe, Öffnung nach Löschbeginn: 3min 15s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 20s) $\sigma_{max}=0,31 \text{ m}^{-1}$ (3min 10s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=0,33 \text{ m}^{-1}$ (3min 20s)</p>
<p>Versuch: HDSCMW2 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangabe)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 92°C (2min 52s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,2 Vol. % (4min 10s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 300 ppm (6min 20s)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 3700 ppm (4min 10s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 19,5 Vol. % (3min 40s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 200 ppm (18min 20s)</p> <p>CO_{2,max;1.Pod.}: 9200 ppm (3min 40s)</p>	<p>BrTr1 35s</p> <p>BrTr2 1min 43s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 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>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 52s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 16min 28s: ca. 214 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 Wind: leichte Brise, ca. 3 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe, Öffnung vor Löschbeginn: 1min 47s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 40s) $\sigma_{max}=0,22 \text{ m}^{-1}$ (2min 50s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=0,25 \text{ m}^{-1}$ (3min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühdichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCMW3 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangabe)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E} = 87°C (2min 30s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,1 Vol. % (3min 40s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 400 ppm (12min 40s)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 3900 ppm (3min 50s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 20,4 Vol. % (7min 40s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 300 ppm (12min 20s)</p> <p>CO_{2,max;1.Pod.}: 2400 ppm (11min 50s)</p>	<p>BrTr1 32s</p> <p>BrTr2 2min 7s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 17°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 80 bar ca. 10 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 30s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 20min 50s: ca. 208 l</p> <p>0,23 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 Wind: leichte Brise, ca. 3 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe, Öffnung nach Löschbeginn: 2min 38s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=0,27 \text{ m}^{-1}$ (2min 40s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=0,28 \text{ m}^{-1}$ (2min 40s)</p>
<p>Versuch: HDSCMW4 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangabe)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E} = 81°C (2min 36s)</p> <p>zentral 3. Etage, Trepp.auge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 20,1 Vol. % (3min 30s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 400 ppm (23min)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 3700 ppm (3min 30s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 19,5 Vol. % (3min 30s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 300 ppm (4min)</p> <p>CO_{2,max;1.Pod.}: 7300 ppm (3min 30s)</p>	<p>BrTr1 41s</p> <p>BrTr2 1min 49s</p> <p>Temp.differenz im Treppenauge: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 13°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 80 bar ca. 10 l/min</p> <p>Löschbeginn: 2min 36s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 23min 44s: ca. 237 l</p> <p>0,23 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 Wind: leichte Brise, ca. 3 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3. Etage über Kopfhöhe, Öffnung vor Löschbeginn: 1min 52s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 30s) $\sigma_{max}=0,27 \text{ m}^{-1}$ (11min 20s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2min 10s) $\sigma_{max}=0,24 \text{ m}^{-1}$ (11min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-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 im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zui}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit flüssigen Brandstoffen					
<p>Versuch: HDSCMW5 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, Mitte)</p> <p>Brandlast: Bratpfanne (ϕ 28 cm) mit 2 l Pflanzenöl (Flammpunkttemperatur: ca. 370°C) auf 3 Pastenbrennern (Calciumacetat mit Brennspritus)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Wassernebellöschanlage im Treppenraum: 1 Sprühkopf (Sprühwinkel ca. 110°) mit 4 offenen Dralldüsen (Hohlkegel, Streukegel der Einzeldüsen ca. 120° bei 3 bar, Bohrungsdurchmesser 1,2 mm (Herstellerangabe)) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 87°C (1min 30s)</p> <p>zentral 3. Etage, Treppauge, 1,5m über Podest: O_{2,min;3.Et.}: 19,8 Vol. % (3min 15s)</p> <p>CO_{max;3.Et.}: 300 ppm (-25s)</p> <p>CO_{2,max;3.Et.}: 5500 ppm (3min 35s)</p> <p>Mitte Podest 1. Etage, 1,5 m über Podest O_{2,min;1.Pod.}: 16,6 Vol. % (2min 55s)</p> <p>CO_{max;1.Pod.}: 2300 ppm (2min 35s)</p> <p>CO_{2,max;1.Pod.}: 19500 ppm (3min 15s)</p>	<p>BrTr1 -55s</p> <p>BrTr2 37s</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. 6°C</p>	<p>Sp2,Sp3,Sp4: Glasfaß: 3 mm, 68°C RTI= ca. 50 (ms)^{1/2} keine Auslösung</p>	<p>ca. 135 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: 1min 30s (Indikatorsprinkler Sp5 Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2})</p> <p>gesamt: 3min 50s: ca. 50 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 Wind: leichte Brise, ca. 3 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe, Öffnung vor Löschbeginn: 2min 38s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zui}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (55s) $\sigma_{max}=0,88 \text{ m}^{-1}$ (3min 15s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zui}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (1min 5s) $\sigma_{max}=0,95 \text{ m}^{-1}$ (2min 5s)</p>

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

Versuch	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug			Extinktionskoeffizient m^{-1}				Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Löschbeginn Lb	Löschzeit Lz	Löschwas-sermenge
							Temperaturdifferenz im Treppenaug zwischen 1. und 3. Etage		Max. Temperatur	BrTr1 (unter 3. Podest) t_{Tr1}		BrTr2 (unter dem Dach) t_{Tr2}					
Druck Volumenstrom	1. Podest	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 / nach Löschbeginn	Podest 2. Etage		Podest 3. Etage		ca. 3 m/s an 1 m ² -Öffnung bei offener Treppenraumbür	3. Et. (T _{7,3E}) – 1.Et. (T _{7,1E}) bei t=0min und t=t _{BrTr2}	Sp5 (68°C, Glas: 3 mm, RTI=ca. 50m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. T _{2,2E}				
							0,15 m ⁻¹ überschritten	Max.	0,15 m ⁻¹ überschritten	Max.							
Hochdruck-Wassernebellöschanlage																	
Ohne Windeinfluß																	
Versuche mit festen Brandstoffen																	
HDSCOW1 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 14min 10s	nein	nach Löschbeginn	2min 10s	3,92m ⁻¹ 14min 10s	2min 10s	4,61m ⁻¹ 14min 20s	nein	1min 23s 1min 54s	keine Auslösung 150°C (13min 20s)	Lb: 14min 3s Lz: 14min 16s 186 l			
												1°C / 12°C					
HDSCOW2 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 3min 13s	nein	nach Löschbeginn	2min 40s	2,69m ⁻¹ 13min 20s	2min 30s	2,52m ⁻¹ 14min	nein	57s 2min 21s	88°C (2min 50s)	Lb: 2min 50s Lz: 13min 35s 177 l			
												3°C / 15°C					
HDSCOW3 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 47s	nein	vor Löschbeginn	2min 30s	3,47m ⁻¹ 13min 10s	2min 30s	2,44m ⁻¹ 13min 50s	nein	28s 1min 43s	85°C (2min 30s)	Lb: 2min 30s Lz: 15min 32s 202 l			
												2°C / 12°C					
HDSCOW4 80 bar 10 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 2min 34s	nein	nach Löschbeginn	2min 10s	3,76m ⁻¹ 13min 20s	2min 10s	3,55m ⁻¹ 14min	nein	31s 2min 21s	88°C (2min 24s)	Lb: 2min 24s Lz: 26min 33s 266 l			
												1°C / 18°C					
HDSCOW5 80 bar 10 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 46s	nein	vor Löschbeginn	2min 30s	3,55m ⁻¹ 17min 40s	2min 40s	2,86m ⁻¹ 9min 30s	nein	54s 1min 44s	88°C (3min 7s)	Lb: 3min 7s Lz: 22min 1s 220 l			
												2°C / 12°C					
Versuche mit flüssigen Brandstoffen																	
HDSCOW6 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 5min 6s	nein	nach Löschbeginn	1min 40s	1,53m ⁻¹ 5min 4s	1min 50s	1,56m ⁻¹ 6min 54s	nein	- 17s 1min 30s	75°C (5min 2s)	Lb: 5min 2s Lz: 32s 7 l			
												6°C / 13°C					
HDSCOW7 80 bar 10 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 2min 38s	nein	nach Löschbeginn	1min 20s	1,34m ⁻¹ 6min 20s	2min	1,60m ⁻¹ 5min 40s	nein	14s 1min 45s	80°C (2min 33s)	Lb: 2min 33s Lz: 4min 40s 47 l			
												4°C / 7°C					
HDSCOW8 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 36s	nein	nach Löschbeginn	15s	1,37m ⁻¹ 1min 35s	- 5s	1,83m ⁻¹ 1min 45s	nein	- 1min 38s 7s	94°C (27s)	Lb: 27s Lz: 3min 59s 52 l			
												5°C / 6°C					

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

Versuch	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug			Extinktionskoeffizient m^{-1}				Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder Temperaturdifferenz im Treppenauge zwischen 1. und 3. Etage		Indikator-sprinkler	Löschbeginn Lb Löschzeit Lz Löschwas-sermenge
												BrTr1 (unter 3. Podest) t_{Tr1}	BrTr2 (unter dem Dach) t_{Tr2}		
Druck Volumenstrom	1. Podest	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 / nach Löschbeginn	Podest 2. Etage		Podest 3. Etage		ca. 3 m/s an 1 m ² -Öffnung bei offener Treppenraumtür			Sp5 (68°C, Glas: 3 mm, RTI=ca. 50m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. T _{2,2E}	
							0,15 m ⁻¹ überschritten	Max.	0,15 m ⁻¹ überschritten	Max.			3. Et. (T _{7,3E}) – 1.Et. (T _{7,1E}) bei t=0min und t=t _{Tr2}		
Hochdruck-Wasserebellöschanlage															
Mit Windeinfluß															
Versuche mit festen Brandstoffen															
HDSCMW1 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 3min 15s	nein	nach Löschbeginn	2min 20s	0,31m ⁻¹ 3min 10s	2min 30s	0,33m ⁻¹ 3min 20s	ja	1min 6s	2min 2s	83°C (3min 11s)	Lb: 3min 11s Lz: 24min 20s 316 l
HDSCMW2 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 47s	nein	vor Löschbeginn	2min 40s	0,22m ⁻¹ 2min 50s	2min 30s	0,25m ⁻¹ 3min	ja	35s	1min 43s	92°C (2min 52s)	Lb: 2min 52s Lz: 16min 28s 214 l
HDSCMW3 80 bar 10 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 2min 38s	nein	nach Löschbeginn	2min 10s	0,27m ⁻¹ 2min 40s	2min 10s	0,28m ⁻¹ 2min 40s	ja	32s	2min 7s	87°C (2min 30s)	Lb: 2min 30s Lz: 20min 50s 208 l
HDSCMW4 80 bar 10 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 52s	nein	vor Löschbeginn	2min 30s	0,27m ⁻¹ 11min 20s	2min 10s	0,24m ⁻¹ 11min	ja	41s	1min 49s	81°C (2min 36s)	Lb: 2min 36s Lz: 23min 44s 237 l
Versuche mit flüssigen Brandstoffen															
HDSCMW5 135 bar 13 l/min	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 54s	nein	vor Löschbeginn	55s	0,88m ⁻¹ 3min 5s	1min 5s	0,95m ⁻¹ 2min 5s	ja	- 55s	37s	87°C (1min 30s)	Lb: 1min 30s Lz: 3min 50s 50 l

Tabelle 4: Vergleich der Löschwassermengen, Löschzeiten und Verrauchung (Extinktionskoeffizient) bei Niederdruck-Wassernebel, Hochdruck-Wassernebel und Sprinkler mit und ohne Windeinfluß.

			Extinktionskoeffizient (Mittelwert von 2. und 3.Etage) [m ⁻¹]	Löschzeit [min]	Löschwasserbedarf [l]
Normalsprinkler	Versuch				
ohne Wind	SP1	1 Sprinkler, 66 l/min	1,19	16,67	1.100
	SP2	1 Sprinkler, 66 l/min	1,86	7,17	473
	SP3	1 Sprinkler, 66 l/min	1,20	20,83	1.375
	SP4	1 Sprinkler, 66 l/min	1,30	20,00	1.320
	SP13	1 Sprinkler, 66 l/min	1,51	40,08	2.645
	SP14	1 Sprinkler, 66 l/min	1,27	20,80	1.350
Mittelwert			1,39	20,93	1.377
mit Wind	SP5	1 Sprinkler, 66 l/min	0,45	16,50	1.089
	SP6	1 Sprinkler, 66 l/min	0,96	27,03	1.784
	SP7	1 Sprinkler, 66 l/min	2,24	16,78	1.108
	SP8	1 Sprinkler, 66 l/min	2,35	19,53	1.289
	SP9	1 Sprinkler, 66 l/min	1,94	18,48	1.220
	SP10	1 Sprinkler, 66 l/min	0,69	33,17	2.189
	SP11	1 Sprinkler, 66 l/min	0,58	23,58	1.557
	SP12	1 Sprinkler, 66 l/min	1,04	38,60	2.548
Mittelwert			1,28	24,21	1.598
Niederdruck-Wassernebel					
ohne Wind	HTR5	1 Spühkopf, 5 Düsen, 46 l/min	0,76	13,83	636
	HTR6	1 Spühkopf, 4 Düsen, 37 l/min	0,55	19,17	709
	HTR7	1 Spühkopf, 1 Düse, 13 l/min	0,87	25,12	327
Mittelwert			0,87 (3 Versuche: 0,73)	25,12 (3 Versuche: 19,37)	327 (3 Versuche: 557)
mit Wind					
	HTR8	1 Spühkopf, 1 Düse, 13 l/min	0,92	16,80	218
	HTR9	1 Spühkopf, 1 Düse, 13 l/min	0,29	22,28	296
Mittelwert			0,61	19,54	257
Hochdruck-Wassernebel					
ohne Wind	HDSCOW1	1 Spühkopf, 4 Düsen, 13 l/min	4,27	14,27	186
	HDSCOW2	1 Spühkopf, 4 Düsen, 13 l/min	2,61	13,58	177
	HDSCOW3	1 Spühkopf, 4 Düsen, 13 l/min	2,96	15,53	202
	HDSCOW4	1 Spühkopf, 4 Düsen, 10 l/min	3,66	26,55	266
	HDSCOW5	1 Spühkopf, 4 Düsen, 10 l/min	3,21	22,02	220
Mittelwert			3,28 (5 Versuche: 3,34)	14,46 (5 Versuche: 18,39)	188 (5 Versuche: 210)
mit Wind	HDSCMW1	1 Spühkopf, 4 Düsen, 13 l/min	0,32	24,33	316
	HDSCMW2	1 Spühkopf, 4 Düsen, 13 l/min	0,24	16,47	214
	HDSCMW3	1 Spühkopf, 4 Düsen, 10 l/min	0,28	20,83	208
	HDSCMW4	1 Spühkopf, 4 Düsen, 10 l/min	0,26	23,73	237
Mittelwert			0,28 (4 Versuche: 0,28)	20,40 (4 Versuche: 21,34)	265 (4 Versuche: 244)

10. BILDER

Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum



1 Versuchsholzgebäude mit Brand- u. Treppenraum

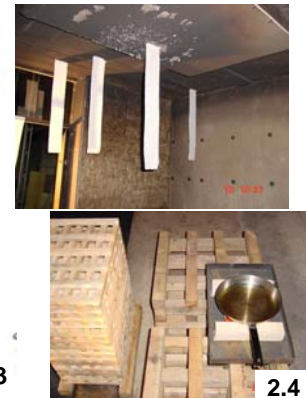
2 Brandraum

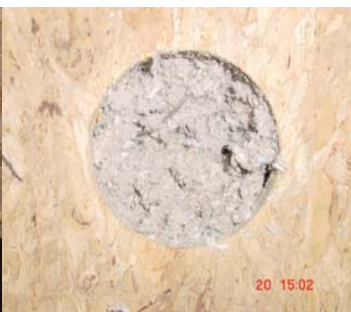
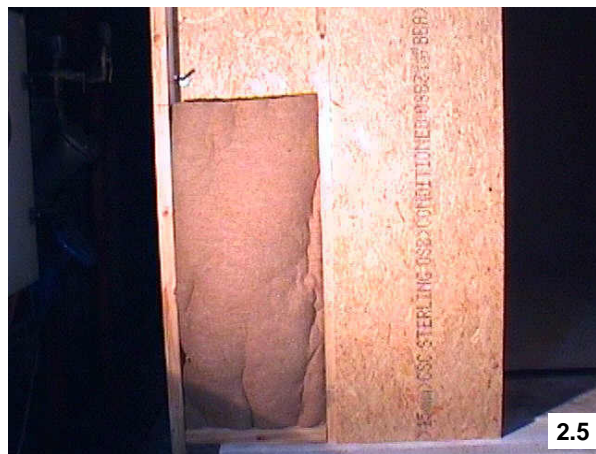
2.1 Wassernebelprühkopf, Indikator-sprinkler (Sp1, Sp1*) und Brand-melder Br (Foto-elektronischer Rauchmelder)

2.2 Versuche mit Festbrandstoff (Brandlastpalette)

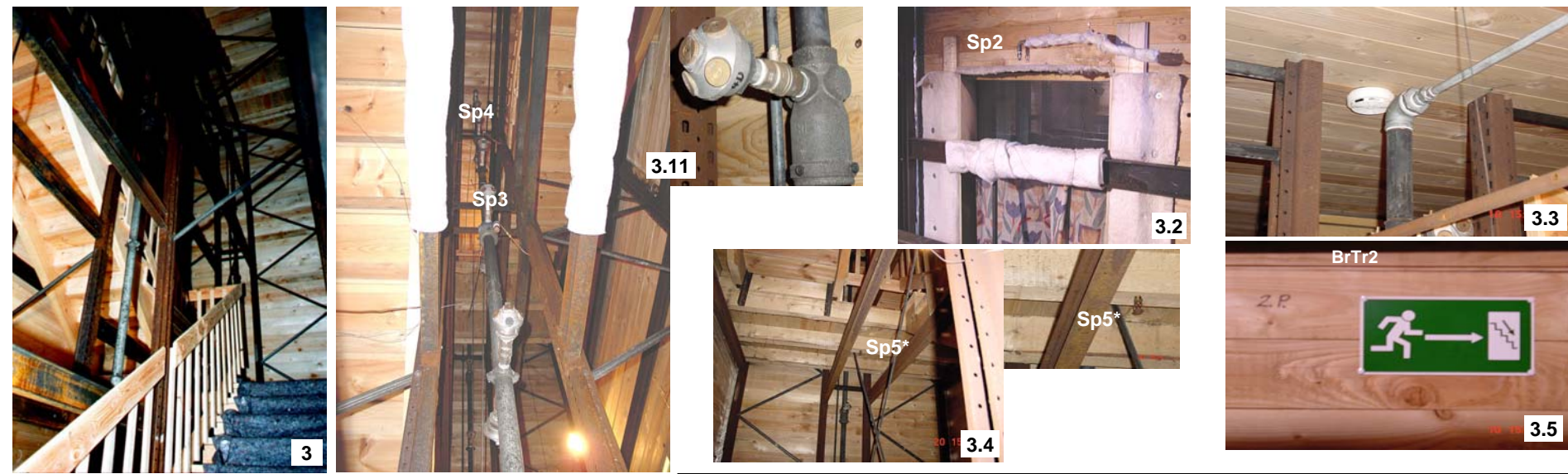
2.3 Versuche mit Flüssigbrandstoff (Bratpfanne mit Pflanzenöl), Toilettenpapierstreifen an der Decke zur Beurteilung der Brandein- und Löschwirkung

2.4 Versuch mit Fest- und Flüssigbrandstoff (Brandlastpalette u. Bratpfanne mit Pflanzenöl)





- 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 verschlossen, Steckdosen- und Lichtschalteröffnung siehe Foto 2)**
- 2.7 Installationsraum mit Dämmstoff (Gefach 1 mit Zellulosedämmstoff (siehe Foto) oder Flachsdämmstoff)**
- 2.8 Holzbalkendecke (geöffnet, ohne Gipskartonplatte) mit Flachsdämmstoff (Foto 2: Holzbalkendecke mit Gipskartonplatte)**



- 3 Treppenraum - Löschanlage und Brandmeldung**
- 3.11** Treppenauge mit mittlerem Sprührohr u. Indikatorsprinkler Sp3 u. Sp4 sowie ein Sprühkopf des linken bzw. rechten Sprührohres
 - 3.12** Niederdruck-Wasserebelsprühkopf unter Podest 3 mit 1, 4 und 5 Düsen sowie Indikatorsprinkler Sp5*
 - 3.13** Sprinkler Sp5 (Wasserebelsprühkopf optional) unter 3. Podest, Indikatorsprinkler Sp5* Foto-elektronischer Rauchmelder BrTr1
 - 3.14** Hochdruckpumpe
 - 3.15** Hochdruck-Wasserebelsprühkopf
 - 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

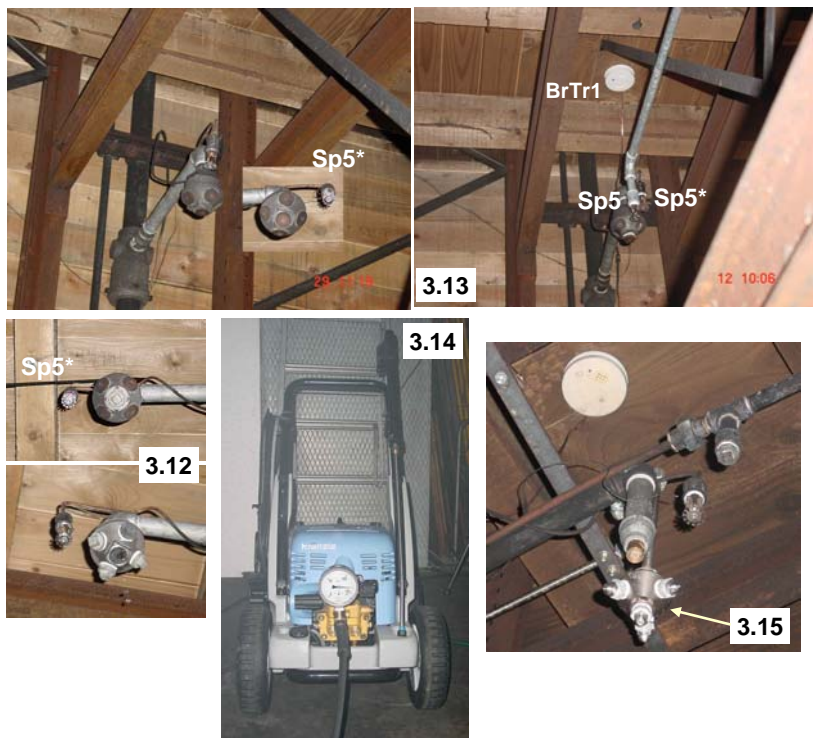


Bild 1.3: Versuchsaufbau

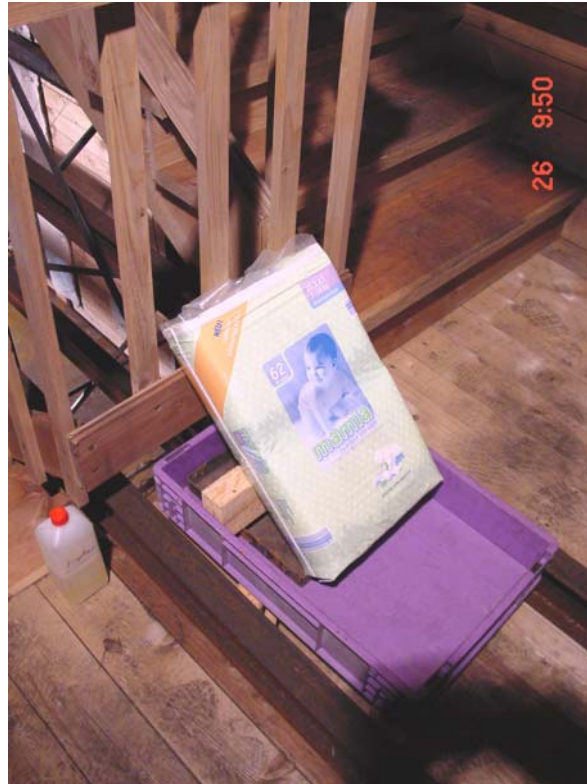


- 3 Treppenraum - Rauchabzug**
- 3.61 Natürlicher Rauchabzug NRA (1m² - Öffnung)**
 - 3.62 Axialventilator auf Hubsteiger zur Winderzeugung an 1m² - Öffnung**
 - 3.63 Verdampfer-Nebelmaschine zur Erzeugung von kaltem Rauch**
 - 3.64 Wind-Indikatorstreifen zur Anzeige der Strömungsrichtung**
 - 3.7 Maschineller Rauchabzug MRA (Abgasreinigungsanlage)**

3.8 Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage



3.81 Holzkrippe (ca. 13 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) 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 (300 mm * 200 mm * 40 mm mit Heptan (0,5 l)



3.83 Bratpfanne mit auf Flammpunkttemperatur vorgeheiztem Pflanzenöl (Vorheizung mit Glasdeckel - hier entfernt; 1 l, 2 l Öl) auf 3 Pastenbrennern



4.1



4.2



12-10-16



26:11 11

4 Meß- und Videotechnik

4.1 Abbrandwaage unter dem Brand-raumboden

4.2 Regenmesser zur Messung der Wasserbeaufschlagung am Boden und in 1 m Höhe im Brand- (Foto: oben) bzw. im Treppenraum (Foto: unten links); Anzeigergeräte (Foto: unten rechts)

4.3 Magnetisch-induktiver Durchfluß-messer

4.4 Piezoresistiver Druckmeßumformer im Sprühkopf

4.5 Einstellung der Löschwasser-menge am Sprühkopf bzw. Sprinkler ohne Befeuchtung des Treppenraumes bzw. der Brandlast



4.3



4.4



4.5

Bild 1.6: Versuchsaufbau



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

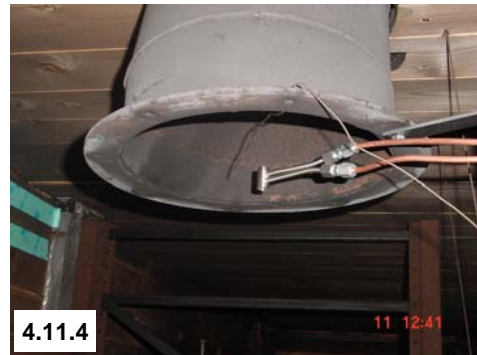
4.7 Prandtl-Staurohre an Treppenraumtür und Zwischentür Brand-/Treppenraum

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 Indikator-sprinkler





- 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 Maschineller Rauchabzug
- 4.12 Videokameras an den Beobachtungsfenstern, Übertragung der Aufnahmen auf eine Monitorwand im Foyer



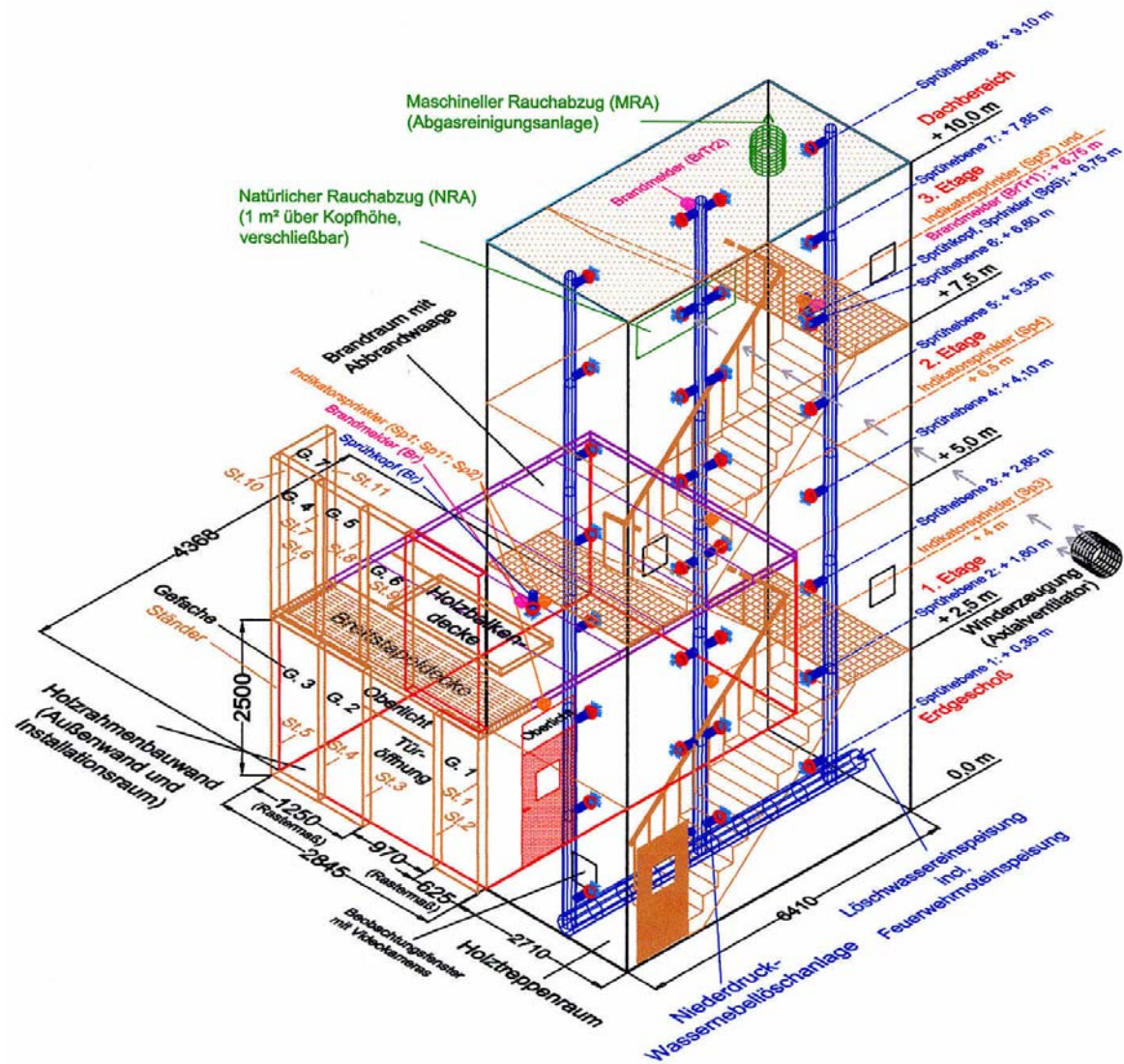


Bild 1.9: Versuchsaufbau - Prinzipskizze

Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wasserdnebel



Einzeldüse
135 bar



Einzeldüse
135 bar



Einzeldüse im Treppenraum
135 bar



Sprühkopf mit 4 Düsen
135 bar



Sprühkopf mit 4 Düsen
135 bar



Sprühkopf (4 Düs.) im Treppenraum
135 bar

Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wassernebel



Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar
Höhe des Sprühkopfes: 5 m



Radialgebläse zur Winderzeugung
Windgeschwindigkeit: 3 m/s



Einzeldüse – 135 bar
Ablenkung durch Wind (3 m/s)



Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar
Ablenkung durch Wind im Freien

Tropfengrößen

Hohlkegeldüsen

Volumetrisch mittlere Tropfengröße in Mikrometer

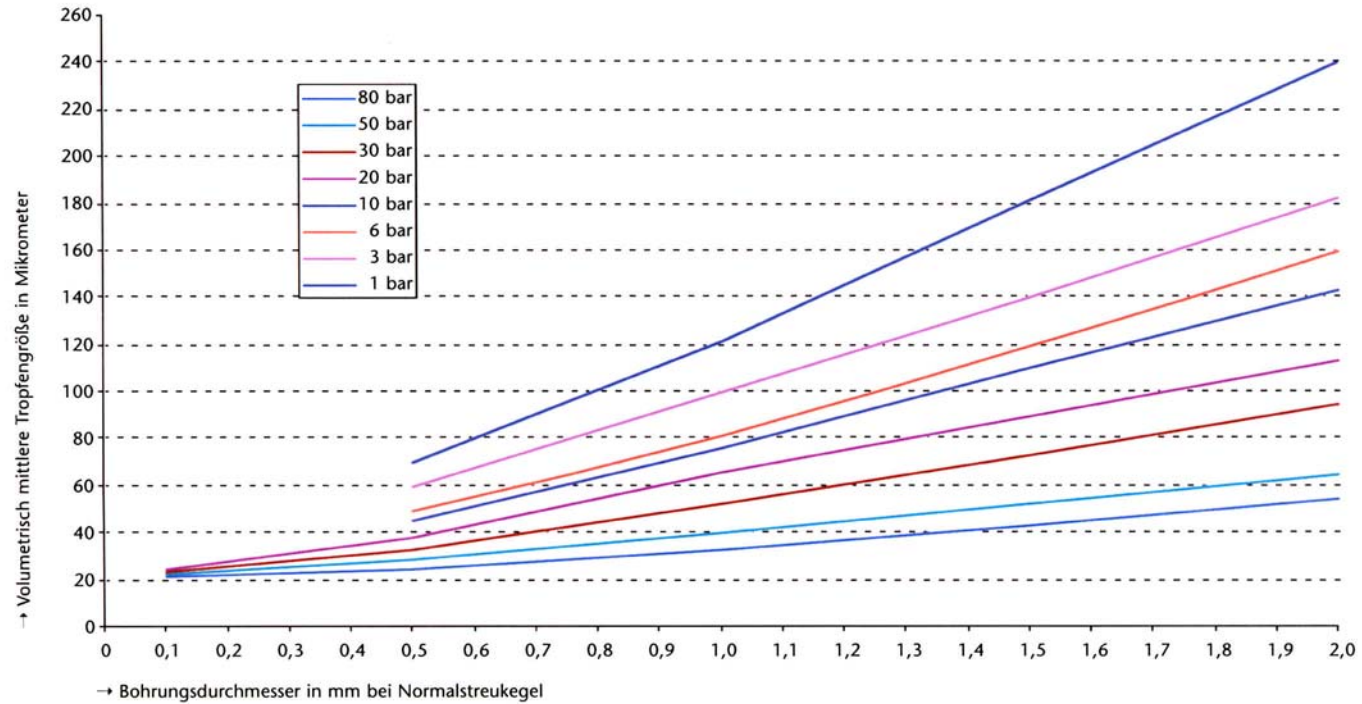


Bild 2.3: Hohlkegeldüsen der Firma Düsen-Schlick – Volumetrisch mittlere Tropfendurchmesser

*Tropfengröße Mod. 121; Bohrung 2,3 mm
Durchsatz Wasser: 8,436 l/min bei 50,0 bar (ü)*

Meßnummer: 138

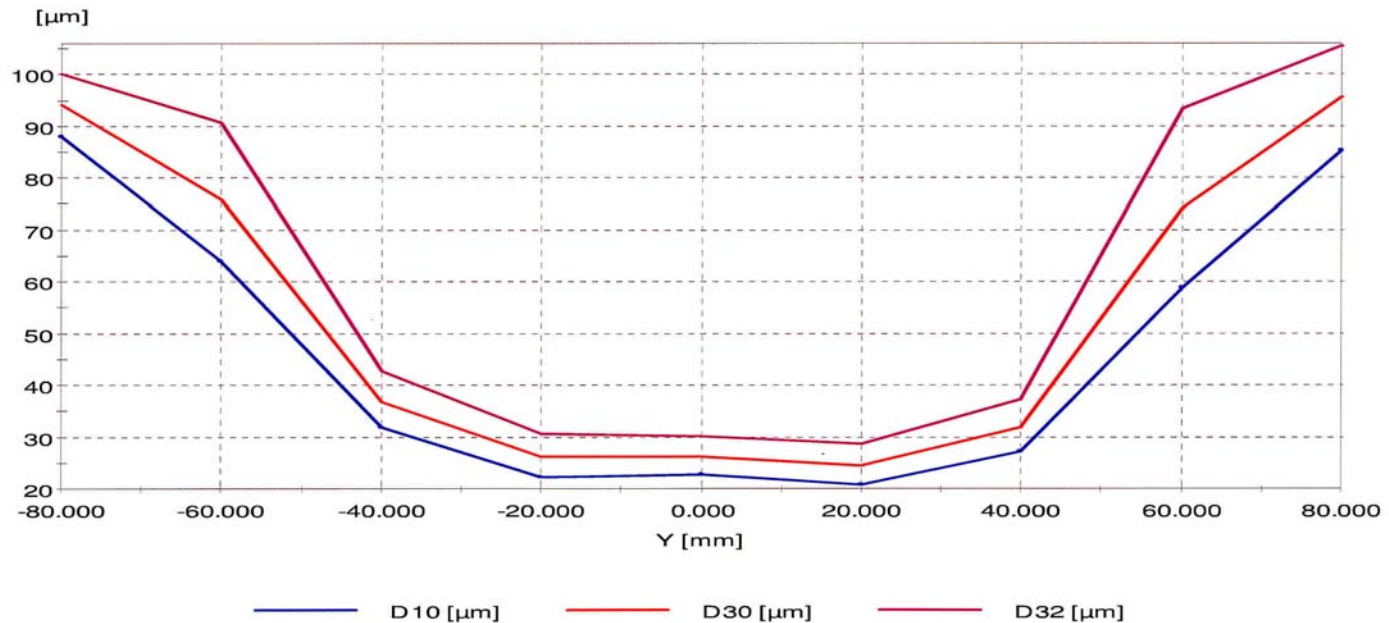
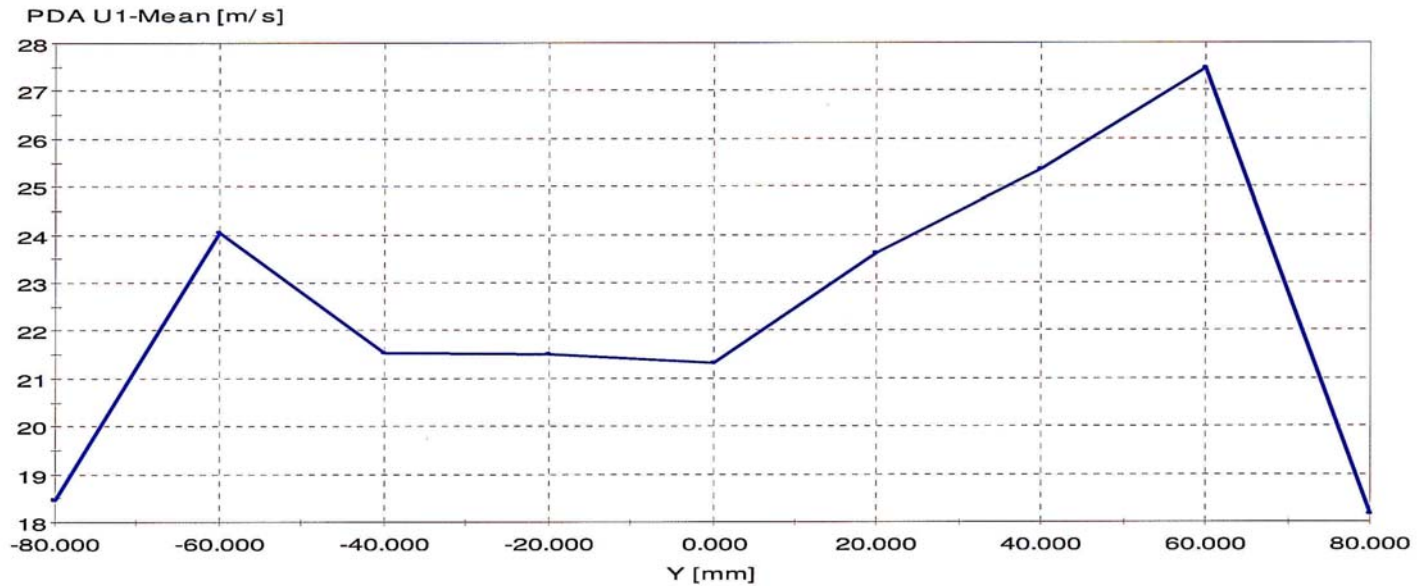


Bild 2.4: Hohlkegeldüsen der Firma Düsen-Schlick - arithmetisches Mittel aller Tropfendurchmesser D_{10} , volumetrisch mittlerer Tropfendurchmessers D_{30} , Sauter-Durchmesser D_{32}

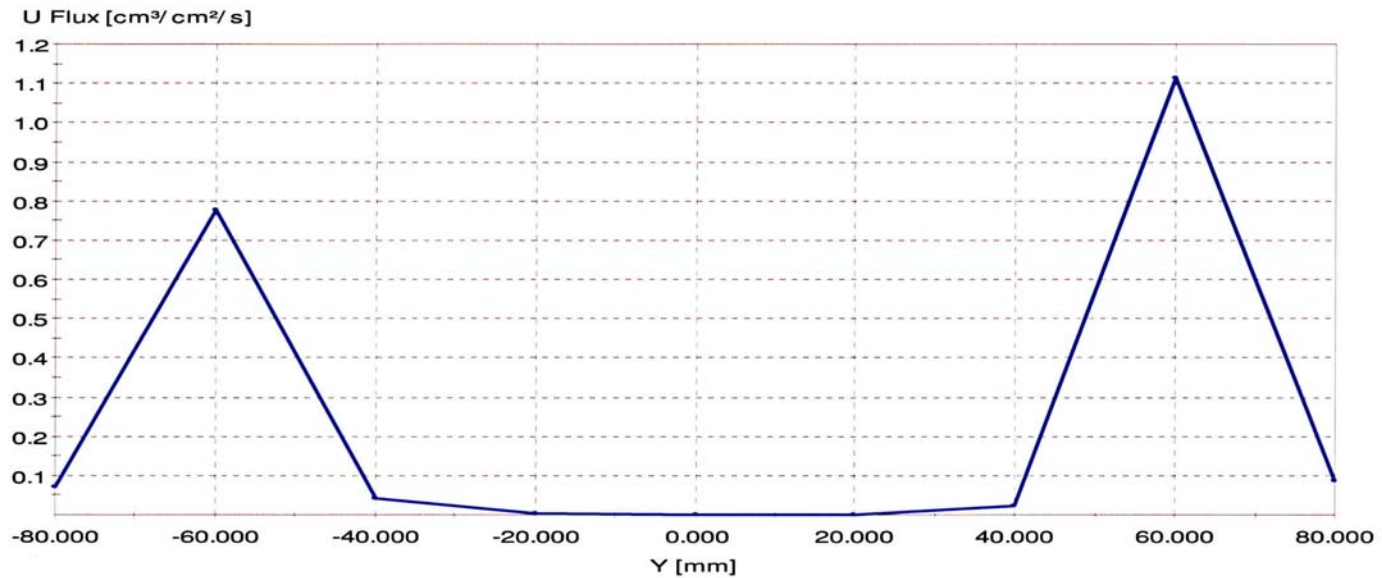
*Geschwindigkeit Mod. 121; Bohrung 2,3 mm
Durchsatz Wasser: 8,436 l/min bei 50,0 bar (ü)*

Meßnummer: 138



Volumenstromdichte Mod. 121; Bohrung 2,3 mm
Durchsatz Wasser: 8,436 l/min bei 50,0 bar (ü)

Meßnummer: 138



Rauchdichte

Vergleich des **Extinktionskoeffizienten σ**
mit der

Optischen Dichte OD [$\sigma = OD * \ln(10)$]

Abstand: Videokamera – Rettungsweg-Kennzeichnung: 2,7 m

Beleuchtungsstärke an der Rettungsweg-Kennzeichnung: 50 – 65 Lux

**Maximal zulässiger
Extinktionskoeffizient
für Personen, die nicht an
Brandrauch gewöhnt sind**

nach Jin, Tadahisa: Studies of Emotional
Instability in Smoke from Fires, Journal of Fire &
Flammability, Vol. 12, 1981 p. 130 - 142
[Fire Research Institute Mitaka, Tokyo, Japan]



Extinktionskoeffizient = 0,04 m⁻¹
Optische Dichte = 0,017 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,1m⁻¹
Optische Dichte = 0,04 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,15 m⁻¹
Optische Dichte = 0,065 m⁻¹
Sichtweite: 13 m



Extinktionskoeffizient = 0,30 m⁻¹
Optische Dichte = 0,13 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,32 m⁻¹
Optische Dichte = 0,14 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,41 m⁻¹
Optische Dichte = 0,18 m⁻¹

Bild 3.1: Rauchdichte (Extinktionskoeffizient, optische Dichte) aus verschiedenen Versuchen

Rauchdichte*)

Vergleich des **Extinktionskoeffizienten σ**
mit der

Optischen Dichte OD [$\sigma = OD * \ln(10)$]

Abstand: Videokamera – Rettungsweg-Kennzeichnung: 2,7 m
Beleuchtungsstärke an der Rettungsweg-Kennzeichnung: 50 – 65 Lux



Extinktionskoeffizient = 0,48 m⁻¹
Optische Dichte = 0,21 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,54 m⁻¹
Optische Dichte = 0,24 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,62 m⁻¹
Optische Dichte = 0,27 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,78 m⁻¹
Optische Dichte = 0,34 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 0,87 m⁻¹
Optische Dichte = 0,38 m⁻¹



Extinktionskoeffizient = 2,81 m⁻¹
Optische Dichte = 1,22 m⁻¹

Bild 3.2: Rauchdichte (Extinktionskoeffizient, optische Dichte) aus verschiedenen Versuchen

Versuch: HDSCOW1

Brandentwicklung bei Branddetektion (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Rauchmelder BrTr1 über dem Brand
1 min 23 s
 $T_{2;2E} = 50^{\circ}\text{C}$



Rauchmelder BrTr2 unter dem
Treppenraumdach
1 min 54 s
 $T_{2;2E} = 64^{\circ}\text{C}$



Indikatorsprinkler Sp5 über dem
Brandherd: keine Auslösung
Brandentwicklung bei Löschbeginn
14 min 3 s
 $T_{2;2E,max} = 150^{\circ}\text{C}$ (bei Sp5, 13 min 20 s)

Versuch: HDSCOW1

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Glasfass defekt (keine Auslösung, Foto 1.1), Brandschäden am Geländer (Foto 1.2) sowie am Rauchmelder (Foto 1.3)



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
27 min 7 s



Podest 2. Etage
14 min 10 s
 $\sigma = 3,92 \text{ m}^{-1}$
OD = 1,70 m⁻¹



Podest 3. Etage
14 min 20 s
 $\sigma = 4,61 \text{ m}^{-1}$
OD = 2,00 m⁻¹

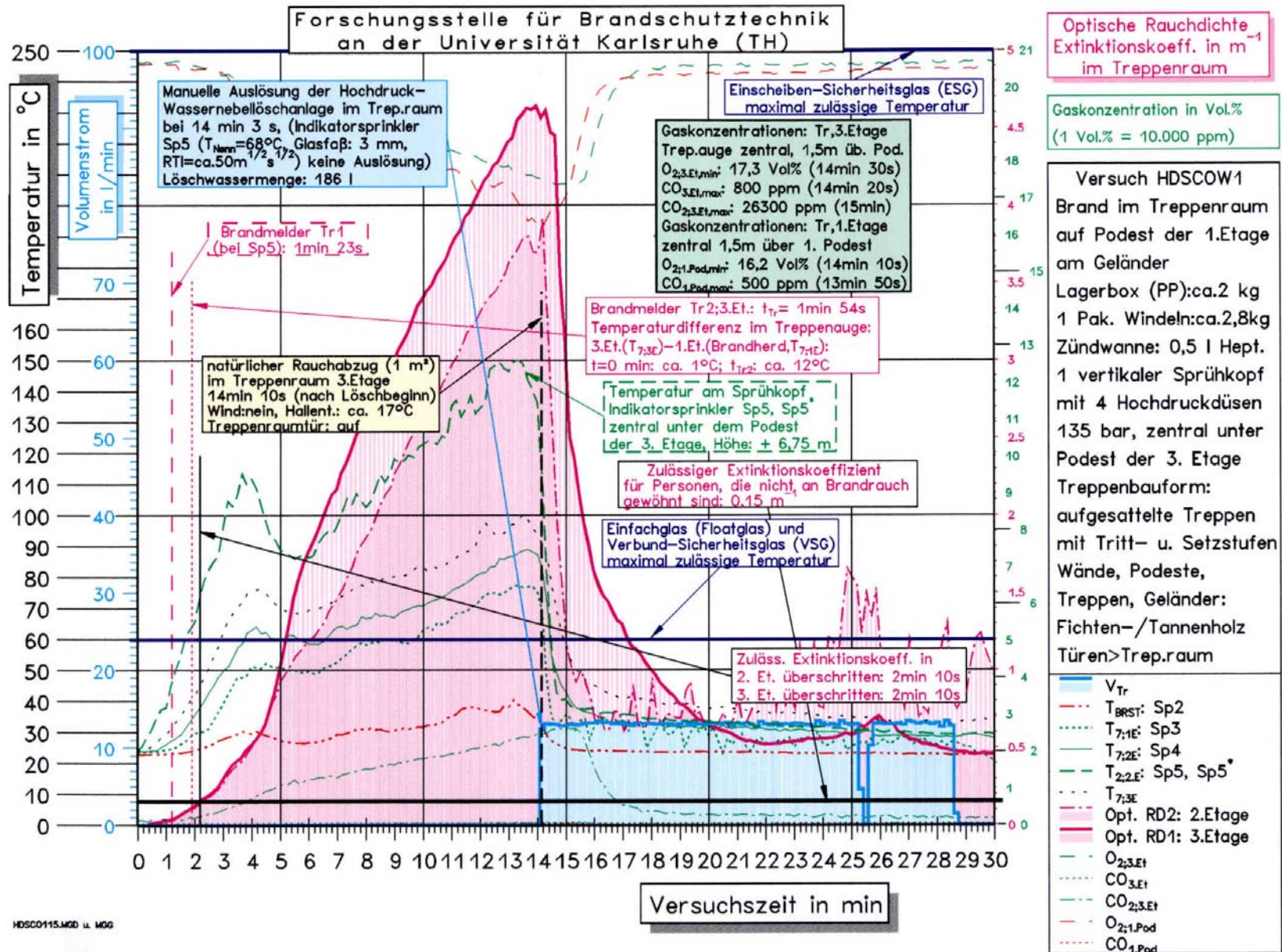


Bild 4.3: Versuch HDSCOW1 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCOW2

Brandentwicklung bei Branddetektion (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Rauchmelder BrTr1 über dem Brand
57 s
 $T_{2;2E} = 40^{\circ}\text{C}$



Rauchmelder BrTr2 unter dem
Treppenraumdach
2 min 21 s
 $T_{2;2E} = 73^{\circ}\text{C}$



Indikatorsprinkler Sp5 über dem
Brandherd
2 min 50 s
 $T_{2;2E} = 88^{\circ}\text{C}$

Versuch: HDSCOW2

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
13 min 15 s

Podest 2. Etage
13 min 20 s
 $\sigma = 2,69 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,17 \text{ m}^{-1}$

Podest 3. Etage
14 min
 $\sigma = 2,52 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,09 \text{ m}^{-1}$

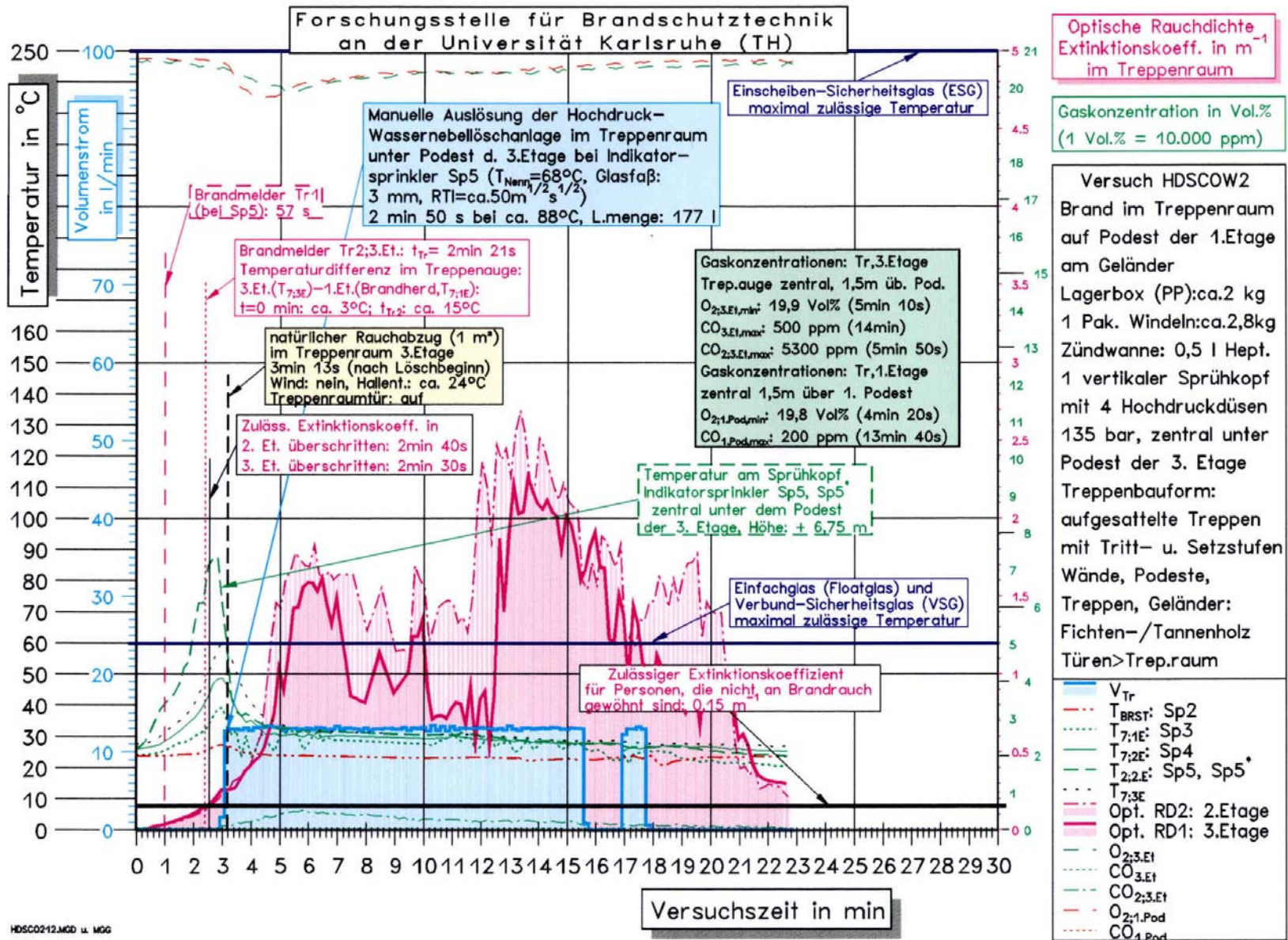


Bild 5.3: Versuch HDSCOW2 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCOW3

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
14 min 4 s

Podest 2. Etage
13 min 10 s
 $\sigma = 3,47 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,51 \text{ m}^{-1}$

Podest 3. Etage
13 min 50 s
 $\sigma = 2,44 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,06 \text{ m}^{-1}$

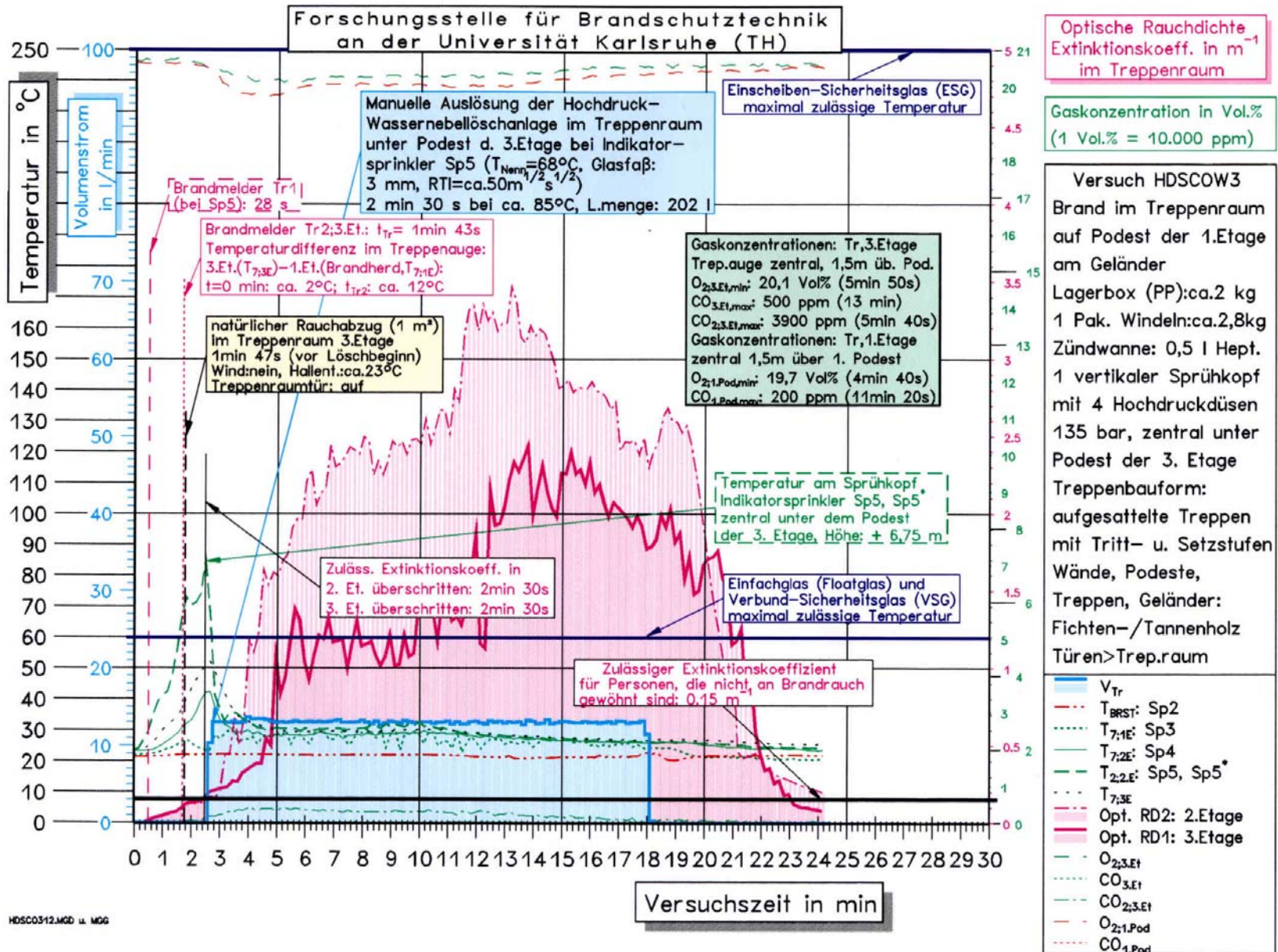


Bild 6.2: Versuch HDSCOW3 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCOW4

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
24 min 55 s

Podest 2. Etage
13 min 20 s
 $\sigma = 3,76 \text{ m}^{-1}$
OD = 1,63 m⁻¹

Podest 3. Etage
14 min
 $\sigma = 3,55 \text{ m}^{-1}$
OD = 1,54 m⁻¹

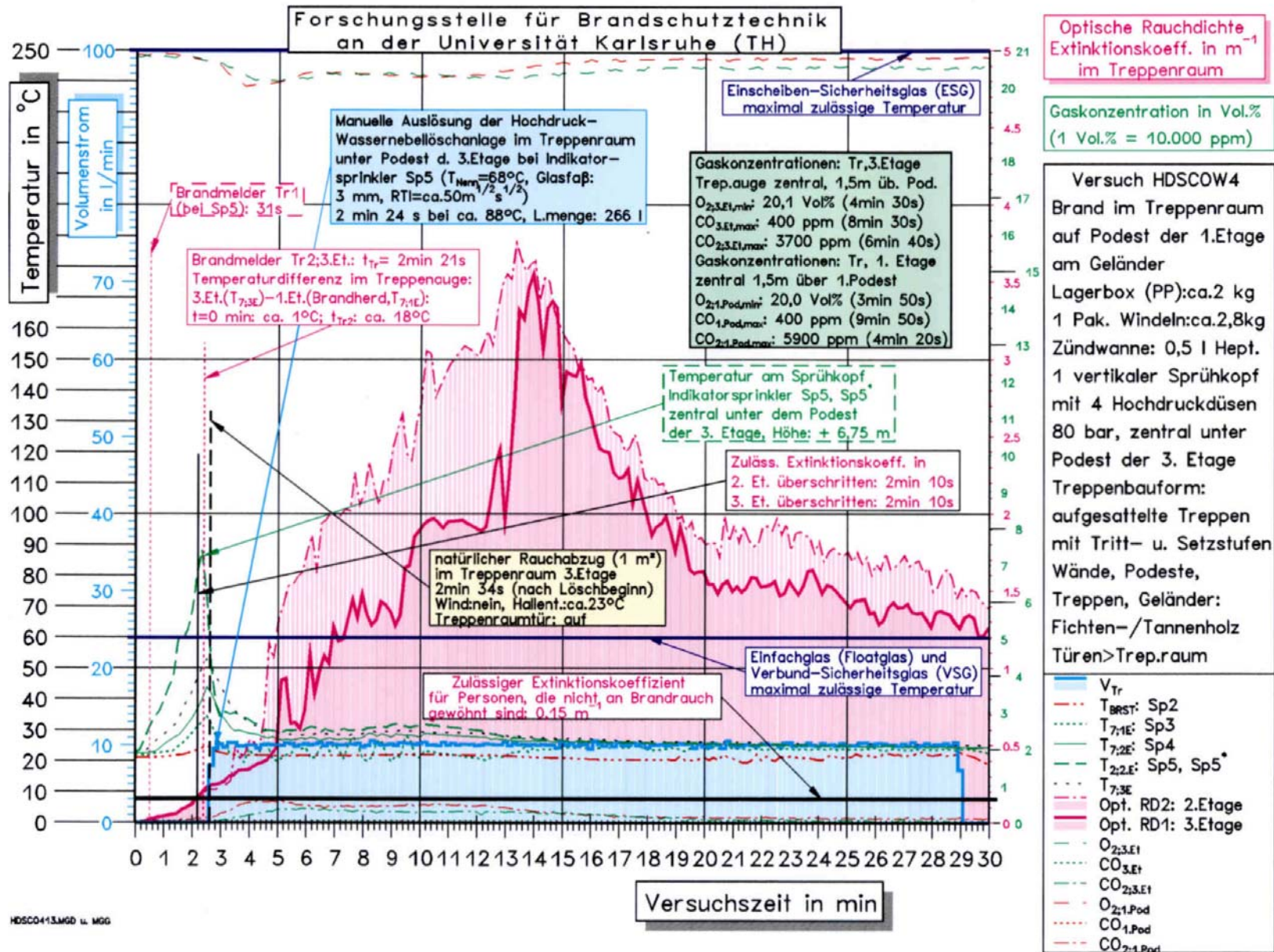


Bild 7.2: Versuch HDSCOW4 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCOW5

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
22 min

Podest 2. Etage
17 min 40 s
 $\sigma = 3,55 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,54 \text{ m}^{-1}$

Podest 3. Etage
9 min 30 s
 $\sigma = 2,86 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 1,24 \text{ m}^{-1}$

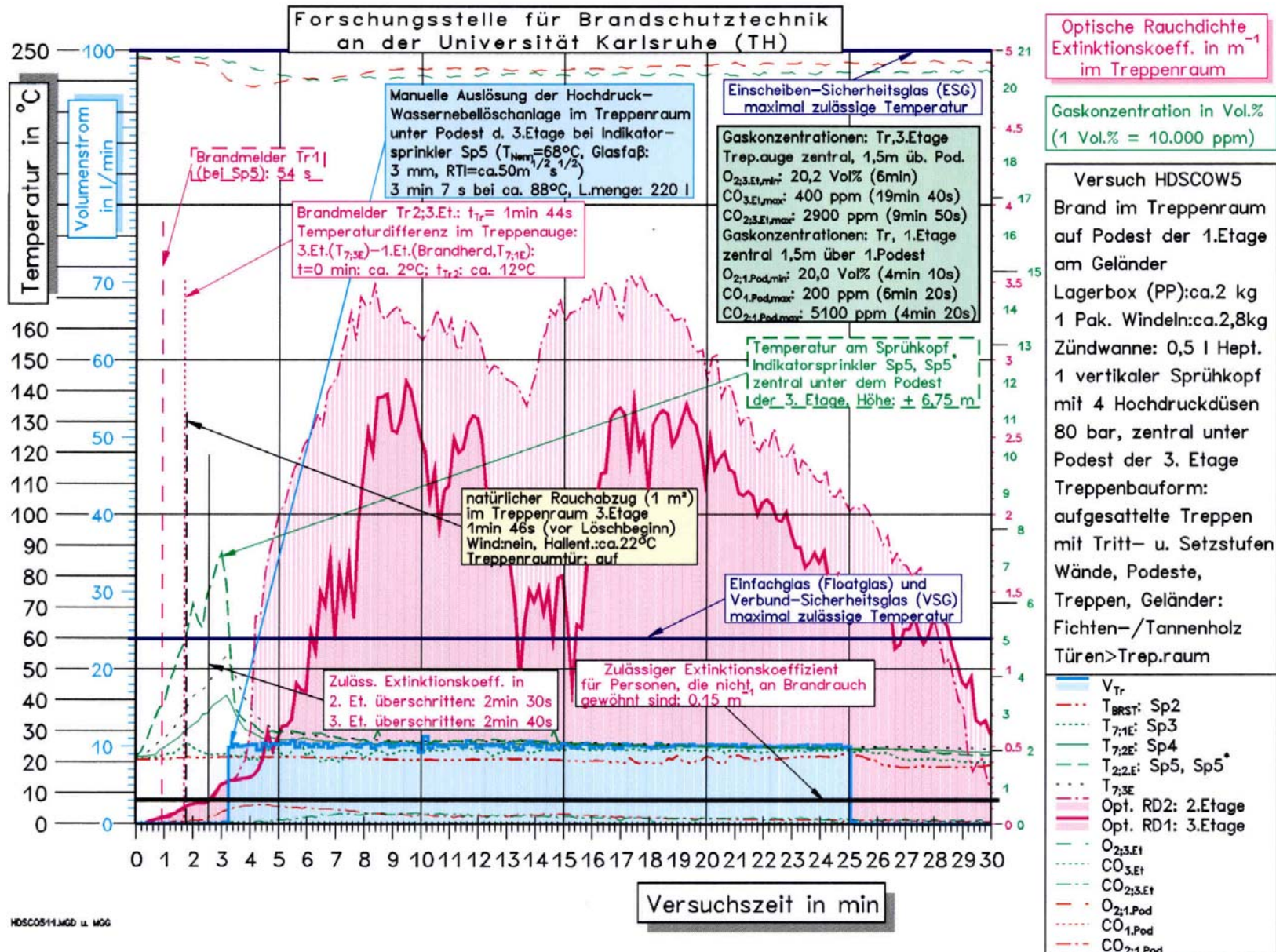


Bild 8.2: Versuch HDSCOW5 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheintritt

Versuch: HDSCOW6 - Versuchsablauf

(ohne Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Vorheizen der Bratpfanne mit Pflanzenöl mittels Dachdeckerbrenner



Entfernen des Glasdeckels
0 s



Auslösung Indikatorsprinkler Sp5
5 min 2 s



kurz nach Löschbeginn
5 min 5 s



kurz nach Löschbeginn
5 min 6 s



max. Verrauchung EG u. Podest 1. Et.
5 min 41 s

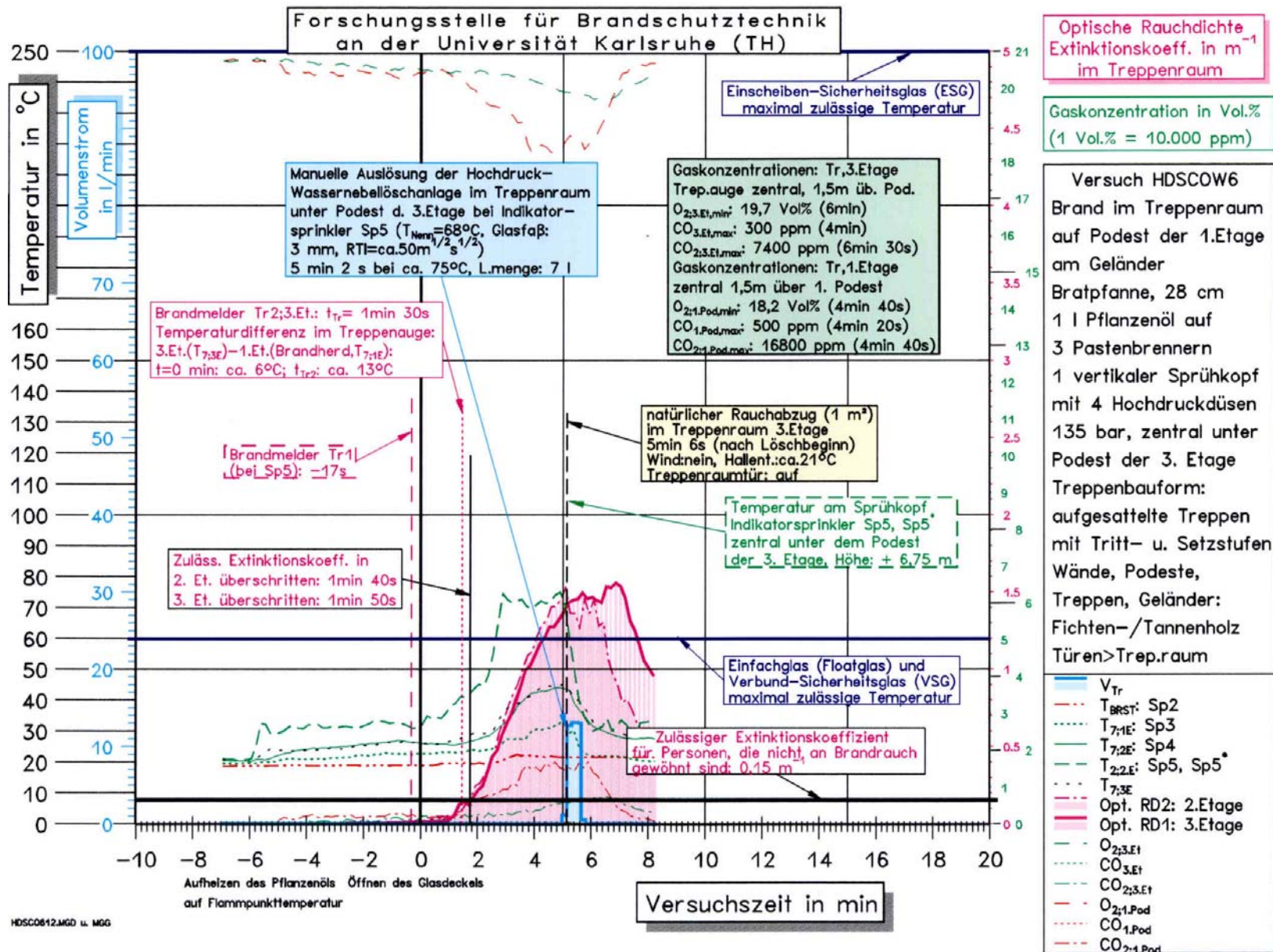


Bild 9.2: Versuch HDSCOW6 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

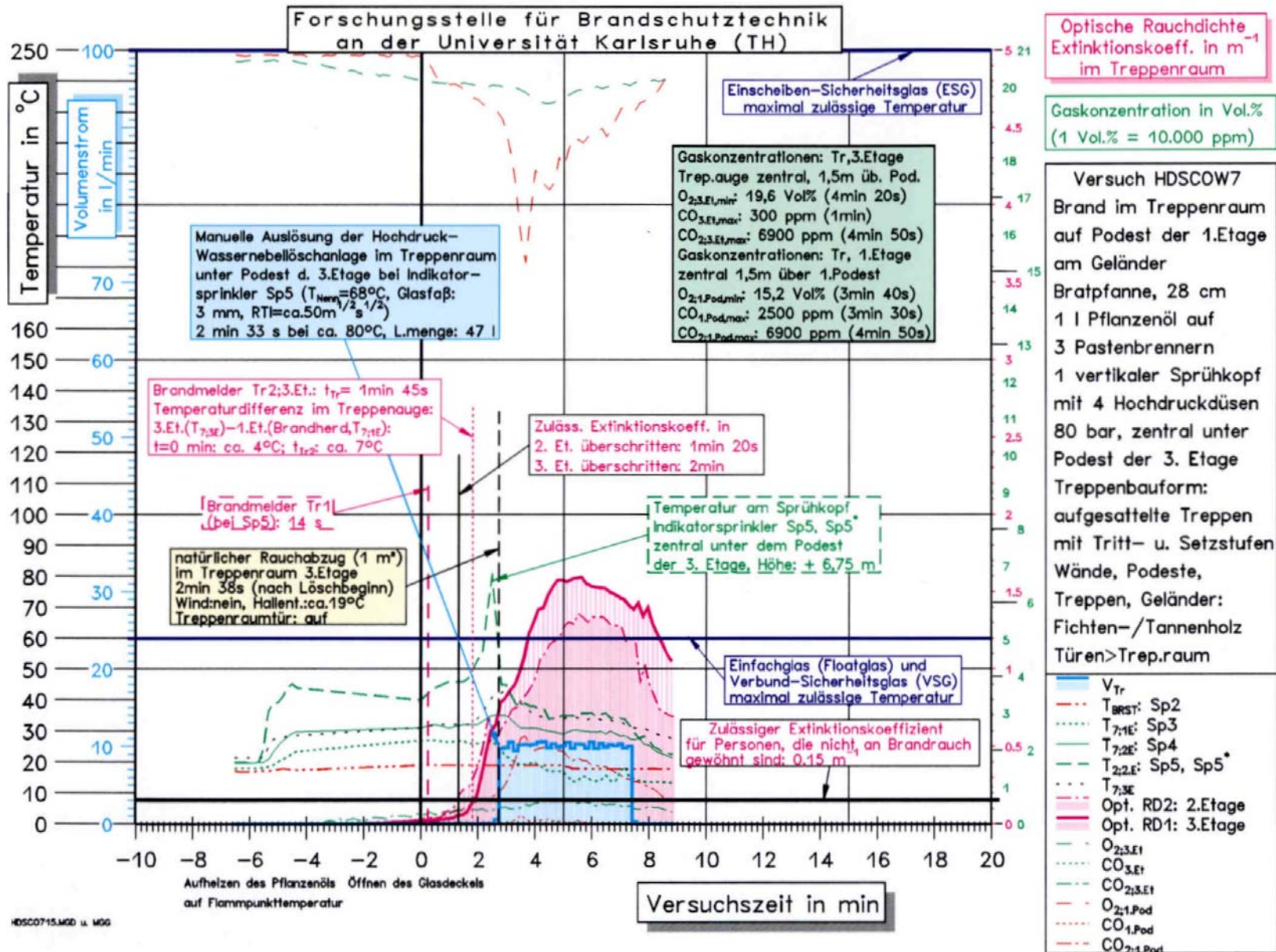


Bild 10: Versuch HDSCOW7 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

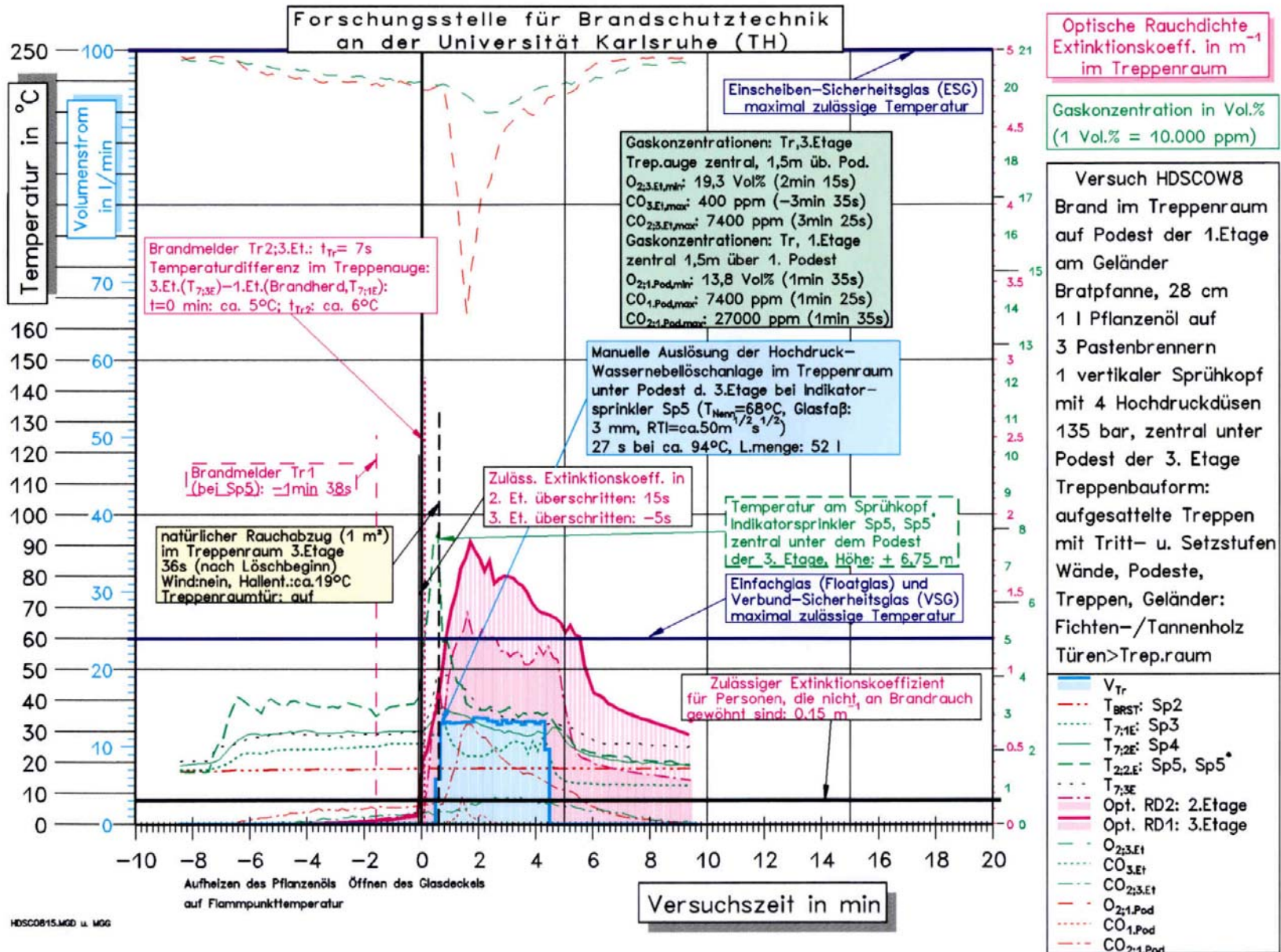


Bild 11: Versuch HDSCOW8 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCMW1

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
6 min 28 s

Podest 2. Etage
3 min 10 s
 $\sigma = 0,31 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,13 m⁻¹

Podest 3. Etage
3 min 20 s
 $\sigma = 0,33 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,14 m⁻¹

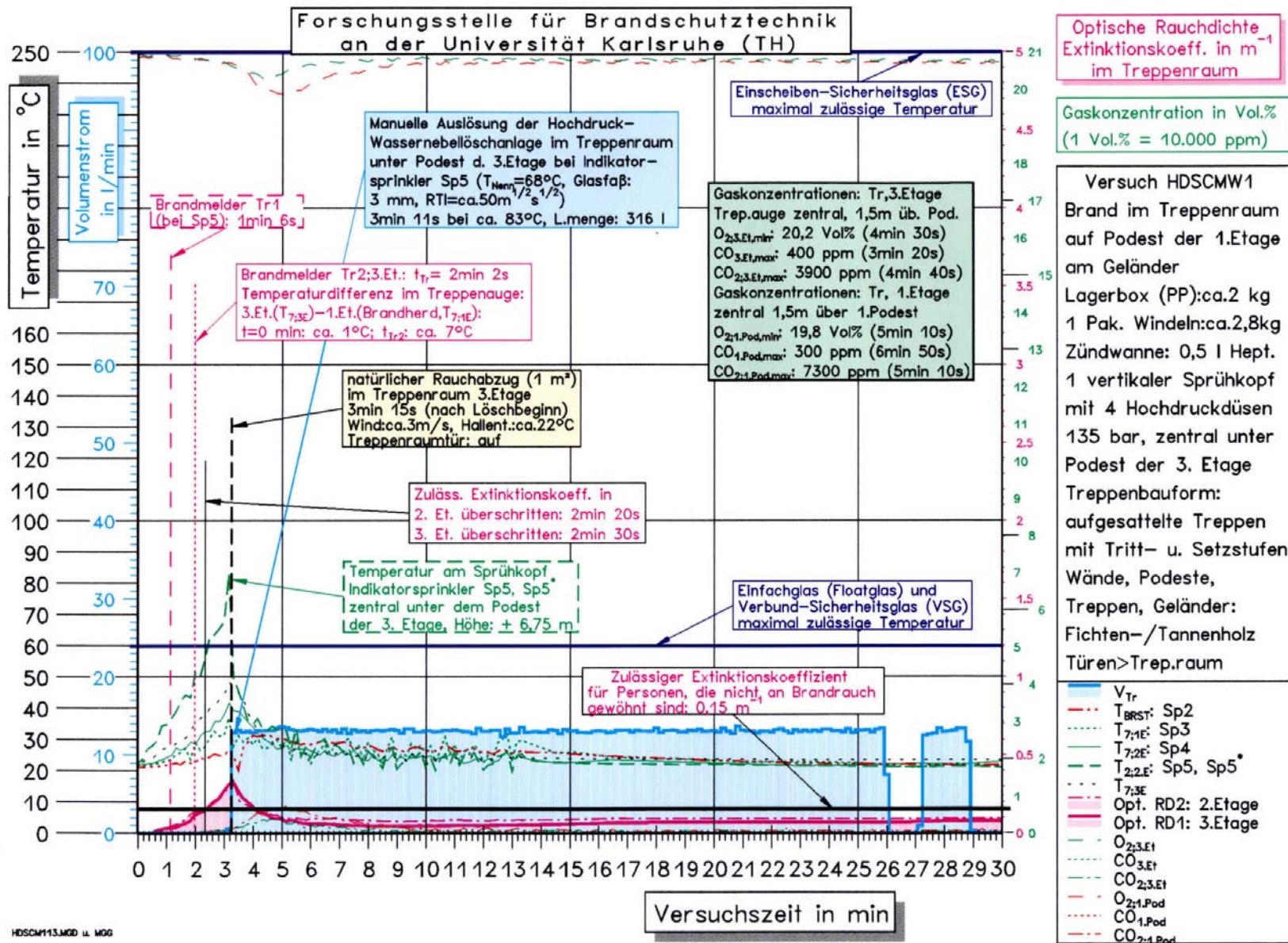


Bild 12.2: Versuch HDSCMW1 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperatur, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCMW2

Brandentwicklung bei Branddetektion (mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung vor Löschbeginn, Tür auf)



Rauchmelder BrTr1 über dem Brand
35 s
 $T_{2;2E} = 33\text{ °C}$



Rauchmelder BrTr2 unter dem Treppenraumdach
1 min 43 s
 $T_{2;2E} = 61\text{ °C}$
(Wind ab 1 min 47 s)



Indikatorsprinkler Sp5 über dem Brandherd
2 min 52 s
 $T_{2;2E} = 92\text{ °C}$

Versuch: HDSCMW2

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
4 min 23 s

Podest 2. Etage
2 min 50s
 $\sigma = 0,22 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,10 m⁻¹

Podest 3. Etage
3 min
 $\sigma = 0,25 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,11 m⁻¹

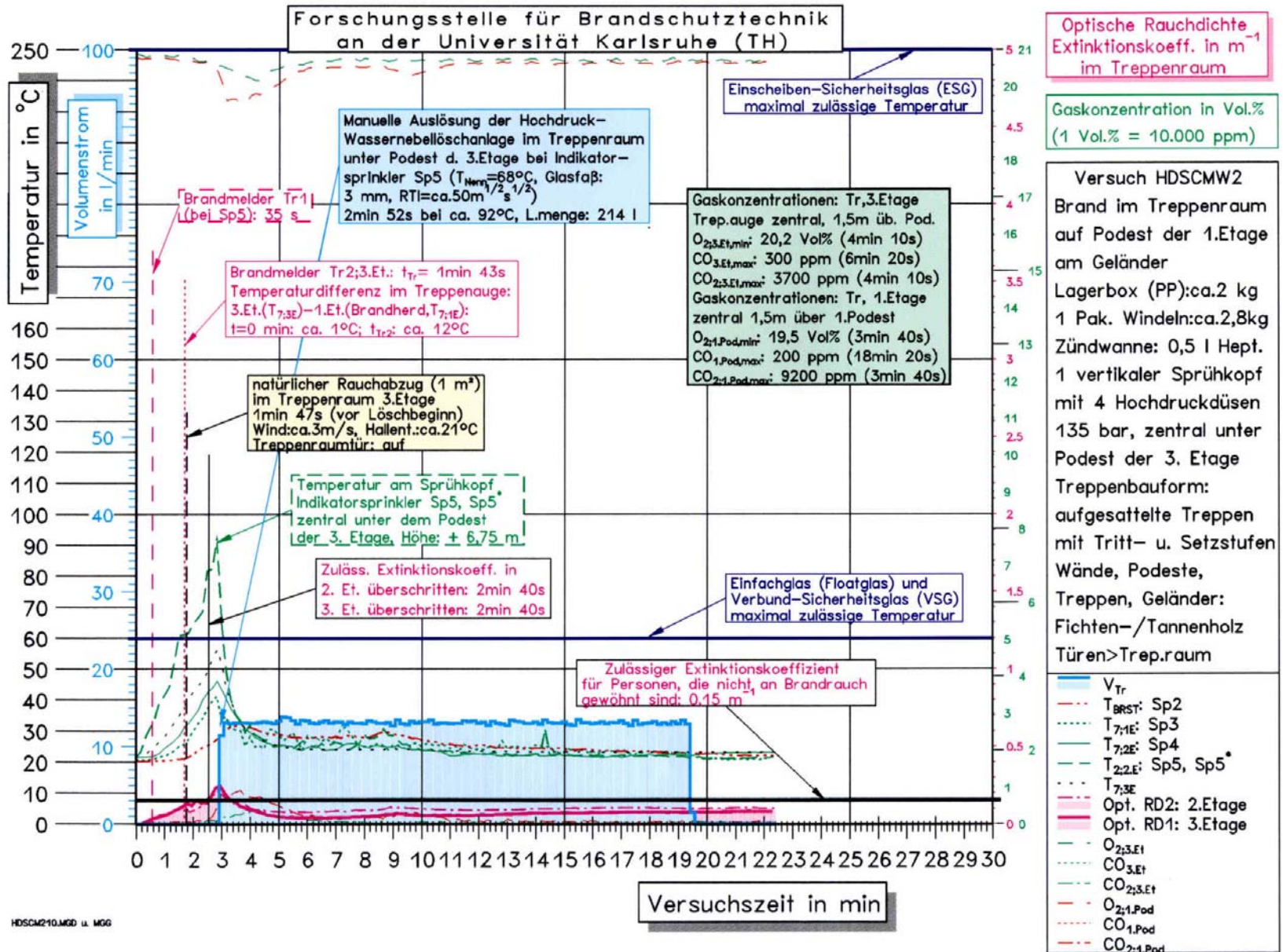


Bild 13.3: Versuch HDSCMW2 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCMW3

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
11 min 51 s

Podest 2. Etage
2 min 40 s
 $\sigma = 0,27 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,12 m⁻¹

Podest 3. Etage
2 min 40 s
 $\sigma = 0,28 \text{ m}^{-1}$
OD = 0,12 m⁻¹

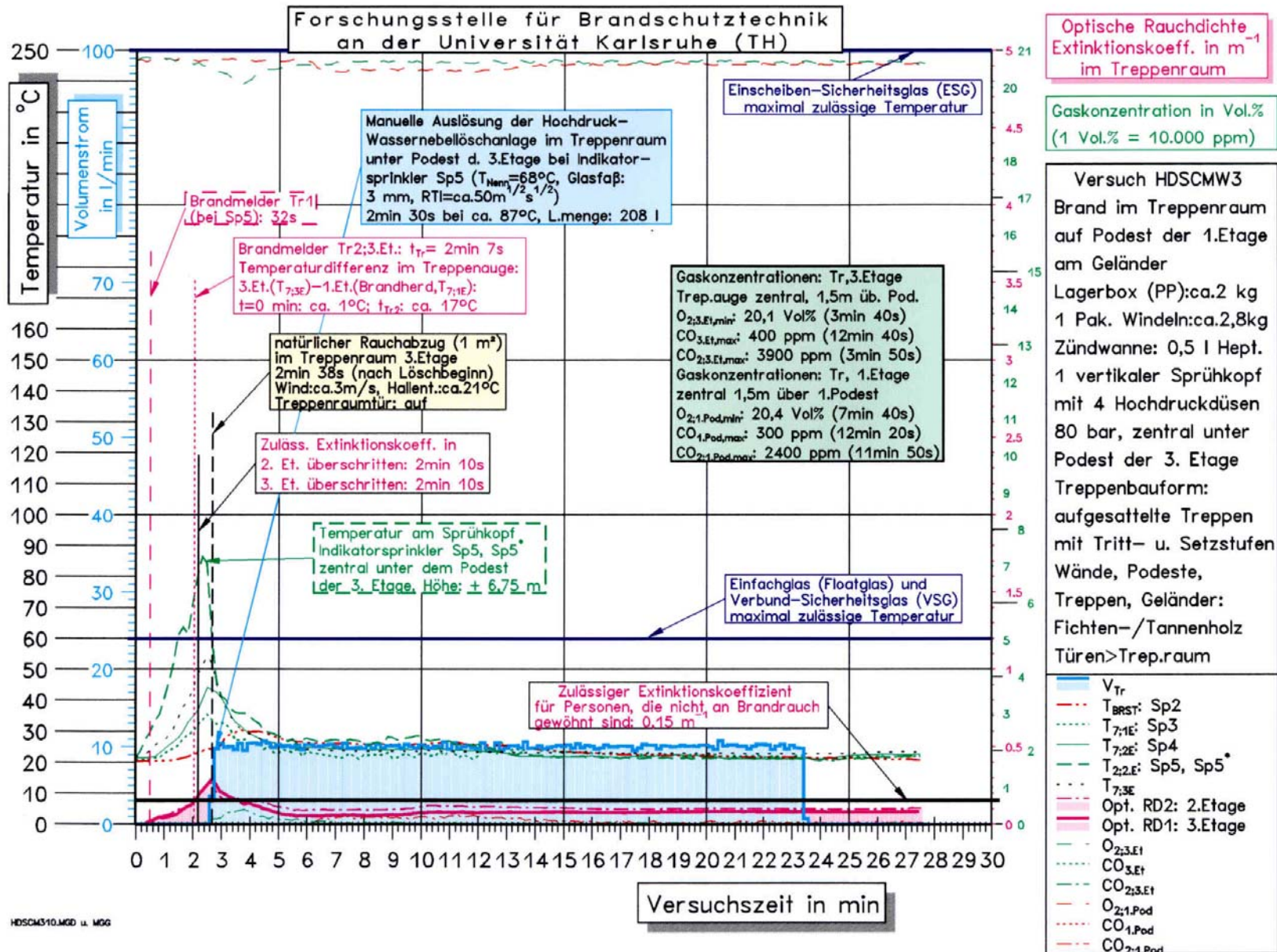


Bild 14.2: Versuch HDSCMW3 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCMW4

Brandschäden, maximale Verrauchung im Treppenraum (mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



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



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
5 min 42 s

Podest 2. Etage
11 min 20 s
 $\sigma = 0,27 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 0,12 \text{ m}^{-1}$

Podest 3. Etage
11 min
 $\sigma = 0,24 \text{ m}^{-1}$
 $OD = 0,10 \text{ m}^{-1}$

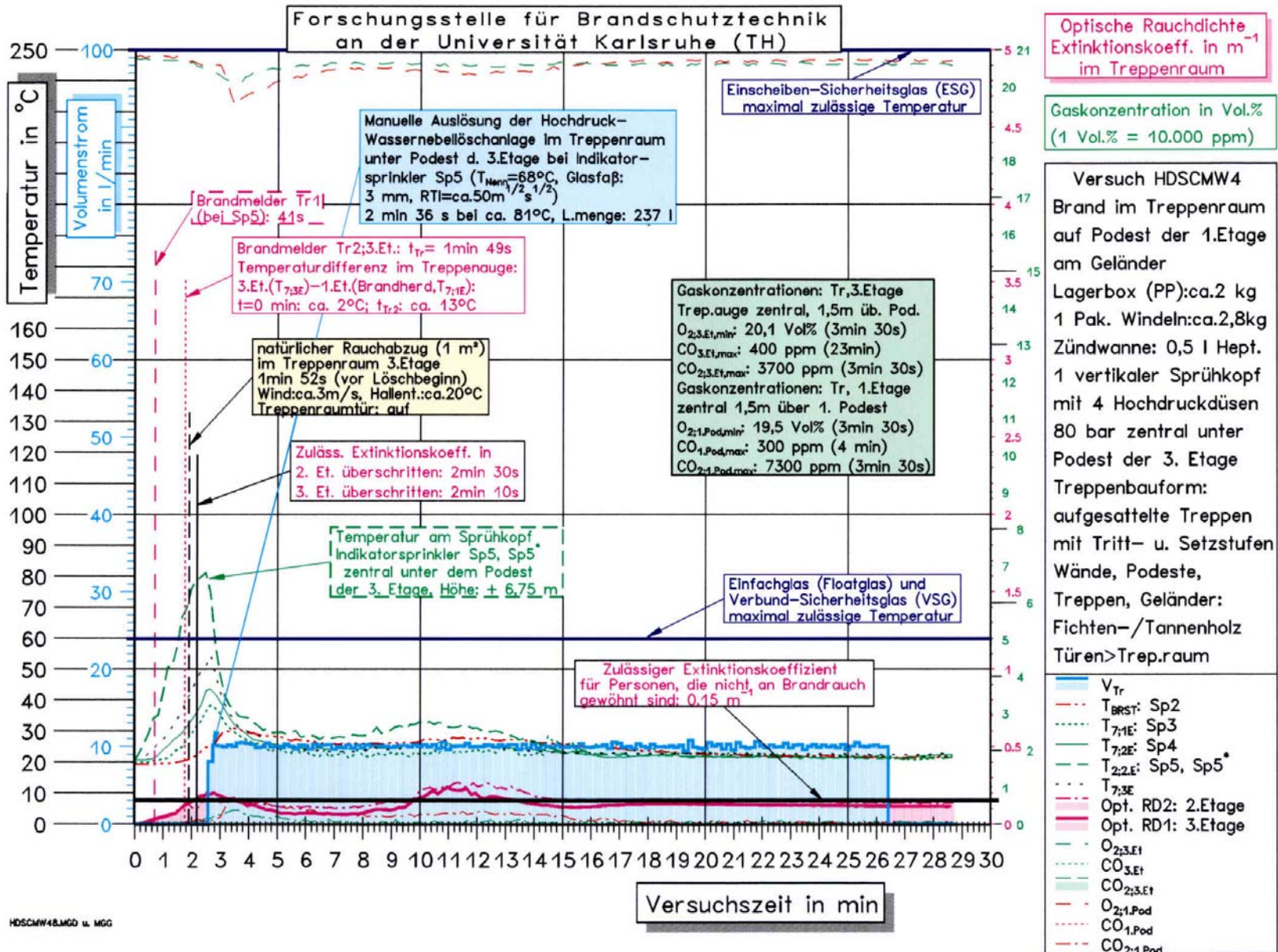


Bild 15.2: Versuch HDSCMW4 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Versuch: HDSCMW5 – Versuchsablauf
(mit Windeinfluß(3m/s) auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Auslösung Indikatorsprinkler Sp5
0 s



Brand kurz nach Löschbeginn
5 s



Brand nach
3 min 30 s



max. Verrauchung EG u. Podest 1. Et.
2 min 56 s

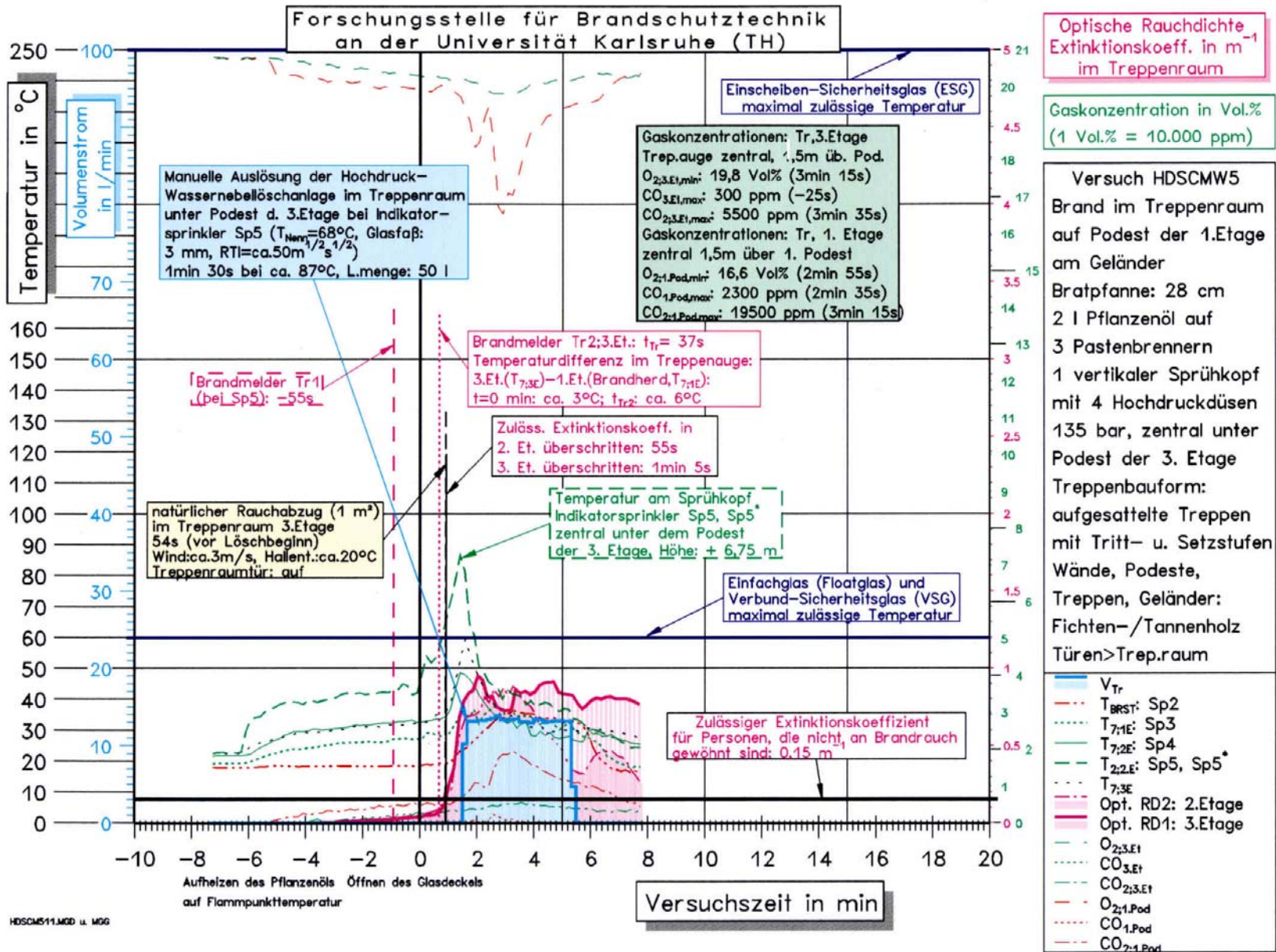


Bild 16.2: Versuch HDSCMW5 – Zeitlicher Verlauf und Auslösezeiten: Temperaturen, Branddetektion, Verrauchung, Rauchabzug, Löscheinsatz

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel mit Sprinkler - **Versuche ohne Wind**

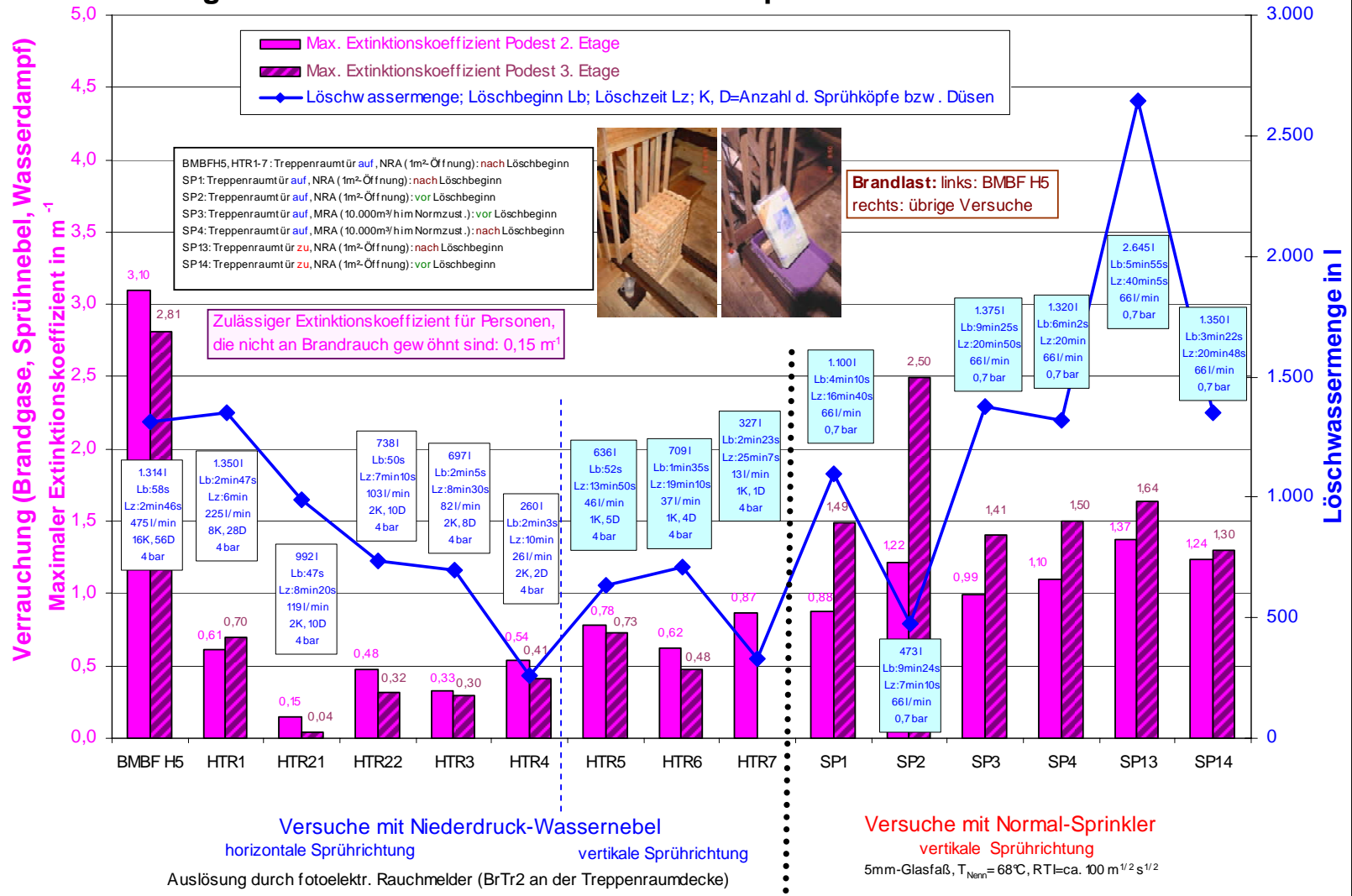


Bild 17.1: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normalsprinkler – Verrauchung, Löschvorgang
Versuche ohne Wind

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel mit Sprinkler - Versuche mit Wind

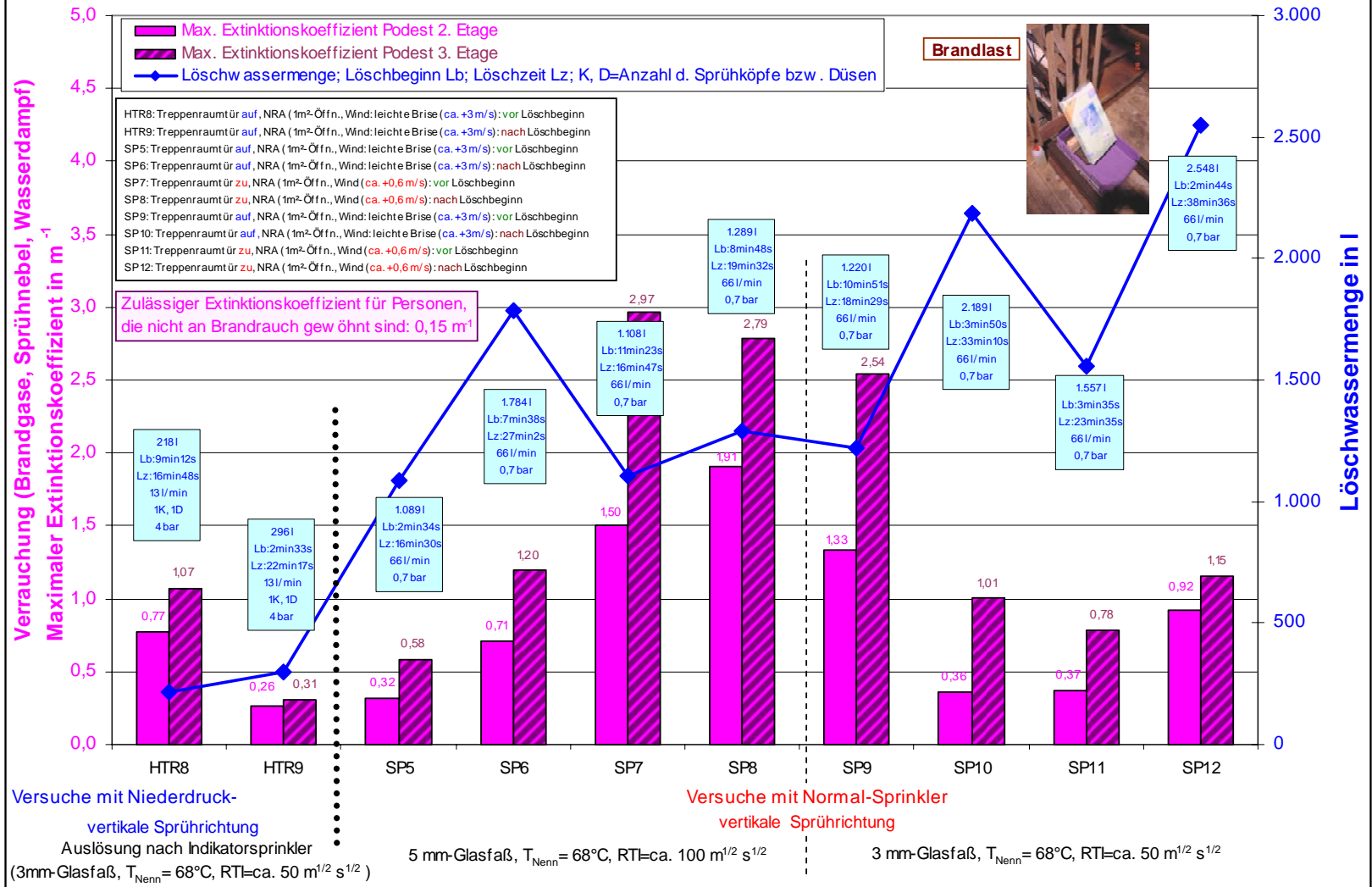


Bild 17.2: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normalsprinkler – Verrauchung, Löschvorgang
Versuche mit Wind

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Hochdruck-Wassernerbel - Versuche **ohne** und **mit** Wind

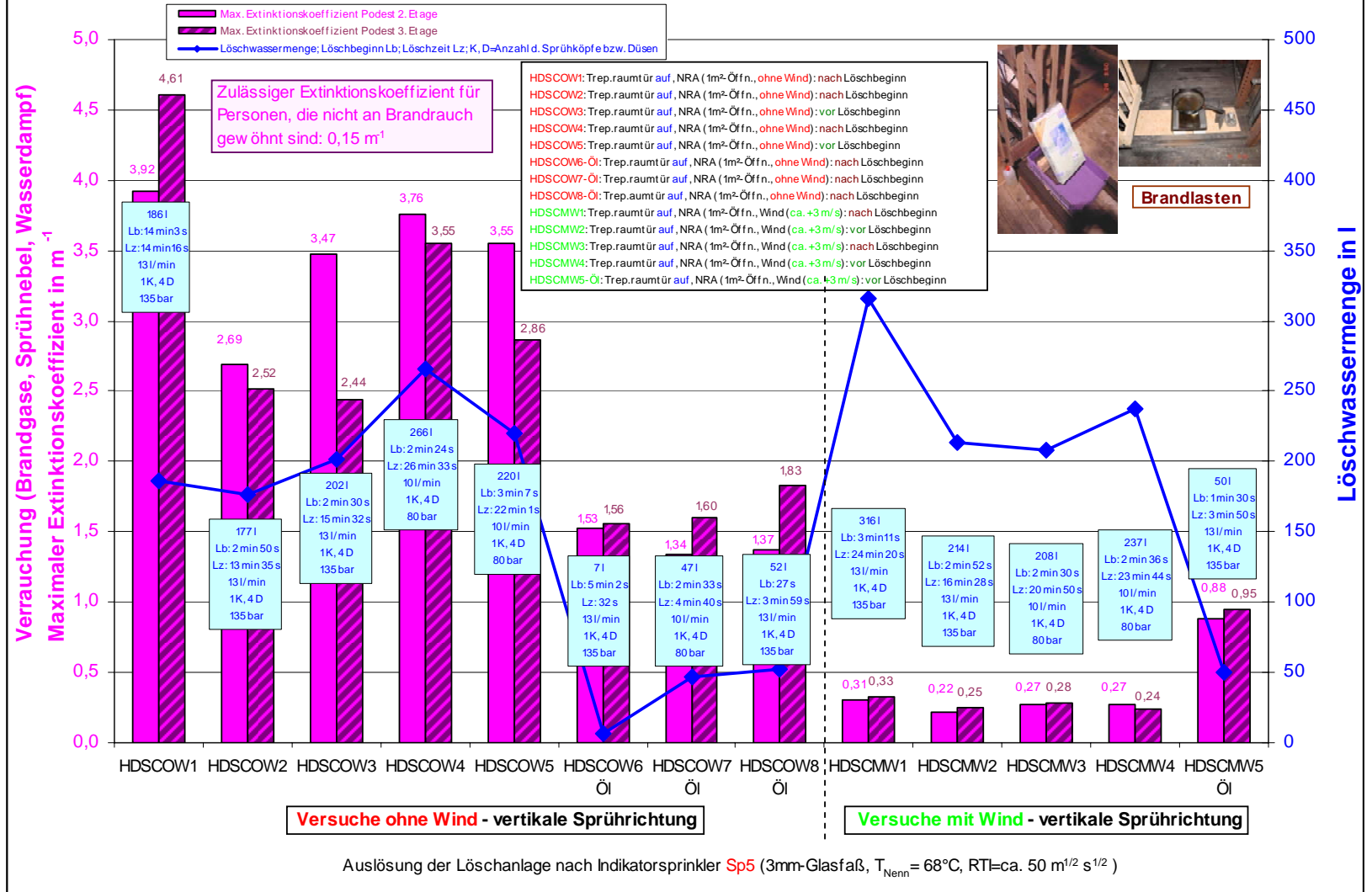


Bild 17.3: Vergleich Hochdruck-Wassernerbel – Verrauchung, Löschvorgang
Versuche ohne und mit Wind

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel / Normalsprinkler - Versuche ohne Wind
Max. zulässiger Exktinktionskoeffizient - Auslösung: Rauchmelder (BrTr1, BrTr2),
Normalsprinkler Sp5 und Indikatorsprinkler Sp5*

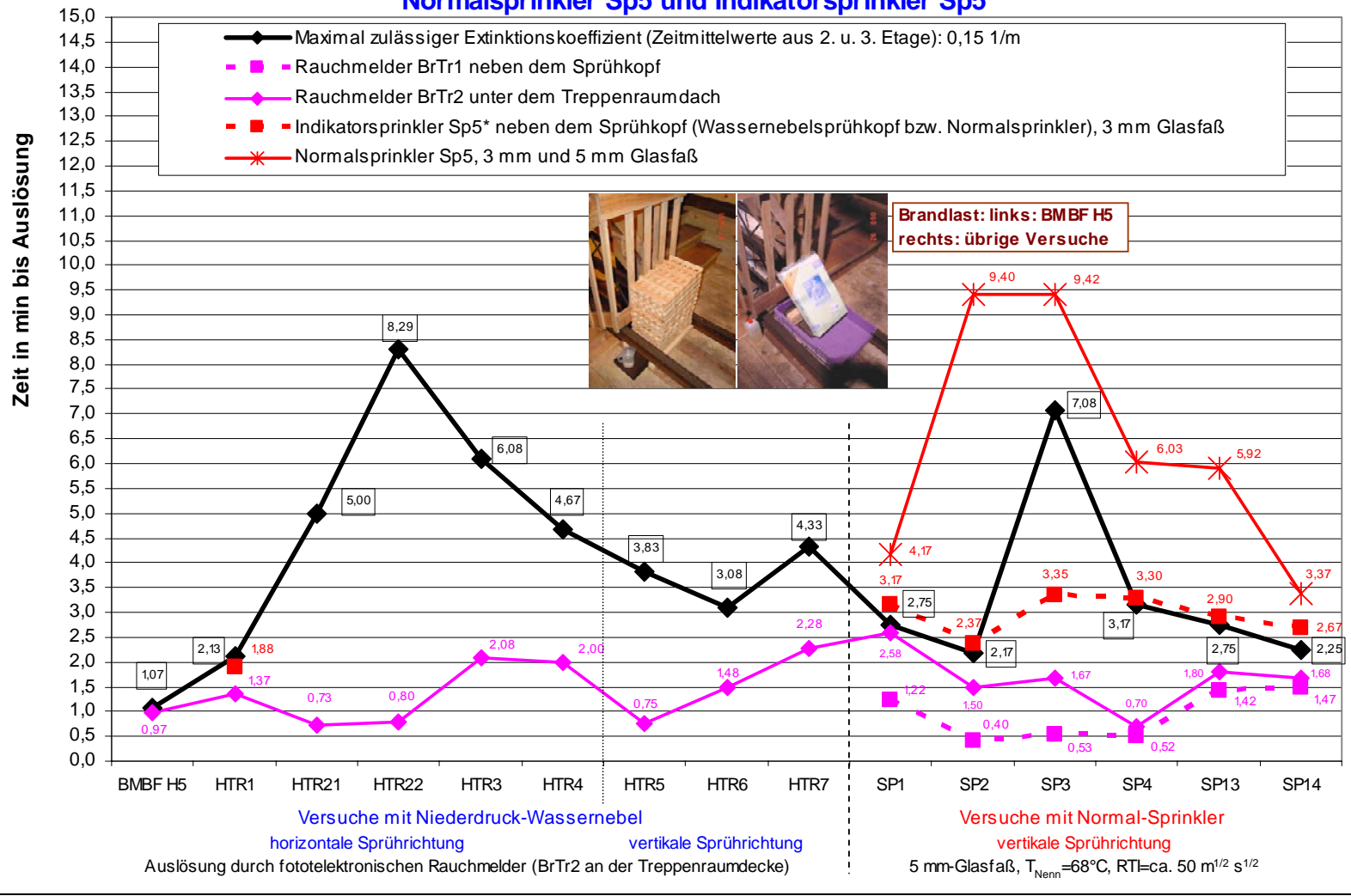


Bild 18.1: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normalsprinkler – Versuche ohne Wind – Über- bzw. Unterschreiten der Zeit bis zum Auftreten des max. zul. Exktinktionskoeffizienten bei der Auslösung von Rauchmeldern, Indikatorsprinkler bzw. Normalsprinkler.

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel / Normalsprinkler - Versuche mit Wind

**Max. zulässiger Exktinktionskoeffizient - Auslösung: Rauchmelder (BrTr1, BrTr2),
Normalsprinkler Sp5 und Indikatorsprinkler Sp5***

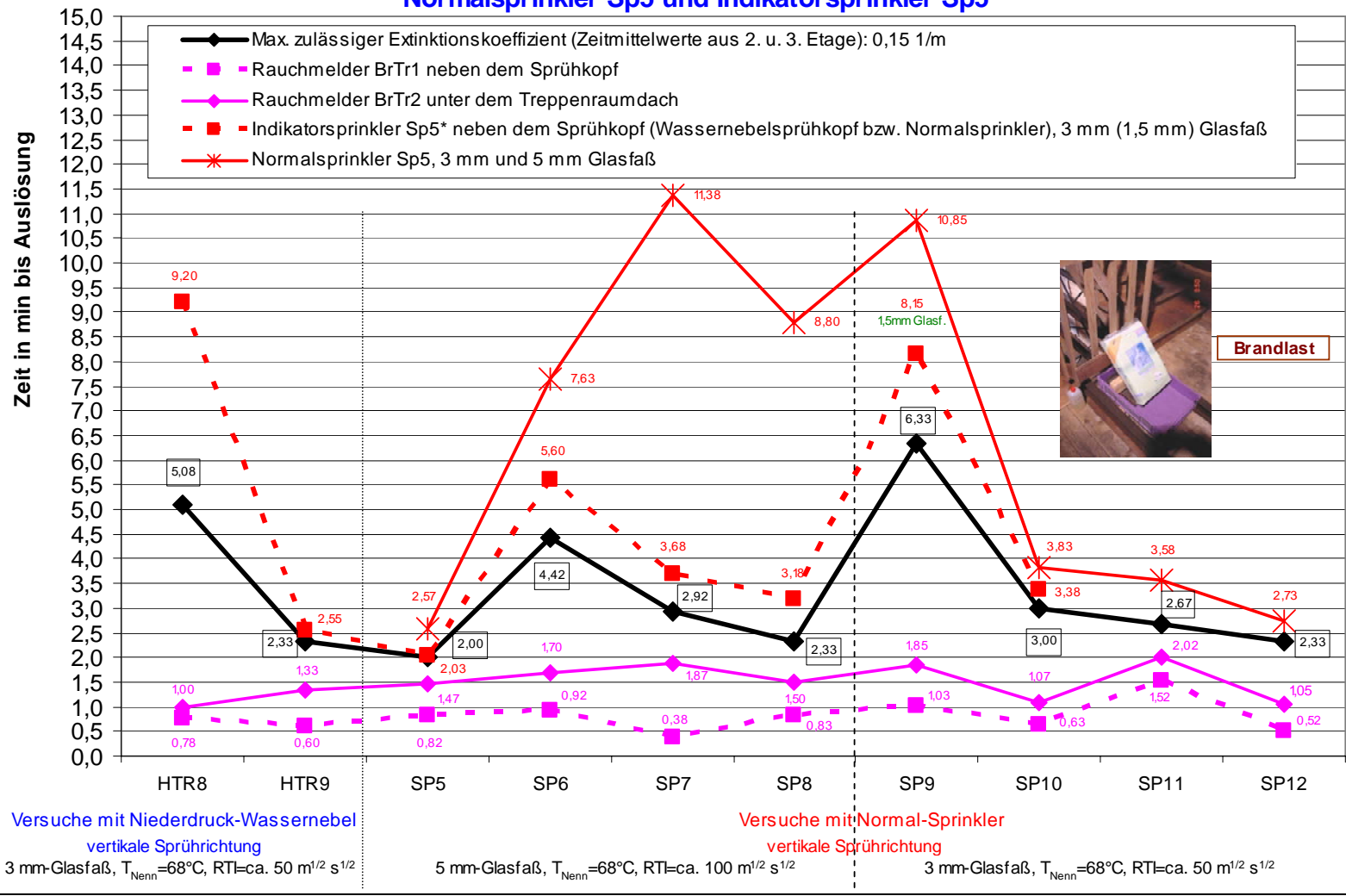


Bild 18.2: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normalsprinkler – Versuche mit Wind – Über- bzw. Unterschreiten der Zeit bis zum Auftreten des max. zul. Exktinktionskoeffizienten bei der Auslösung von Rauchmeldern, Indikatorsprinkler bzw. Normalsprinkler.

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum
Vergleich: Hochdruck-Wassernebel - Versuche ohne und mit Wind
Max. zulässiger Exktinktionskoeffizient - Auslösung: Rauchmelder (BrTr1, BrTr2) und
Indikatorsprinkler Sp5

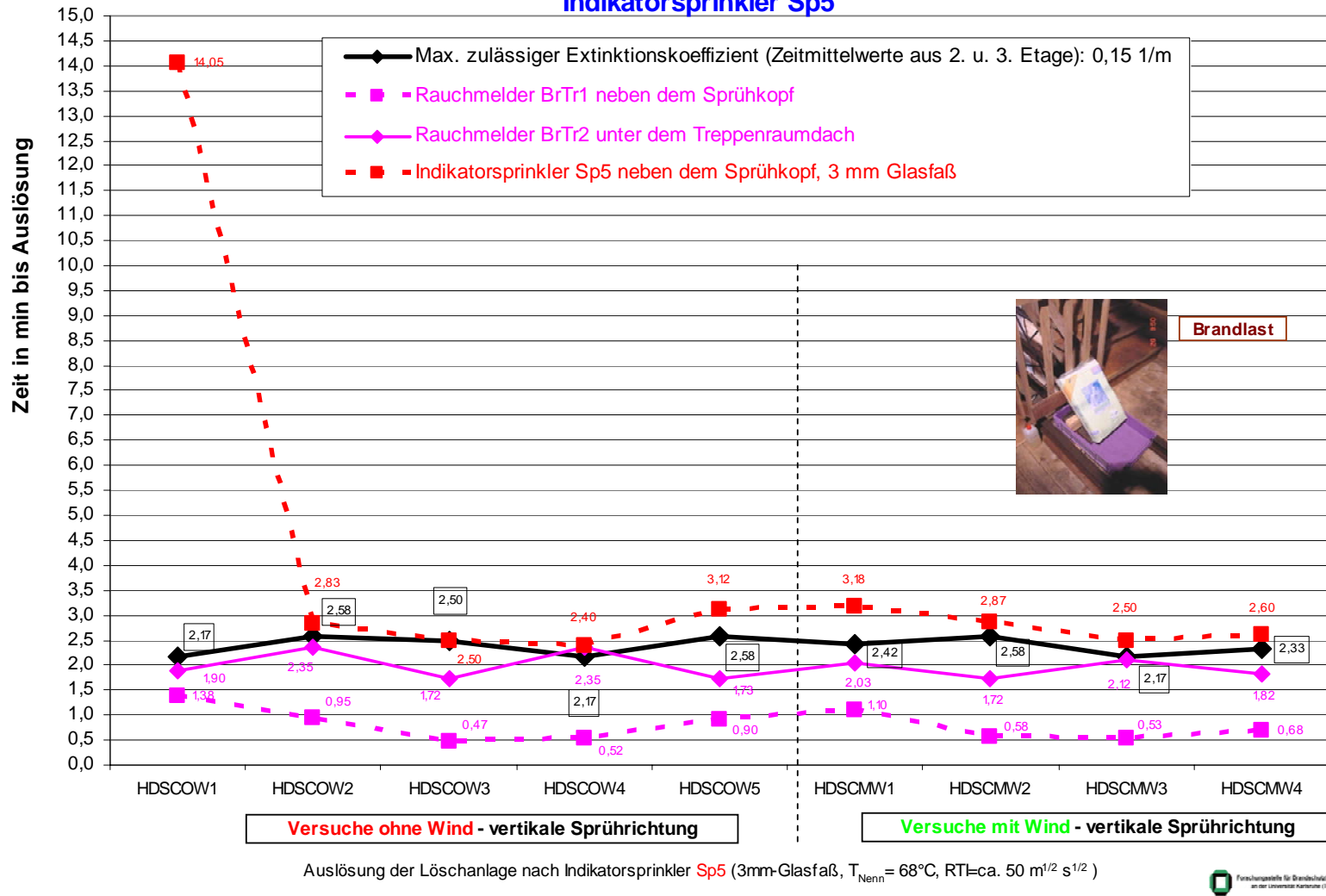


Bild 18.3: Vergleich Hochdruck-Wassernebel – Versuche mit und ohne Wind – Über- bzw. Unterschreiten der Zeit bis zum Auftreten des max. zul. Exktinktionskoeffizienten bei der Auslösung von Rauchmeldern, Indikatorsprinkler bzw. Normalsprinkler.

H i n w e i s

Die Liste der bisher veröffentlichten Forschungsberichte kann auf den Homepages
der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

<http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/>

und des

Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge

<http://www.idf.uni-magdeburg.de>

eingesehen werden.