

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit
Einfluß von ortsfesten Wasserlöschanlagen
Teil 2

136

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

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

Forschungsbericht Nr. 136

**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 Nieder-
druck-Wassernebellöschanlage.

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Januar 2005

INHALTSVERZEICHNIS

	BERICHTSKENNBLATT	1
1.	EINLEITUNG	2
2.	WIND	3
2.1	Grundlagen der Windentstehung	3
2.2	Windeinfluß auf Gebäude	6
3.	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	8
3.1	Versuchsaufbau und Meßtechnik	8
3.2	Brand- und Löschversuche <i>mit</i> Windeinfluß	8
3.2.1	Versuche mit Niederdruck-Wassernebel	10
3.2.1.1	Versuch HTR8 - vertikale Sprührichtung	11
3.2.1.2	Versuch HTR9 – vertikale Sprührichtung	12
3.2.2	Versuche mit Normalsprinkler (hängend)	14
3.2.2.1	Versuch SP5 - vertikale Sprührichtung	14
3.2.2.2	Versuch SP6 - vertikale Sprührichtung	16
3.2.2.3	Versuch SP7 - vertikale Sprührichtung	17
3.2.2.4	Versuch SP8 - vertikale Sprührichtung	18
3.2.2.5	Versuch SP9 - vertikale Sprührichtung	20
3.2.2.6	Versuch SP10 - vertikale Sprührichtung	21
3.2.2.7	Versuch SP11 - vertikale Sprührichtung	22
3.2.2.8	Versuch SP12 - vertikale Sprührichtung	24
4.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	26
5.	LITERATURVERZEICHNIS	35
6.	TABELLEN	37
7.	BILDER	50

BERICHTSKENNBLATT

Nummer des Berichtes: <p style="text-align: center;">136</p>	Titel des Berichtes: 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-Wasserebellöschanlage.	ISSN: <p style="text-align: center;">0170-0060</p>
Autor: Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann	durchführende Institution: Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Hertzstraße 16, D-76187 Karlsruhe	
Nummer des Auftrages: 194 (4/2004)	auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung	
Abschlussdatum: Januar 2005		
Seitenzahl: 100 (60 Seiten in Farbe)*	Bilder: 51	Tabellen: 3
Literaturverweise: 12		
Kurzfassung: Brand- und Löschversuche wurden sowohl mit einer Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch mit einer Sprinkleranlage mit Normalsprinklern im Holztreppenraum-Versuchsgebäude der Forschungsstelle für Brandschutztechnik unter Berücksichtigung des Einflusses von Wind auf den natürlichen Rauchabzug durchgeführt. Hierbei wurden die Brand- und Rauchausbreitung vor als auch während des Löscheinsatzes, das Auslöseverhalten von thermischen Glasfaßauslöseelementen und fotoelektronischen Rauchmeldern sowie die Löscheffektivität der jeweiligen Löschanlage beurteilt. Wesentliche Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none"> • Windanströmung von im oberen Bereich des Treppenraums vertikal angeordnete Rauchabzugsöffnungen führt bei gleichzeitig geöffneter Zuluft im Eingangsbereich des Treppenraumes zu erheblicher Auslöseverzögerung von thermischen Auslöseelementen (z.B. Glasfaßauslöseelemente), weil Auslöseelemente hierdurch gekühlt werden. Dieser Effekt ist zusätzlich besonders ausgeprägt bei niedrigen Außentemperaturen (Winterfall). • Windanströmung bewirkt bei vertikal angeordneten natürlichen Rauchabzugsöffnungen, dass der Rauch in untere Geschosse gedrückt wird. Hieraus folgt, daß bei vertikal oder nahezu vertikal angeordneten Rauchabzugsöffnungen windrichtungsabhängiges Öffnen der natürlichen Rauchabzugs- und der Zuluftöffnung erforderlich ist. Da diese Öffnungen für eine wirksame Rauchfreihaltung immer an der windabgewandten Seite liegen müssen, ist der Einbau dieser Öffnungen jeweils in mindestens zwei gegenüberliegenden Gebäudewänden erforderlich. • Insbesondere durch thermische Auslöseelemente angesteuerte Löschanlagen müssen zeitlich vor den Rauchabzügen ausgelöst werden, da sich durch Windeinwirkung auf vertikal angeordnete Rauchabzugsöffnungen wegen stark verzögerte Auslösung eine entsprechende größere Brandentwicklung zum Zeitpunkt der Auslösung ergibt. Frühzeitige Auslösung der Löschanlage ist aber wegen der Begrenzung der Freisetzung toxischer Brandgase erforderlich, um hierdurch die Bedingungen für eine Selbstrettung von Personen zu verbessern. • Beim Vergleich von erforderlichen Löschwassermengen mit Niederdruck-Wasserebellöschanlage einerseits und Normal-Sprinklern andererseits kann festgestellt werden, dass die erforderliche Löschwassermenge beim untersuchten Brandszenario sowohl ohne als auch mit Windeinfluß bei Wasserebellöschanlage weitaus niedriger als beim Sprinkler ist. • Sowohl bei der Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch bei der Sprinkleranlage war der Brandschaden im Treppenraum auf die mobile Brandlast auf dem 1. Treppenpodest und das dieser benachbarte Geländer beschränkt. • Bei Versuchen mit Wind konnte wie bereits bei Versuchen ohne Wind (Bericht 135) festgestellt werden, dass im Hinblick auf den Personenschutz und eine geringe Brandausbreitung Rauchmelder deutlich früher als thermische Auslöseelemente ansprechen und somit zu bevorzugen sind. • Bei den thermischen Glasfassauslöseelementen haben sich 5 mm – Elemente insbesondere im Hinblick auf den Personenschutz nicht bewährt, da diese im Vergleich zu den 3 mm – Elementen zu einer beträchtlichen Auslöseverzögerung führen und somit größeren Brand- und Rauchausbreitung ermöglichen. 		
Schlagwörter: Brand- und Rauchausbreitung, Treppenraum, Holz, Rauchabzug, Wind, Sichtverhältnisse, Evakuierung, optische Brandrauchdichte, Brandgase, Wasserebellöschanlage, Sprinkleranlage		

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

1. EINLEITUNG

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

Um die Gefährdung durch Brandgase auszuschalten, sind rauchfreie 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 Teil 1 der Untersuchungen (Kunkelmann [1]) wurden im Brandversuchstreppenraum der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) mit kleinen Versuchsbränden die Verhältnisse bei einem Entstehungsbrand untersucht. Der Brand wurde anschließend mit einer Niederdruck-Wasserebellöschanlage bzw. Sprinkleranlage mit Normalsprinklern bekämpft. In diese Untersuchungen flossen auch Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Kunkelmann [2, 3, 4] 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 wurde die Wechselwirkungen der ortsfesten Feuerlöschanlage mit einem natürlichen bzw. einem maschinellen Rauchabzug (NRA bzw. MRA) ermittelt. Bei diesen Versuchen wurde der Einfluß des Parameters Wind auf die natürliche Rauchabzugsöffnung zunächst nicht berücksichtigt (Begrenzung der Versuchsanzahl).

Da Wind aber bekanntermaßen entscheidenden Einfluß auf die Rauchfreihaltung von Gebäuden, hier auf die Rauchströmung im Treppenraum, haben kann, wird in der vorliegenden Untersuchung auf die Auswirkung dieser Einflußgröße näher eingegangen.

2. WIND

2.1 Grundlagen der Windentstehung

Die nachfolgenden Ausführungen sind den Literaturstellen [5] bis [12] entnommen.

Die Windgeschwindigkeit hängt von weiträumigen Druckunterschieden in der Atmosphäre ab, die ihrerseits eine Folge von Temperaturunterschieden zwischen Luftmassen großen Ausmaßes sind. Die Kraft, die die Luftbewegung veranlasst, ist vom hohen zum tiefen Druck gerichtet. In Höhen von etwa 1000 m und mehr über Grund weht der Wind nahezu isobarenparallel (geostrophischer Wind). Seine Geschwindigkeit ist dort nur abhängig von den horizontalen Luftdruckunterschieden. Mit Annäherung an den Erdboden nimmt der Einfluß der Reibungskraft immer mehr zu, so daß eine Verringerung der Windgeschwindigkeit erfolgt. Direkt an der Erdoberfläche ist die Windgeschwindigkeit null. Umgekehrt betrachtet, nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu – und zwar recht stark innerhalb der ersten 100 m – bis sich in etwa 1000 m über Grund die geostrophische Strömung einstellt.

In Bodennähe findet eine zusätzliche Modifikation des Windfeldes durch unterschiedliche topographische Verhältnisse und durch verschiedene Bodennutzungsformen statt: In flachem, ebenen Gelände oder über größeren Wasserflächen weht der Wind nahezu ungestört. Die Windgeschwindigkeiten sind dort relativ hoch, da größere Gebäudehindernisse nicht vorhanden sind. In topographisch gegliedertem Gelände dagegen gibt es eine Reihe von Faktoren, die sich auf das Windfeld auswirken. Tallagen führen in der Regel nicht nur zu einer Verringerung der mittleren Windgeschwindigkeit, sondern modifizieren – durch Leiteffekte – auch die Verteilung der Windrichtung. Kuppen- und Kammlagen, Höhenrücken oder Berggipfel weisen gegenüber der Umgebung im Mittel höhere Windgeschwindigkeiten auf.

Die hier aufgeführten Einflussgrößen auf das Windfeld spiegeln sich auch in einer Untersuchung über die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland wider: Großräumig hohe Windgeschwindigkeiten treten über der Deutschen Bucht auf. Der Übergang zum Binnenland – mit seiner höheren Rauigkeit – ist zwar mit einer raschen Abnahme der Windgeschwindigkeit verbunden; das allgemeine Windgeschwindigkeitsniveau in

Norddeutschland ist aber immer noch recht hoch. Gegenüber dem Flachland mit seiner wenig differenzierten, homogenen Windgeschwindigkeitsverteilung macht sich im mittleren und südlichen Deutschland der Einfluss der Topographie stärker bemerkbar. Windschwache Gebiete sind dort besonders die Tallagen. Erst in den höheren Lagen des Mittelgebirgs- und Alpenbereiches werden wieder ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten wie im norddeutschen Küstenraum erreicht, was auf die Windgeschwindigkeitszunahme mit der Höhe zurückzuführen ist, die der landeinwärts gerichteten Abnahme der Windgeschwindigkeit überlagert ist.

Neben diesen großräumigen Abhängigkeiten gibt es weitere Parameter, die zu einer kleinräumigen, lokalen Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit beitragen.

Der Einfluss der Bodennutzung (Wald, Städte) auf das bodennahe Windfeld wirkt sich im Mittel geschwindigkeitsmindernd aus, wenn auch im Einzelfall durch Düsen- oder Eckeneffekte (z. B. in Waldschneisen oder Straßenschluchten) die Windgeschwindigkeit durchaus erhöht werden kann. Größere Wasserflächen dagegen bewirken - aufgrund ihrer geringen Oberflächenrauigkeit - eine weniger starke Abschwächung der Windgeschwindigkeit.

In größeren Höhen über Grund werden alle hier erwähnten Effekte ausgedämpft: So verringert sich der Einfluss der Bodenrauigkeit mit zunehmender Höhe. Die Wirkung kleinerer Hindernisse (z. B. Einzelgebäude), die im bodennahen Windfeld noch vorhanden ist, wird bereits in wenigen Dutzend Höhenmetern über Grund verschwunden sein, während großflächig raue Gebilde (ausgedehnte Waldgebiete oder größere Städte) auch noch in größeren Höhen das Windfeld beeinflussen. Ähnliches gilt für topographische Formen: Die Windgeschwindigkeitszunahme über Kuppenlagen verringert sich mit der Höhe, wobei die Abnahme von der Form und der Größe der Kuppe abhängig ist. Auch Taleffekte müssen zwangsläufig dann verschwinden, wenn aufgrund der Höhenlage über Grund keine Abschirmung durch die umliegenden Hänge mehr auftreten kann.

Der Deutsche Wetterdienst unterhält ein umfangreiches Windmessnetz von Stationen im gesamten Bundesgebiet, an denen kontinuierliche Windmessungen durchgeführt werden. In einer nachträglichen Auswertung dieser Daten werden Stundenmittelwerte von Windgeschwindigkeit und Windrichtung ermittelt. Gemäß einer internationalen Vereinbarung soll die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund in ebenem und offenem Gelände gemessen werden. Diese Forderung kann jedoch aus verschiedenen Gründen nicht an allen

Stationen eingehalten werden, so dass die Windmessung an Stadt-/Stadttrandstationen oder auf stark bewaldeten Kuppenlagen z. T. in größeren Anemometerhöhen (Höhe, in der die Windmessung stattfindet) erfolgt. Nachfolgend werden die Windstärken in Beaufort wiedergeben (siehe Deutscher Wetterdienst [7]).

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, Telegraf- fenleitungen 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 Häu- sern (Dachziegel oder Rauchhauben werden ab- gehoben)
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 entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	ab 32,5	ab 118	schwere Verwüstungen

2.2 Windeinfluß auf Gebäude

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 sogenannte aerodynamische Druckzahlen (Winddruckbeiwerte) berücksichtigt. An der windzugewandten Seite eines Gebäudes ist die Druckzahl in der Regel eine positive Größe. An der wind-

abgewandten 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 Einschnürungseffekten des Gasstromquerschnittes an seiner engsten Stelle im Verhältnis zum geometrischen freien Querschnitt der Öffnung.

Gemäß DIN 18232 Teil 5 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_04443_bzw_04444.gif)) 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.

3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Versuchsaufbau und Messtechnik

Zur Durchführung der Brand- und Löschversuche wurde ein in früheren Untersuchungen in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik bereits verwendetes Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum sowie einer Niederdruck-Wassernebellöschanlage bzw. Sprinkleranlage genutzt. Die geometrischen Abmessungen entsprechen den Angaben der Konstruktionszeichnung in **Bild 1.1**. Die weiteren **Bilder 1.2 bis 1.8** zeigen auch Details der Gesamtanlage und geben Hinweise auf Szenarien, die im Rahmen der in der Literatur [2] bis [4] genannten Versuchsreihen verwendet worden waren. Im Detail erkennt man in den **Bildern 1.2 bis 1.8** den Aufbau von Brand- und Treppenraum, den Rauchabzug für natürliche und maschinelle Entrauchung, die Fluchtwegkennzeichnung, die Anordnung der Brandmelder, der Wassernebellöschanlage und der Sprinkleranlage sowie der Indicatorsprinkler, den Aufbau der Brandlasten in Brand- und Treppenraum sowie die eingesetzte Meß- und Videotechnik.

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

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

3.2 Brand- und Löschversuche *mit* Windeinfluß.

Die Brand- und Löschversuche wurden im Treppenraum (**Bild 1.1, 1.2 und 1.3**) durchgeführt.

Die Brandlast wurde gemäß **Bild 1.5 (3.82)** auf dem Podest der 1. Etage aufgebaut. Als Brandlast wurden Vierkanthölzer, Stapelbehälter (Lagerbehälter) aus Polypropylen, Babywindeln in Schrumpffolie und eine Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) mit Heptan verwendet.

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

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

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

Mittels eines Axialventilators (**Bild 1.5 (3.62)**) wurde eine Windanströmung des natürlichen Rauchabzugs (1 m²-Öffnung, **Bild 1.5 (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.

Bei geschlossener Treppenraumtür ergab sich eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 0,6 m/s im Öffnungsquerschnitt. Dieses entspricht ungefähr einem mittleren dynamischen Druck von ca. 0,3 Pa bei 20°C.

Die sich umkehrenden Strömungen in den und aus dem Treppenraum an der 1 m²-Öffnung bei offener und geschlossener Treppenraumtür können anschaulich mit an der Oberkante der Öffnung befestigten und sich bei Windeinfluß bewegenden Indikatorstreifen gezeigt werden (siehe **Bild 2**). Weitere Detailuntersuchungen wurden hierzu nicht durchgeführt.

3.2.1 Versuche mit Niederdruck-Wassernebel.

Die Art, Anzahl und Position der Düsen und Sprühköpfe bei den durchgeführten Versuchen (HTR8 und 9) ist in **Tabelle 2** und **3** detailliert beschrieben (siehe auch Kunkelmann [4]).

Die bei den Versuchen eingesetzte Niederdruck-Wassernebeldüse weist eine gleichmäßige Wasserverteilung über dem Sprühkegelquerschnitt auf.

Bei den Versuchen wurde der vertikal nach unten gerichtete Wassernebelsprühkopf nur mit einer einzelnen zentral angeordneten Düse bestückt, um einen direkten Vergleich mit einem einzelnen Sprinkler zu ermöglichen (siehe **Tabelle 2** und **3**). Diese wurde zentral unterhalb des 3. Treppenpodestes und oberhalb der Brandlast montiert (Abstand über dem 1. Podest: ca. 4,25 m).

Die Auslösung der Niederdruck-Wassernebellöschanlage erfolgte bei den Versuchen manuell und zeitlich nach dem Auslösen eines Indikatorsprinklers mit Glasfaßauslöseelement (68°C, 3 mm, RT I= 50 (ms)^{1/2}). Parallel hierzu kamen zu Vergleichszwecken die bei den bisher durchgeführten Versuchen verwendeten fotoelektronischer Rauchmelder, in Positionen zentral an Decke des Treppenraumes bzw. zentral unter dem Podest der 3. Etage, als auch weitere Indikatorsprinkler des gleichen Typs an den verschiedenen Positionen im Treppenauge (siehe **Tabelle 2** und **Bild 1.1 u. 1.3**) zum Einsatz.

3.2.1.1 Versuch HTR8 - vertikale Sprühhichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschanfang geöffnet. Gleichzeitig wurde die Winderzeugung gestartet.

Bild 3.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschanfang.

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

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

Man erkennt, daß die Rauchtemperatur durch den Löschanfang sehr wirksam verringert wird.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

Die erforderliche Löschwassermenge zeigt mit 218 l den geringsten Wert aller Versuche, die bislang in dieser Versuchseinrichtung mit oder ohne Wind durchgeführt worden sind.

Bild 3.3 zeigt eine Momentaufnahme der größten Brandentwicklung bei Löschanfang. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel nur kurzfristig (für einige Sekunden) etwas größer, bevor der Lösch-effekt des Wassers einsetzt.

Bild 3.4 zeigt den Zustand im Treppenraum bei maximaler, überwiegend durch Wasserdampf und kleine Tröpfchen aus dem Löschvorgang verursachte Verrauchung bzw. Lufttrübung im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Windeinfluß bedingt wird Rauch verstärkt in das Erdgeschoß, insbesondere aufgrund der Strömung durch die offene Treppenraumbür, gedrückt.

3.2.1.2 Versuch HTR9 – vertikale Sprührichtung.

In den **Tabellen 2 und 3** sind die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse dargestellt.

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschanfang geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 4.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

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

Der Temperaturanstieg des Rauchs im Treppenraum wird durch den nach 2 min 33 s einsetzenden Löschvorgang unterbunden; die Temperaturen fallen unmittelbar danach stetig auf Umgebungstemperatur ab.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

Die erforderliche Löschwassermenge ist mit 296 l sehr gering.

Bild 4.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer, um unmittelbar danach durch den Löscheffekt des Wassers wieder reduziert zu werden. Diese Reduktion deckt sich mit den Aussagen zum zeitlichen Temperaturverlauf nach Bild 4.2 (s.o.).

Bild 4.4 zeigt den Zustand im Treppenraum bei maximaler, überwiegend durch Wasserdampf und Tröpfchen aus dem Löschvorgang verursachte Verrauchung bzw. Lufttrübung im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage.

Der in der 2. und 3. Etage gemessene maximale Extinktionskoeffizient zeigt die niedrigsten aller mit Wind durchgeführten Versuche und die zweitniedrigsten Werte aller bisher mit dieser Versuchsanordnung durchgeführten Versuche (siehe auch **Bild 13.1 und 13.2**). Dies ist auf die frühe Auslösung der Wassernebeldüse nach 2 min 33 s zurückzuführen. Wäre die Auslösung über einen der beiden Rauchmelder statt über den 3 mm-Indikatorsprinkler erfolgt, wäre voraussichtlich die Verrauchung des Treppenraumes noch beträchtlich niedriger ausgefallen. Allerdings ist die Verrauchung im Bereich des 1. Podestes und des Erdgeschosses beträchtlich. Der Rauch wird hierbei infolge der durch den Treppenraum nach unten gerichteten Windströmung durch die Treppenraumtür wieder „ins Freie“ ausgeblasen.

3.2.2 Versuche mit Normalsprinklern (hängend)

Bei den in diesem Abschnitt beschriebenen Versuchen SP5 bis SP12 (siehe **Tabelle 2** wegen Details) wird wie bei den Versuchen ohne Windeinfluß ein vertikal nach unten sprühender Normalsprinkler eines Typs verwendet, der in der Praxis häufig zum Einsatz kommt. Der Sprinkler wurde zentral unterhalb des 3. Treppenpodestes über der Brandlast montiert (Höhe über dem 1.Podest: ca. 4,25 m).

Im Vergleich zur Wasserebeldüse weist der Normalsprinkler eine qualitativ deutlich ungleichmäßigere Tropfenverteilung über den Sprühkegelquerschnitt auf. Die Verteilung ist vielmehr durch einen Hohlkegel unterhalb des Sprühkopfes gekennzeichnet. In größeren Räumen kann dieser grundsätzlich bei Aktivierung nur eines Sprinklers für die Löscheffizienz nachteilige Effekt durch Überlagerung der Sprühkegel nebeneinander liegender Sprinkler ausgeglichen werden. In kleinen Räumen wie hier im Treppenraum mit nur einem Sprinkler in einer Ebene ist dies jedoch nicht der Fall. Wie die nachfolgenden Versuche zeigen werden, ergeben sich dadurch Probleme bei der Brandbekämpfung direkt unter dem Sprinkler. Auf die Verwendung weiterer Sprinklerköpfe mit gleichmäßigerem Sprühbild wurde aus Gründen der Anzahl der Versuchsparameter und der hieraus folgenden Versuchsanzahl verzichtet. Untersuchungen in dieser Richtung müssen späteren Arbeiten vorbehalten werden, sofern an einer Klärung Bedarf besteht.

Weitere Einzelheiten zu den verwendeten Indikatorsprinklern, zu den Rauchmeldern und zu den Ventilationsbedingungen sind den **Tabellen 2 und 3** zu entnehmen.

3.2.2.1 Versuch SP5 - vertikale Sprührichtung.

In den **Tabellen 2 und 3** sind die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse zusammengestellt.

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschanfang geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 5.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

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

Der Temperaturanstieg der Rauchtemperaturen im Treppenraum wird durch den Löschvorgang unterbunden; die gemessenen Temperaturen werden wirksam verringert.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

Bild 5.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschanfang. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer, um unmittelbar danach durch den Löscheffekt des Wassers wieder reduziert zu werden. Diese Reduktion deckt sich mit den Aussagen zum zeitlichen Temperaturverlauf nach **Bild 5.2** (s.o.).

Bild 5.4 zeigt den Zustand an ausgewählten Stellen im Treppenraum während der maximalen, überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage verursachten Verrauchung bzw. Lufttrübung. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß, insbesondere aufgrund der Strömung durch die offene Treppenraumtür gedrückt. Das 2. und 3. Podest zeigt eine relativ geringe Verrauchung.

3.2.2.2 Versuch SP6 - vertikale Sprühhichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschbeginn geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 6.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

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

Die Rauchtemperatur im Treppenraum wird durch den bei 7 min 38 s einsetzenden Löschvorgang ebenfalls sehr wirksam reduziert.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht, auch wenn das Temperaturniveau infolge längerer Vorbrennzeit bis zum Auslösen der Löschanlage signifikant höher ist als bei den Versuchen mit Niederdruck-Wassernebeldüsen. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

Im unmittelbaren Vergleich der Versuche SP5 und SP6 ist folgendes festzustellen: obwohl bei diesem Versuch der natürliche Rauchabzug einige Sekunden nach der Löschanlage geöffnet wurde, war der Löschbeginn mit 7 min 38 s wesentlich später als bei Versuch SP5 mit 2 min 34 s. Die maximale Temperatur im Treppenraum bei Versuch SP5 betrug 121°C und wurde bereits nach 2 min 34 s erreicht, wohingegen bei Versuch SP6 die maximale Treppenraumtemperatur nur 100 °C betrug und erst nach 7 min 38 s erreicht wurde.

Bild 6.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn, welche die entsprechenden Zustände bei den Versuchen mit der Wassernebeltechnik übertrifft. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird auch hier die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer, um dann durch den Löscheffekt rasch reduziert zu werden.

Bild 6.4 zeigt die maximale Verrauchung bzw. Lufttrübung infolge von überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß insbesondere aufgrund der Strömung durch die offene Treppenraumbür gedrückt.

3.2.2.3 Versuch SP7 - vertikale Sprührichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschbeginn geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 7.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

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

Die Temperaturentwicklung wird durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert. Die Maximaltemperatur im Treppenraum lag bei Auslösung der Sprinkleranlage unter 100 °C.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

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

Bild 7.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt. Aufgrund der geschlossenen Treppenraumbür ergibt sich eine starke Verrauchung im gesamten Treppenraum.

3.2.2.4 Versuch SP8 - vertikale Sprührichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschanfang geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 8.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

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

Die Temperaturentwicklung wird durch den Löschvorgang sehr wirksam verringert.

Im abströmenden Rauch werden im Treppenraum kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. für das Zerspringen von Normalverglasungen (Floatglas) oder für das Zünden normalentflammbarer Baustoffe nicht erreicht. Hiervon ausgenommen ist der durch die Brandlast unmittelbar in Brand gesetzte Nahbereich am Holzgeländer.

Bild 8.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschanfang. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 8.4 zeigt die maximale Verrauchung bzw. Lufttrübung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt. Aufgrund der geschlossenen Treppenraumbür ergibt sich eine starke Verrauchung im gesamten Treppenraum.

3.2.2.5 Versuch SP9 - vertikale Sprühhichtung.

Wesentliche Versuchsparameter und Versuchsergebnisse ergeben sich aus den **Tabellen 2 und 3**.

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschbeginn geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bei diesem Versuch kam ein Indikatorsprinkler SP5* mit einem 1,5 mm-Glasfaß zum Einsatz. Dieses zerplatzte nach 8 min 9 s. Der löschwirksame Sprinkler mit 3 mm-Glasfaß löste nach 10 min 51 s aus. Es ist erwähnenswert, dass selbst dieses nach derzeit verfügbarer Technologie der Produktion von Glasfassauslöseelementen extrem dünne Glasfaß mit 1,5 mm Durchmesser nicht an die Auslösezeiten der Rauchmelder heranreicht (BrTr1: 1 min 2 s, BrTr2: 1 min 51 s). Dies ist natürlich darin begründet, dass trotz der durch einen niedrigen RTI-Wert ausgedrückten vergleichsweise hohen Ansprechempfindlichkeit beim dünnen Glasfass dennoch dessen Ansprechttemperatur erreicht werden muss, damit Auslösung der Löschanlage erfolgt.

Bild 9.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

Bild 9.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen im Treppenraum.

Die Temperaturentwicklung der Rauchgase im Treppenraum wird durch den Löschvorgang

wirksam verringert.

In obengenanntem Sinne kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden ebenfalls nicht erreicht.

Bild 9.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschanfang. Kurz nach Beginn des Löschanfangs wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 9.4 zeigt die maximale Verrauchung bzw. Lufttrübung überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschanfang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch (überwiegend Wasserdampf mit Brandgasbestandteilen) verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt.

3.2.2.6 Versuch SP10 - vertikale Sprührichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschanfang geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 10.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschanfang.

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

Bild 10.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von

Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen im Treppenraum.

Die Temperaturentwicklung wird durch den Löschvorgang wirksam verringert.

Im obengenannten Sinne kritische Temperaturen für Bauprodukte wie z.B. Normalverglasungen (Floatglas) oder normalentflammbare Baustoffe werden ebenfalls nicht erreicht.

Bild 10.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 10.4 zeigt die maximale Verrauchung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt. Aufgrund der offenen Treppenraumbür ergibt sich eine geringere Verrauchung in der 2. und 3. Etage gegenüber dem Erdgeschoß.

3.2.2.7 Versuch SP11 - vertikale Sprührichtung.

In den **Tabellen 2 und 3** sind die wesentlichen Versuchsparameter und Versuchsergebnisse wiedergegeben.

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde vor Löschbeginn geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 11.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

Bild 11.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen im Treppenraum.

Die Temperaturentwicklung wird durch den Löschvorgang wirksam verringert.

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

Bei diesem Versuch kam ein Indikatorsprinkler SP5* mit einem 1,5 mm-Glasfaß zum Einsatz. Dieses zerplatzte jedoch nicht, bevor das 3 mm-Glasfaß des löschwirksamen Sprinklers ausgelöst hatte, und blieb auch im weiteren Ablauf infolge der einsetzenden Kühlung der Rauchgase durch das Löschwasser unversehrt. Dieses nicht erfolgte Auslösen des dünneren Glasfäßchens ist insoweit interessant, als in Verbindung mit größerer Wärmeträgheit und Wärmeabfuhr über die Rohrleitung ein erst späteres Auslösen des 3 mm Glasfasses zu erwarten war. Ohne für das von der Erwartung abweichende Verhalten eine schlüssige Erklärung zu finden bleibt die Möglichkeit bestehen, dass dies entsprechend sonstigen Versuchserfahrungen der Forschungsstelle mit dem Auslöseverhalten von Sprinklern unter realen Bedingungen eine Folge von Fertigungstoleranzen bei der Herstellung der Glasfäßchen und deren Einbau in die Sprinklerdüse sein könnte. Gerade beim Einbau des Glasfäßchens in seine Halterung im Sprinkler könnten geringe Unterschiede in der resultierenden mechanischen Restspannung bereits entsprechende Unterschiede des Auslösezeitpunktes bedingen, da sich diese in der Kräftebilanz auswirken, die zur Zerstörung des Glasfäßchens unter kombinierter thermischer und mechanischer Einwirkung führt. In gleicher Weise kann sich jedoch auch die zusätzliche mechanische Belastung des Auslöseelementes durch den Vordruck in der Löschwasserleitung auswirken. Ein weitere Möglichkeit könnte sein, dass die geringe Flüssigkeitsmenge im 1,5 mm-Glasfaß den erforderlichen Druck zur hydraulischen Sprengung des Glasfasses langsamer aufbaut als bei einem 3 mm-Element. Welcher der jeweiligen Einflüsse bei sehr dünnen Glasfäßchen jedoch statistisch überwiegt, ist nicht bekannt.

Bild 11.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschanfang. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 11.4 zeigt die maximale Verrauchung bzw. Lufttrübung durch überwiegend Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Windeinfluß wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt. Aufgrund der geschlossenen Treppenraumbür ergibt sich eine starke Verrauchung im gesamten Treppenraum.

3.2.2.8 Versuch SP12 - vertikale Sprührichtung.

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

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

Die 1 m²-Öffnung zur Rauchabführung wurde nach Löschanfang geöffnet und gleichzeitig die Winderzeugung gestartet.

Bild 12.1 zeigt den Aufbau der Brandlast auf dem Podest der 1. Etage sowie die Brandschäden nach dem Löschvorgang.

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

Bild 12.2 verdeutlicht an Hand von zeitlichen Verläufen einzelner Meßgrößen und von Grenzwerten das Wechselspiel zwischen Ventilationsbedingungen, Brandausbreitung und Löschvorgang und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Verrauchung und die Gaskonzentrationen im Treppenraum.

Die Temperaturentwicklung wird durch den Löschvorgang wirksam verringert.

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

Bei diesem Versuch kam ein Indikatorsprinkler SP5* mit einem 1,5 mm-Glasfaß zum Einsatz. Dieses zerplatzte wie beim Versuch SP11 ebenfalls nicht vor dem löschwirksamen Sprinkler mit einem 3 mm-Glasfaß.

Bei diesem Versuch war die zweitgrößte Löschwassermenge (2.548 l) aller Versuche erforderlich, um den Brand vollständig zu löschen. Das Feuer brannte bei diesem Versuch sehr lange in Hohlräumen unter dem zusammengefallenen Windelpaket. Der Sprinkler war infolge der Eigenschaften der hierbei erzeugten Wasserverteilung nicht in der Lage, diesen verdeckten Brand zu erreichen.

Bild 12.3 zeigt eine Momentaufnahme der Brandgröße bei Löschbeginn. Kurz nach Beginn des Löschvorganges wird hierbei die Flamme aufgrund des Lufteintrages durch den Sprühkegel für einige Sekunden etwas größer.

Bild 12.4 zeigt die maximale Verrauchung bzw. Lufttrübung überwiegend durch Wasserdampf aus dem Löschvorgang im Erdgeschoß sowie auf dem Podest der 1., 2. und 3. Etage. Durch den Wind wird der Rauch verstärkt in das Erdgeschoß gedrückt. Aufgrund der geschlossenen Treppenraumbür ergibt sich eine starke Verrauchung im gesamten Treppenraum.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Brand- und Löschversuche wurden sowohl mit einer Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch mit einer Sprinkleranlage mit Normalsprinklern im Holztreppenraum-Versuchsgebäude der Forschungsstelle für Brandschutztechnik unter Berücksichtigung des Einflusses von Wind auf den natürlichen Rauchabzug durchgeführt. Hierbei wurden die Brand- und Rauchausbreitung vor als auch während des Löscheinsatzes, das Auslöseverhalten von thermischen Glasfaßauslöseelementen und fotoelektronischen Rauchmeldern sowie die Löscheffektivität der jeweiligen Löschanlage beurteilt.

Im Vordergrund der Untersuchungen stand der Einfluß von Wind auf den natürlichen Rauchabzug. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit den in Teil 1 (Kunkelmann [1]) gewonnenen Erkenntnissen ohne Windeinfluß verglichen.

Die **Bilder 13.1 und 13.2** sowie die **Tabelle 3** zeigen stellen wesentliche Ergebnisse der durchgeführten Versuche sowohl ohne als auch mit Windeinfluß für den Niederdruck-Wasserebel und die Normal-Sprinkler dar und ermöglichen somit einen direkten Vergleich. Die Schaubilder geben Auskunft über die Löschwassermenge und Löschzeit bis zum vollständigen Löschen des Brandes, die Verrauchung des Treppenraumes bei den jeweiligen Düsenarten, Düsenanzahlen und Düsenpositionen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Untersuchungen sowohl mit als auch ohne Windeinfluß aufgelistet:

1. Durch das schnelle Auslösen einer Wasserlöschanlage werden die Temperaturen sehr schnell auf für Personen und Bauteile unkritische Werte abgesenkt.
2. Sowohl bei der Niederdruck-Wasserebellöschanlage als auch bei der Sprinkleranlage war der Brandschaden auf die mobile Brandlast und das Geländer auf dem 1. Podest beschränkt.
3. Die Sauerstoffkonzentration erreicht während des Löschvorganges nie für den Menschen kritische Werte. Die übrigen Brandgaskonzentrationen werden durch einen schnell einsetzenden Löschvorgang ebenfalls sehr stark reduziert.

4. Bei geöffneter Treppenraumtür hat das Öffnen der 1 m²-Öffnung oder das Einschalten des maschinellen Rauchabzuges einen bedeutenden Einfluß auf den Auslösezeitpunkt der Löschanlage. Beim Vergleich der Versuche SP1 / SP2 ergab sich durch die Öffnung bzw. das Einschalten vor Löschbeginn eine Zeitverzögerung um 5 Minuten, bei den Versuchen SP3 / SP4 eine Verzögerung um 3 Minuten beim Sprinkler mit 5 mm – Glasfaß. Beim 3 mm – Glasfaß des Indikatorsprinklers waren die Auswirkungen des Rauchabzuges auf die Auslöseverzögerung weniger ausgeprägt.

5. Bei einem einzelnen Normalsprinkler gestaltet sich aufgrund seiner Sprühcharakteristik mit Hohlkegel vertikal unter dem Sprinklerkopf die Brandbekämpfung direkt unter dem Sprinkler im Sinne erfolgreichen kurzfristigen Löscherfolgs schwierig. Bei sämtlichen durchgeführten Brand- und Löschversuchen kann jedoch festgestellt werden, daß sowohl durch Sprinkler als auch durch Wassernebel der Brandschaden auf das Geländer im Bereich des Podestes sowie den Podestboden begrenzt wurde.

6. Eine Niederdruck-Wassernebeldüse bzw. Sprühkopf mit gleichmäßiger Wasserverteilung hat beträchtliche Vorteile gegenüber einem Normalsprinkler im Hinblick auf die Löschwirksamkeit (Zeit und Wasserverbrauch); dies trifft insbesondere bei verdeckten Bränden direkt unter der Düse zu und manifestiert sich auch in geringeren Brandschäden an der Brandstelle beim Einsatz von Wassernebel.

7. Man erkennt an den hier verwendeten Löschanlagen zwei Grenzfälle für die Wasserverteilung. Dies sind zum einen eine relativ gleichmäßige Wasserverteilung über dem gesamten Querschnitt bei einer Wassernebeldüse und eine Hohlkegelbildung beim Normalsprinkler, mit entsprechend geringerwertiger Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung. Es ergibt sich somit auch aufgrund der Versuchsergebnisse die klare Zielsetzung für kleinräumige Einheiten oder solche mit kleinen Querschnitten wie vergleichbare Treppenräume mit nur einem einzelnen Sprinkler pro Raum oder Ebene, dass dieser eine möglichst gleichmäßige Wasserverteilung aufweist. Gerade in kleinen Räumen oder wie bei den hier durchgeführten Versuchen im Treppenraum kann nicht wie z.B. wie in größeren Bereichen davon ausgegangen werden, daß mehrere benachbarte Sprinkler auslösen und durch Überlagerung der Sprühkegel eine gleichmäßige Wasserverteilung erzielt wird.

8. Bei Verwendung thermischer Auslöseelemente ist nicht auszuschließen, daß diese verdeckte Brände nicht rechtzeitig erkennen sowie bei ungünstigen Ventilationsbedingungen vom Brand nicht ausreichend aufgeheizt werden und daher auf ein Brandereignis nur sehr verzögert ansprechen.

9. Bei verspäteter Auslösung ist insbesondere bei festen Brandstoffen, wie z.B. Holz und Möbeln nicht auszuschließen, daß der beim Löschen erzeugte Wasserdampf zu einer erheblichen Sichtbehinderung z.B. in einem Treppenraum führt. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die höchsten Maximalwerte der Extinktionskoeffizienten überwiegend dann auftreten, wenn das thermische Auslöseelement des Sprinklers sehr spät auslöst und der Brand hierdurch bereits eine relativ große Wärmefreisetzung aufweist. Dadurch haben die Brandgase und der Wasserdampf einen größeren thermischen Auftrieb und führen dementsprechend zum Verrauchen der oberen Stockwerke.

Auf eine Rauchabzugsanlage kann daher bei mehrgeschossigen Gebäuden nicht verzichtet werden.

Durch eine schnelle Auslösung der Löschanlage und frühzeitige Brandbekämpfung wird nicht nur die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang wesentlich verringert sondern auch die Bildung toxischer Brandgasbestandteile wesentlich vermindert.

Bei den Versuchen hat sich ebenfalls gezeigt, dass die Sichtbehinderung durch Wasserdampfbildung beim Löschvorgang mit dem Normalsprinkler größer als beim eingesetzten Wassernebel ist. Dies ergibt sich beim zugrundegelegten Brandszenario aus der effektiveren Brandbekämpfung durch den Wassernebel.

Der zulässige Extinktionskoeffizient von $0,15 \text{ m}^{-1}$ wurde jedoch sowohl bei Wassernebel als auch beim Sprinkler auf dem Podest der 2. und der 3. Etage und im Erdgeschoß des Versuchstreppenraumes beträchtlich überschritten. Dies hat zur Folge, daß bei höheren Gebäuden, trotz der im Vergleich zu einem Vollbrand auftretenden relativ unschädlichen Sauerstoff- und Brandgaskonzentrationen auf einen Rauchabzug nicht verzichtet werden kann um eine gefahrlose Evakuierung zu ermöglichen.

10. Natürlicher Rauchabzug ist bei geringer Thermik der Brandgase bzw. Abkühlung der Brandgase durch Löschwasser nicht in der Lage, schnell Rauchfreiheit zu gewährleisten.

Erst ein maschineller Rauchabzug (hier 10.000 m³/h im Normzustand) – oder auch Druckbelüftung im Zuge des Feuerwehreinsatzes - schafft hier Abhilfe.

11. Durch Einsatz der Löschanlage wird der Brandrauch abgekühlt. Natürlicher Rauchabzug ist dann unter den hier gegebenen Randbedingungen nicht mehr in der Lage, den Rauch wirksam abzuführen, wie oben bereits dargestellt. Dies bedeutet weiterhin, daß unterhalb des Brandentstehungsortes liegende Etagen sowohl durch den absinkenden gekühlten Rauch als auch durch die mehr oder weniger große Impulswirkung der Wassertropfen auf den Brandrauch erheblich verrauchen.

12. Eine genaue örtliche Detektierung des Brandes mit örtlich begrenzter und möglichst kleiner Löschsektion reduziert die Anforderungen an die Löschwasserbevorratung, und reduziert den Löschwasserverbrauch und -schaden beträchtlich.

13. Um die Gefahr einer Fehlauslösung einer durch Brandmelder aktivierten Löschanlage – wie hier der Niederdruck-Wassernebel-Löschanlage - zu reduzieren, ist eine logische UND-Verknüpfung zwischen zwei Auslöseelementen als Bedingung für das Aktivieren der Löschanlage empfehlenswert. In diesem Fall müßten beide Branddetektionseinrichtungen ansprechen, bevor der Wassernebel freigesetzt wird.

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

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

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

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

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

15. Bei den auf dem Podest der 1.Etage des Treppenraumes durchgeführten Brand- und Löschversuchen **mit** Windeinfluß ergeben sich folgende Löschwassermengen bei der jeweiligen Löschtechnik:

Niederdruck-Wassernebel: 218 l bis 296 l (Mittelwert aller Versuche: 257 l)

Normalsprinkler: 1.089 l bis 2.548 l (Mittelwert aller Versuche: 1.598 l)

16. Bei den auf dem Podest der 1.Etage des Treppenraumes durchgeführten Brand- und Löschversuchen ergeben sich folgende Löschwassermengen (**ohne** und **mit** Wind) bei der jeweiligen Löschtechnik:

Niederdruck-Wassernebel: 218 l bis 1.350 l (Mittelwert aller Versuche: 685 l)

Normalsprinkler: 473 l bis 2.645 l (Mittelwert aller Versuche: 1.500 l)

Hierdurch ergibt sich für die Wassernebel-Löschanlage auch beim Einsatz in Treppenträumen eine Löschwasserreduzierung von über 50 % gegenüber den mit einem Normalsprinkler durchgeführten Versuchen.

17. Generell kann bei den hier durchgeführten Versuchen festgestellt werden, daß mit und ohne Windeinfluß der Brand mit einer vertikal über der Brandlast angeordneten einzelnen Niederdruck-Wassernebeldüse mit ca. 300 l Wasser unter 30 Minuten gelöscht werden kann. Die Wassernebeldüse hatte hierbei die gleiche Position, an der auch der Normalsprinkler eingesetzt wurde. (=> Düse zentral über der Brandlast). Durch horizontal sprühende Wassernebelsprühköpfe ergaben sich weit höhere Löschwassermengen. Man erkennt an diesem Beispiel, daß bei optimal ausgelegter Wassernebellöschanlage der anlagentechnische Aufwand bedeutend reduziert werden kann. Eine große Anzahl von Sprühköpfen und Düsen wie in den Versuchen BMBF H5 und HTR1 zeigt, dass es durch diese sehr große Löschsektion zu einem bedeutenden Löschwasserschaden trotz der kurzen Löschezit kommt. Allerdings muß an dieser Stelle betont werden, dass dieses nicht verallgemeinert werden kann. Bei einer Lageranordnung zum Beispiel kann auf horizontal in das Lager sprühende Wassernebelsprühköpfe in vielen Fällen nicht verzichtet werden, um den auch gewünschten und insbesondere bei optimierter Wasserbeaufschlagung erforderlichen

Einhausungseffekt zu erzielen.

Beim Vergleich der Löschwassermengen zwischen Niederdruck-Wassernebel und Normal-Sprinkler kann jedoch eindeutig festgestellt werden, dass die erforderliche Löschwassermenge beim Wassernebel weitaus niedriger als beim Sprinkler ist.

Weiterhin kann man erkennen, dass selbst bei Windeinfluß auf die 1 m²-Öffnung der feine Wassernebel wesentlich günstigere Löscheigenschaften als der Normal-Sprinkler aufweist. Allerdings müsste der Einfluß von Ventilationsströmungen auf die Löschwirkung bei anderen Einsatzgebieten, z.B. Läger in großen Hallen, noch weiter untersucht werden.

18. Die Löschwassermenge ist relativ unabhängig von der Auslösezeit des Sprinklers. Es ergaben sich zum Teil durch längeren Einsatz bis zum vollständigen Ablöschen wesentlich höhere Löschwassermengen, obwohl der Sprinkler früher ausgelöst hatte.

Bei den Versuchen mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage betrug die maximale Zeit bis zum vollständigen Löschen des Brandes bei den Versuchen **ohne** Windeinfluß 25 min 7 s, bei den Sprinklerversuchen 40 min 5 s. Dies zeigt, dass bei der Wassernebellöschanlage bei diesem Brandszenario eine Löschwasserbevorratung für einen Zeitraum von 30 min ausreichend ist.

Bei den Versuchen mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage betrug die maximale Zeit bis zum vollständigen Löschen des Brandes bei den Versuchen **mit** Windeinfluß 22 min 17 s, bei den Sprinklerversuchen 38 min 36 s. Dies zeigt, dass man der Wassernebellöschanlage bei diesem Brandszenario eine Löschwasserbevorratung für ebenfalls 30 min, wie bei den Versuchen ohne Wind, ausreichend ist. Bei den Versuchen mit Sprinklern und Wind wurde die Löszeit von 30 Minuten in 2 Fällen überschritten. (Versuch SP10: 33 min 10 s, Versuch SP12: 38 min 36 s).

19. Im Hinblick auf den Personenschutz sollten die schneller auslösenden 3 mm-Glasfaßauslöseelemente statt verfügbarer 5 mm-Elemente eingesetzt werden. 3 mm-Glasfaßauslöseelemente lösten bei den Treppenraumversuchen im Durchschnitt ca. 3,5 Minuten schneller aus als 5 mm Elemente. Dünnere Glasfaßauslöseelemente wie die hier untersuchten Elemente mit einer Dicke von 1,5 mm) führten zu keiner Verbesserung des

Auslöseverhaltens. Diese Elemente haben in 2 von 3 Versuchen überhaupt nicht (nicht vor dem 3 mm Glasfaß-Sprinkler) ausgelöst.

20. Streulicht-Rauchmelder sind nach unserer auch mit diesem Versuchsprogramm bestätigten Versuchserfahrung aufgrund der sehr schnellen und relativ sicheren Auslösung für die Alarmierung im Hinblick auf den Personenschutz vorteilhaft. Problematisch kann die Branderkennung in einem Treppenraum bei Vorliegen einer "Stauzonenbildung" werden: Die Rauchgase können einen an der Decke des Treppenraumes installierten Brandmelder nicht erreichen. Daher sollte man in einem Treppenraum nicht nur einen Brandmelder an der Decke einsetzen; es wäre zunächst je ein Brandmelder an jeder Podestdecke im Treppenraum angebracht. Gegebenenfalls lässt sich dies auch aus wirtschaftlichen Gründen reduzieren bzw. optimieren; für die sichere Auslösung nur einzelner Löschdüsen ist jedoch die höhere räumliche Auflösung vorteilhaft. Die Ansprechzeiten des foto-elektronischen Rauchmelders in der 3. Etage des Treppenraumes variieren bei den verschiedenen auf dem Podest der 1. Etage durchgeführten Brand- und Löschversuchen zwischen 42 s (Versuch SP4) bis 2 min 35 s (Versuch SP1). Diese Streubreite resultierte daher, daß sich z.B. infolge von vorhergehenden Versuchen und wegen der Aufheizung des Treppenraumes durch die Beleuchtung warme Luft im Deckenbereich angestaut hatte. Hierdurch waren die relativ kalten Brandgase in der frühen Brandentwicklungsphase nur bedingt in der Lage, schnell aufzusteigen und den Rauchmelder auszulösen. Die Temperaturdifferenz zwischen der 3. und der 1. Etage betragen zum Zeitpunkt 0 bei Versuch SP4: 2°C, bei Versuch SP1: 1°C. Die entscheidende Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt der Auslösung des Rauchmelders beträgt bei Versuch SP4 nur 3°C, bei Versuch SP1 dagegen 22°C (siehe auch **Tabelle 2** sowie die diversen Diagramme zu den jeweiligen Versuchen). Dies zeigt, dass es bei Versuch SP1 viel wärmer im Deckenbereich war als bei Versuch SP4. Diese Versuche belegen auch die bekannten Effekte, wenn sich z.B. an einem heißen Sommertag der obere Bereich eines Treppenraumes aufheizt bzw. wenn zusätzlich Wind auf eine Rauchabzugsöffnung drückt und der Brandrauch nicht mehr abgeführt werden kann.

21. Die Rauchausbreitung durch bauliche Maßnahmen etwa durch rauchdichte und geschlossen gehaltene Türen zu verhindern, ist bei offenen und auch kleinräumigen Strukturen, wie man sie oft bei Wohnungsnutzungen vorfindet, kaum möglich. Bauliche und anlagentechnische Maßnahmen zur Rauchfreihaltung (NRA, MRA, Differenzdruckbelüftung) scheiden hier zumeist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch aus Gründen geringer Nutzerzahlen aus.

In größeren, vor allem in öffentlichen Gebäuden, werden hingegen meist Rauchabschnitte geschaffen, teilweise mit im Betrieb offengehaltenen Türen mit Freilaufschließern, die sich im Brandfall automatisch schließen. Während des Feuerwehreinsatzes lässt es sich jedoch häufig nicht vermeiden, weil derartige Türen im Zuge des vorgetragenen Löschangriffs für die Schlauchleitungen teilweise offen gehalten werden müssen und es deshalb dennoch zu einer Raucheinleitung in die Rettungswege kommt.

Eine Wasserlöschanlage stellt eine Alternative dar, um den Personen- und Sachschutz insbesondere bei höheren Gebäuden mit großen Nutzerzahlen zu gewährleisten.

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

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

24. Der Einfluß von an natürlichen Rauchabzugsöffnungen anstehendem Wind (hier: vertikal angeordnet) hat erheblichen Einfluß auf das Auslöseverhalten von thermischen Auslöseelementen (hier Glasfaßauslöseelemente), insbesondere wenn relativ kalte Luft eingeblasen wird und die Auslöseelemente dadurch gekühlt werden. Dies ist besonders im Winter der Fall.

25. Winddruck bewirkt bei vertikal angeordneten natürlichen Rauchabzugsöffnungen, dass der Rauch in untere Geschosse gedrückt wird. Dies zeigt, daß windrichtungsabhängige Öffnung der natürlichen Rauchabzugsöffnung und der Zuluftöffnung erforderlich ist. Da diese immer auf der dem Wind abgewandten Seite liegen müssen, ist der Einbau dieser Öffnungen jeweils in mindestens zwei gegenüberliegenden Gebäudewänden erforderlich.

Hierzu ist ein Windmeßgerät erforderlich, das die Windgeschwindigkeit und Windrichtung erfasst.

26. Die Löschanlage insbesondere mit thermischen Auslöseelementen muß vor der Rauchabzugsanlage ausgelöst werden, da sich sonst, insbesondere bei Windeinfluß auf vertikal angeordnete Rauchabzugsöffnungen, eine stark verzögerte Auslösung mit entsprechender größerer Brandentwicklung ergibt. Aufgrund der frühzeitigen Auslösung der Löschanlage wird die Entwicklung toxischer Brandgase wirksam bekämpft.

5. 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-Wasserebellöschanlage.
Forschungsbericht Nr. 135 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2004)
- [2] Kunkelmann J.: Entwicklung und Erprobung neuartiger Löschanlagen für den mehrgeschosigen Holzbau zur Brandbekämpfung und Fluchtwegsicherung.
Forschungsbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 0339852, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2001
- [3] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wasserebel-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 Wasserebellöschanlagen
- Experimentelle Untersuchungen (Versuchsaufbau: 4-geschossiger Treppenraum, Niederdruck-Wasserebellöschanlage)
Forschungsbericht Nr. 120 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2000)
- [4] Kunkelmann, J.: Einsatz von Wasserebel-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)
- [5] Roth, G.D.: Wetterkunde für alle.
BLV Verlagsgesellschaft, München, Wien, Zürich, 3. Auflage, 1977
- [6] 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
- [7] Deutscher Wetterdienst
Windstärken in Beaufort.
www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Schadensfall/Beaufortskala.htm

- [8] DIN 18232-5 Rauch- und Wärmefreihaltung.
Teil 5: Maschinelle Rauchabzugsanlagen (MRA)
Anforderungen , Bemessung
Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2003
- [9] Kraft, G.: Heizungs- und Raumluftechnik.
Band 1 Heizungstechnik, 1. Auflage
Verlag Technik, Berlin, München, 1992
- [10] Quenzel, K.-H. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen.
2. Auflage, Office 213 Verlag Berlin, 1996
- [11] FVLR Rauch- und Wärmeabzugsanlagen.
Heft 2, Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V., Detmold
- [12] FVLR, ZVEI Natürliche Entrauchung über Wände.
Heft 16, Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V. (FVLR), Det-
mold, Fachkreis elektromotorisch betriebene Rauch- u. Wärmeabzugsanla-
gen (ZVEI), Frankfurt am Main

6. 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 (ausgenommen Bereich der Holzdecke) und des Bodens:</i> 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 Rauhspund mit Nut und Feder (Breite: ca. 130 mm, 20 mm dick) • Treppen: Einläufige gegenläufige Treppen mit Podesten in den jeweiligen Geschosshöhen Treppenlauflänge: 3.650 mm Treppenlaufbreite: 1.050 mm Steigung: 175 mm Steigungen: 14 Treppenbauform: aufgesattelte Treppen mit <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 Rauhspund (Breite: 130 mm, 20 mm dick) • Treppenaue: 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 Trepperraum, Volumenstrom: 10.000 m³/h im Normzustand (Spülluftmenge für innenliegenden Treppenraum) • Winderzeugung: Axialventilator, D=500 mm, n=2.900 min⁻¹, 7,5 kW (ca. 20.000 m³/h, keine Temperaturangabe des Herstellers) in ca. 10 m Höhe auf die 1 m²-Öffnung gerichtet

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

Brandmelder	foto-elektronischer Rauchmelder Positionen: - zentral an der Decke im Brandraum neben dem Sprühkopf bzw. in 1 m Abstand vom Sprühkopf (Br) - zentral unter dem Podest der 3. Etage bei Sprinkler Sp5 (BrTr1) - zentral im 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 Sprühdruckes in Brand- und Treppenraum (Piezoresistive Druckmeßumformer) • Dynamischer Druck der Luft bzw. der Brandgase (=> Luft- bzw. Brandgasgeschwindigkeit) an den Türöffnungen Brandraum/Treppenraum und Versuchshalle/Treppenraum, im Treppenaug, am natürlichen Rauchabzug (1m²-Öffnung), im Ansaugstutzen des maschinellen Rauchabzuges (Prandtl-Staurohre bzw. bidirektionale Strömungsmesssonden) • Strömungsgeschwindigkeit an 1 m²-Öffnung in 3. Etage (Flügelradanemometer) • Abbrandmasse, Abbrandrate, Wärmefreisetzung im Brandraum (Abbrandwaage) • Optische Rauchdichte auf dem Podest der 2. und 3. Etage in 1,5 m Höhe (Maurer-Lichtmeßgeräte) • Brandgasanalyse (kontinuierliche Gasanalysatoren): Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid im Brandraum (zentral, 1,5 m Höhe: O₂, CO₂, CO) und Treppenraum (zentral im Treppenraum auf halber Höhe der 3. Etage: O₂, CO₂, CO) sowie zentral im Treppenraum auf halber Treppenraumhöhe (CO₂) • Meßdatenerfassung und -auswertung mittels PC
Kamera- und Videotechnik	Farbvideokameras: Positionen: - Holzrahmenbauwand des Brandraumes - seitliches Beobachtungsfenster am Treppenraum (Erdgeschoß) - Eingangstür zum Treppenraum (Erdgeschoß) - Beobachtungsfenster 1. Etage – Podest - Beobachtungsfenster 2. Etage – Podest - Beobachtungsfenster 3. Etage – Podest - 1 m ² -Öffnung (3. Etage) Fotoaufnahmen

Tabelle 2: Brand- und Löschversuche – detaillierte Gesamtübersicht

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche					
Brand- und Löschversuche mit Niederdruck-Wassernebel	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brandmelder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch HTR8 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Wasserebellöschanlage im Treppenraum: 1 Wasserebelsprühkopf mit 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 84°C (9 min 12 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,7 Vol.% (11 min 40 s)</p> <p>CO_{max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 7.500 ppm (12 min 10 s)</p>	<p>BrTr1 47 s</p> <p>BrTr2 60 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 3°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2,2E}= 84°C 9 min 12 s</p>	<p>ca. 4 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Indikator-sprinkler SP5* 9 min 12 s</p> <p>gesamt: 16min 48s: ca. 218 l</p> <p>0,30 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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 BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 5 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (5 min 30 s) $\sigma_{max}=0,77 \text{ m}^{-1}$ (11 min 30 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 40 s) $\sigma_{max}=1,07 \text{ m}^{-1}$ (11 min)</p>
<p>Versuch HTR9 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Wasserebellöschanlage im Treppenraum: 1 Wasserebelsprühkopf mit 1 offenen Dralldüse (Zentraldüse) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 80°C (2 min 33 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 20,3 Vol.% (4 min 10 s)</p> <p>CO_{max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 2.400 ppm (5 min)</p>	<p>BrTr1 36 s</p> <p>BrTr2 1min 20 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 8°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) T_{2,2E}= 80°C 2 min 33 s</p>	<p>ca. 4 bar ca. 13 l/min</p> <p>Löschbeginn: nach Indikator-sprinkler SP5* 2 min 33 s</p> <p>gesamt: 22min 17s: ca. 296 l</p> <p>0,30 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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: 2 min 39 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s) $\sigma_{max}=0,26 \text{ m}^{-1}$ (12 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s) $\sigma_{max}=0,31 \text{ m}^{-1}$ (11 min 50 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Sprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [T] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchzug im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung mit Windeinfluß Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP5 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 121°C (2 min 34 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,9 Vol.% (4 min)</p> <p>CO_{2,max}: 170 ppm (3 min 30 s)</p> <p>CO_{2,max}: 6350 ppm (4 min 50 s)</p>	<p>BrTr1 49 s</p> <p>BrTr2 1 min 28 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenrauge: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd) dT_{7,1E}: t=0 min: ca. 0°C; t_{BrTr2}: ca. 14°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}, keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}, T_{2,2E}= 93°C 2 min 2 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 2 min 34 s T_{2,2E}= 121°C</p> <p>gesamt: 16min 30s: ca. 1089 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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 Windtemperatur: ca. 25°C</p> <p>Öffnung nach BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 38 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 10 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,32 \text{ m}^{-1}$ (2 min 40 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (1 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,58 \text{ m}^{-1}$ (3 min 10 s)</p>
<p>Versuch SP6 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 100°C (7 min 38 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,5 Vol.% (10 min)</p> <p>CO_{2,max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 9500 ppm (10 min)</p>	<p>BrTr1 55 s</p> <p>BrTr2 1 min 42 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenrauge: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd) dT_{7,1E}: t=0 min: ca. 1°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>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}, T_{2,2E}= 81°C 5 min 36 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 7 min 38 s T_{2,2E}= 100°C</p> <p>gesamt: 27min 2s: ca. 1784 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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 Windtemperatur: ca. 22°C</p> <p>Öffnung nach Löschbeginn: 7 min 46 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 30 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,71 \text{ m}^{-1}$ (7 min 40 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (4 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=1,2 \text{ m}^{-1}$ (8 min 30 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Sprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP7 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=97^{\circ}\text{C}$ (11 min 23 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}: 19,3 \text{ Vol.}\%$ (13 min 20 s)</p> <p>$CO_{max}: 0 \text{ ppm}$</p> <p>$CO_{2,max}: 9800 \text{ ppm}$ (13 min 40 s)</p>	<p>BrTr1 23 s</p> <p>BrTr2 1 min 52 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $dT_{7,1E}$): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 10°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) $T_{2,2E}=84^{\circ}\text{C}$ 3 min 41 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 11 min 23 s $T_{2,2E}=97^{\circ}\text{C}$</p> <p>gesamt: 16min 47s: ca. 1108 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich Wind: ca. + 0,6 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe Windtemperatur: ca. 16°C</p> <p>Öffnung nach BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 59 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min 10 s)</p> <p>$\sigma_{max}=1,5 \text{ m}^{-1}$ (12 min 10 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 40 s)</p> <p>$\sigma_{max}=2,97 \text{ m}^{-1}$ (12 min 40 s)</p>
<p>Versuch SP8 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=87^{\circ}\text{C}$ (8 min 48 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}: 19,0 \text{ Vol.}\%$ (10 min 30 s)</p> <p>$CO_{max}: 0 \text{ ppm}$</p> <p>$CO_{2,max}: 14400 \text{ ppm}$ (10 min 30 s)</p>	<p>BrTr1 50 s</p> <p>BrTr2 1 min 30 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.($T_{7,3E}$) – 1.Et.(Brandherd $dT_{7,1E}$): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 8°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) $T_{2,2E}=87^{\circ}\text{C}$ 3 min 11 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 5 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 8 min 48 s $T_{2,2E}=87^{\circ}\text{C}$</p> <p>gesamt: 19min 32s: ca. 1289 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich Wind: ca. + 0,6 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe Windtemperatur: ca. 17°C</p> <p>Öffnung nach Löschbeginn: 8 min 58 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=1,91 \text{ m}^{-1}$ (8 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=2,79 \text{ m}^{-1}$ (10 min 10 s)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Sprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löschzeit und Löschwassermenge bis zum Löschen des Brandes - Volumetrische Wasserbeaufschlagung (Bezugsvolumen B)	Rauchabzug im Treppenraum Zulässiger ($\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$) u. maximaler (σ_{max}) Extinktionskoeffizient
Vertikale Sprühhichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p style="text-align: center;">Versuch SP9</p> <p style="text-align: center;">Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer)</p> <p>Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkantrohler zur Unterstützung (ca. 0,9 kg)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=91^{\circ}\text{C}$ (10 min 51 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}=18,5$ Vol. % (13 min 10 s)</p> <p>$CO_{max}=70$ ppm (13 min 50 s)</p> <p>$CO_{2,max}=12200$ ppm (13 min)</p>	<p>BrTr1 1 min 2 s</p> <p>BrTr2 1 min 51 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenraum: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 7°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 1,5 mm, 68°C, RTI= ca. 16 (ms)^{1/2}) $T_{2,2E}=78^{\circ}\text{C}$ 8 min 9 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 10 min 51 s $T_{2,2E}=91^{\circ}\text{C}$</p> <p>gesamt: 18min 29s: ca. 1220 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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 Windtemperatur: ca. 17°C</p> <p>Öffnung nach BrTr2, vor Löschbeginn: 1 min 59 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (6 min 40 s)</p> <p>$\sigma_{max}=1,33 \text{ m}^{-1}$ (11 min 20 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (6 min)</p> <p>$\sigma_{max}=2,54 \text{ m}^{-1}$ (12 min)</p>
<p style="text-align: center;">Versuch SP10</p> <p style="text-align: center;">Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer)</p> <p>Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkantrohler zur Unterstützung (ca. 0,9 kg)</p> <p>Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: auf * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes)</p> <p>Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): $T_{2,2E}=100^{\circ}\text{C}$ (3 min 50 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: $O_{2,min}=19,7$ Vol. % (7 min 10 s)</p> <p>$CO_{max}=0$ ppm</p> <p>$CO_{2,max}=6000$ ppm (7 min 30 s)</p>	<p>BrTr1 38 s</p> <p>BrTr2 1 min 4 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenraum: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 5°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) $T_{2,2E}=90^{\circ}\text{C}$ 3 min 23 s</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 100 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 3 min 50 s $T_{2,2E}=100^{\circ}\text{C}$</p> <p>gesamt: 33min 10s: ca. 2189 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/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 Windtemperatur: ca. 18°C</p> <p>Öffnung nach Löschbeginn: 3 min 55 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min)</p> <p>$\sigma_{max}=0,36 \text{ m}^{-1}$ (10 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (3 min)</p> <p>$\sigma_{max}=1,01 \text{ m}^{-1}$ (5 min)</p>

Zu Tabelle 2: Brand- und Löschversuche

Brand- und Löschversuche mit Sprinkler	Maximale Temperatur Min. O ₂ -, max. CO- u. CO ₂ -Konzentration im Treppenraum	Brand-Melder Treppenraum [Tr] (fotoelektr. Rauchmelder)	Indikatorsprinkler im Treppenraum Auslösezeitpunkte u. -temperaturen	Löschanlage - Betriebsbedingungen - Auslösezeitpunkt - Löszeit 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 Sprühhichtung mit Windeinfluß					
Versuche mit festen Brandstoffen					
<p>Versuch SP11 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 80°C (3 min 35 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,8 Vol.% (6 min 20s)</p> <p>CO_{max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 5000 ppm (6 min 10 s)</p>	<p>BrTr1 1 min 31 s</p> <p>BrTr2 2 min 1 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 1°C; t_{BrTr2}: ca. 10°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 1,5 mm, 68°C, RTI= ca. 16 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 3 min 35 s T_{2,2E}= 80°C</p> <p>gesamt: 23min 35s: ca. 1557 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich Wind: ca. 0,6 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe Windtemperatur: ca. 17°C</p> <p>Öffnung nach BrTr2, vor Löschbeginn: 2 min 11 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 50 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,37 \text{ m}^{-1}$ (4 min 50 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 30 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,78 \text{ m}^{-1}$ (5 min 20 s)</p>
<p>Versuch SP12 Brand im Treppenraum (Podest 1. Etage, am Geländer) Brandlast: Stapelbehälter aus Polypropylen (Wände und Boden geschlossen, ca. 2 kg), Zündwanne mit 0,5 l Heptan, 1 Paket Babywindeln (in Schrumpffolie, ca. 2,8 kg) schräg über der Zündwanne gekippt und am Geländer abgestützt, 2 Vierkanthölzer zur Unterstützung (ca. 0,9 kg) Türen: * Halle>Brandraum: zu * Halle>Treppenraum: zu * Brandraum>Treppenraum: auf mit Vorhang (vollständig, unterhalb des Oberlichtes) Sprinkleranlage im Treppenraum: 1 Normalsprinkler (hängend) zentral unter dem Podest der 3. Etage</p>	<p>unter Podest d. 3. Etage (Sp5): T_{2,2E}= 89°C (2 min 44 s)</p> <p>Mitte 3. Etage: O_{2,min}: 19,9 Vol.% (7 min 50 s)</p> <p>CO_{max}: 0 ppm</p> <p>CO_{2,max}: 5200 ppm (8 min)</p>	<p>BrTr1 31 s</p> <p>BrTr2 1 min 3 s</p> <p>Temp.differenz im Treppenaug: 3.Et.(T_{7,3E}) – 1.Et.(Brandherd T_{7,1E}): t=0 min: ca. 2°C; t_{BrTr2}: ca. 5°C</p>	<p>Sp2, Sp3, Sp4: (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p> <p>SP5* (Glasfaß: 1,5 mm, 68°C, RTI= ca. 16 (ms)^{1/2}) keine Auslösung</p>	<p>Sp5 (Glasfaß: 3 mm, 68°C, RTI= ca. 50 (ms)^{1/2}) ca. 66 l/min (ca. 0,7 bar)</p> <p>Löschbeginn: 2 min 44 s T_{2,2E}= 89°C</p> <p>gesamt: 38min 36s: ca. 2548 l</p> <p>1,52 l/m³ * min (halbe Treppenraumlänge: (6,41m/2)m * Treppenraumbreite: 2,71m * Höhe zwischen übereinanderliegenden Podesten: 5 m B = 43,4 m³)</p>	<p>Natürlich Wind: ca. 0,6 m/s (Mittelwert) an 1 m²-Öffnung in 3.Etage über Kopfhöhe Windtemperatur: ca. 17°C</p> <p>Öffnung nach Löschbeginn: 2 min 51 s</p> <p>Podest 2. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=0,92 \text{ m}^{-1}$ (5 min 10 s)</p> <p>Podest 3. Etage $\sigma_{zul}=0,15 \text{ m}^{-1}$ (2 min 20 s)</p> <p>$\sigma_{max}=1,15 \text{ m}^{-1}$ (7 min 30 s)</p>

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

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug			Extinktionskoeffizient m^{-1}				Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge		
		1. Tür in den Brandraum 2. Zwischentür 3. Tür in den Treppenraum	Sonstige Öffnungen im Treppenraum (Türen, Fenster)	natürlich (1 m ² Öffnung) Beginn	maschinell (10.000 m ² /h im Normzustand) Beginn	vor Löschbeginn u. nach BrTr2 / nach Löschbeginn	Podest 2. Etage	Podest 3. Etage	1 min	2 min		3 min	4 min		5 min	6 min	BrTr1 (unter 3. Podest)
	1. Podest am Gebäudeländer																
Niederdruck-Wassernebellöschanlage																	
Ohne Windeinfluß																	
BMBF H5 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 1min 13s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	1 min 4 s	3,1m ⁻¹ 7 min 10 s	1 min 4 s	2,81m ⁻¹ 6 min 50 s	nein	nein	58 s	keine Auslösung (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100m ^{1/2} s ^{1/2}) 43°C (1min 4s)	58 s 1314 l	-	
HTR1 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 3min 22s	ja 9 min 59 s	nach Löschbeg., nach BrTr2	2 min	0,61m ⁻¹ 4 min 50 s	2 min 15 s	0,7m ⁻¹ 4 min	nein	nein	1 min 22 s	1 min 53 s (ca. 75°C) 98°C (2min 40s)	2 min 47 s (absichtlich verspätet) 1350 l	-	
HTR21 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 58 s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	nicht übers.	0,15m ⁻¹ 5 min	nicht übers.	0,04 m ⁻¹ 1 min 30 s	nein	nein	44 s	keine Auslösung 31°C (50s)	47 s 992 l	-	
HTR22 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 1min 4 s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 50 s	0,48m ⁻¹ 15 min 20 s	11 min 45 s	0,32m ⁻¹ 15 min 40 s	nein	nein	48 s	keine Auslösung 28°C (1min)	50 s 738 l	-	
HTR3 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 4min 32s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	5 min 30 s	0,33m ⁻¹ 9 min 20 s	6 min 40 s	0,3m ⁻¹ 12 min 40 s	nein	nein	2 min 5 s	keine Auslösung 45°C (2min)	2 min 5 s 697 l	-	
HTR4 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 2min 21s	ja 14 min	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 20 s	0,54m ⁻¹ 11 min	5 min	0,41m ⁻¹ 14 min	nein	nein	2 min	keine Auslösung 44°C (2min)	2 min 3 s 260 l	-	
HTR5 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 1min 25s	ja 17 min	nach Löschbeg., nach BrTr2	3 min 50 s	0,78m ⁻¹ 16 min 50 s	3 min 50 s	0,73m ⁻¹ 18 min	nein	nein	45 s	keine Auslösung 32°C (50s)	52 s 636 l	-	
HTR6 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 1min 54s	nein	nach Löschbeg., nach BrTr2	3 min	0,62m ⁻¹ 13 min 40 s	3 min 10 s	0,48m ⁻¹ 14 min 50 s	nein	nein	1 min 29 s	keine Auslösung 48°C (1min 40s)	1 min 35 s 709 l	-	
HTR7 (AGF129)	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 2min 39s	ja 28 min 23 s	nach Löschbeg., nach BrTr2	4 min 20 s	0,87m ⁻¹ 19 min 30 s	kein Meßw.	kein Meßw.	nein	nein	2 min 17 s	keine Auslösung 50°C (5min)	2 min 23 s 327 l	-	

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

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug		Extinktionskoeffizient m^{-1}		Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge		
		1. Tür in den Brandraum 2. a. auf 3. auf	Sonstige Öffnungen im Treppenraum (Türen, Fenster)	natürlich (1 m ² -Öffnung) Beginn	maschinell (10.000 m ³ /h im Normzustand) Beginn	vor Löschanfang u. nach BrTr2 / nach Löschanfang	Podest 2. Etage		Podest 3. Etage	BrTr1 (unter 3. Podest)		BrTr2 (unter dem Dach)	Sp5* (68°C, Glas: 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) bzw. 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage (T _{2,2E}))	Sprinkler Sp5 (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100 m ^{1/2} s ^{1/2}) bzw. 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage (T _{2,2E}))
	1. Podest am Ge-länder					0,15 m ⁻¹ über-schritten	Max.	ca. 3 m/s an 1 m ² -Öffnung bei offe-ner Trepp-enraum-tür						
Sprinkleranlage (Normalsprinkler)														
Ohne Windeinfluß														
SP1	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 4min 16 s	nein	nach Löschanfang	0,88m ⁻¹ 2 min 50 s	1,49m ⁻¹ 6 min 20 s	nein	1min 13s	2 min 35 s	3min 10 s 90°C	-	4min 10 s 107°C 1100 l
SP2	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	ja 1min 32 s	nein	vor Löschanfang, nach BrTr2	1,22m ⁻¹ 2 min 20 s	2,50m ⁻¹ 11 min 30 s	nein	24 s	1 min 30 s	2 min 22 s 82°C	-	9 min 24 s 99°C 473 l
SP3	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	nein	ja 1min 42 s	vor Löschanfang, nach BrTr2	0,99m ⁻¹ 7 min 20 s	1,41m ⁻¹ 10 min 30 s	nein	32 s	1 min 40 s	3 min 21 s 73°C	-	9 min 25 s 86°C 1375 l
SP4	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	nein	ja 6min 4 s	nach Löschanfang	1,10m ⁻¹ 3 min 10 s	1,50m ⁻¹ 6 min 50 s	nein	31 s	42 s	3 min 18 s 93°C	-	6 min 2 s 94°C 1320 l
SP13	ja	1. zu 2. auf 3. zu	nein	ja 6min 5s	nein	nach Löschanfang	1,37m ⁻¹ 2 min 40 s	1,64m ⁻¹ 12 min 50 s	nein	1min 25 s	1 min 48 s	2 min 54 s 88°C	-	5 min 55 s 93°C 2645 l
SP14	ja	1. zu 2. auf 3. zu	nein	ja 1min 52 s	nein	vor Löschanfang	1,24m ⁻¹ 2 min 10 s	1,30m ⁻¹ 8 min 10 s	nein	1min 28 s	1 min 41 s	2 min 40 s 79°C	-	3 min 22 s 99°C 1350 l

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

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug		Extinktionskoeffizient m^{-1}		Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge
	1. Podest am Geländer	1. Tür in den Brandraum 2. Zwischentür 3. Tür in den Treppenraum	Sonstige Öffnungen im Treppenraum (Türen, Fenster)	natürlich (1 m ² -Öffnung) Beginn	maschinell (10.000 m ³ /h im Normzustand) Beginn	vor Löschanfang u. nach BrTr2 / nach Löschanfang	Podest 2. Etage	Podest 3. Etage	ca. 3 m/s an 1 m ² -Öffnung bei offener Treppenraumtür	BrTr1 (unter 3. Podest)	Sp5* (68°C, Glas: 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage) (T _{2,2E})	Niederdruck-Wasserebellöschanlage Sprinkler Sp5 (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100 m ^{1/2} s ^{1/2} bzw. 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage) (T _{2,2E})
Niederdruck-Wasserebellöschanlage												
Mit Windeinfluß												
HTR8	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 1min 5s	nein	vor Löschanfang, nach BrTr2	0,77m ⁻¹ 11 min 30 s	1,07m ⁻¹ 11 min 40 s	ja ca. 3m/s	47 s	84°C (9min 12s)	9 min 12 s 218 l
HTR9	ja	1. zu 2. auf 3. auf	nein	Ja 2min 39s	nein	nach Löschanfang	0,26m ⁻¹ 12 min 20 s	0,31m ⁻¹ 11 min 50 s	ja ca. 3m/s	36 s	80°C (2min 33s)	2 min 33 s 296 l

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

Vers.	Brandlast	Ventilationsbedingungen		Rauchabzug		Extinktionskoeffizient m^{-1}		Windeinfluß	Auslösung der fotoelektron. Rauchmelder		Indikator-sprinkler	Auslösezeitpunkt der Löschanlage u. Löschwasser-menge
		1. Tür in den Brandraum. 2. Zwischenschür den Treppenraum 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	Podest 2. Etage	Podest 3. Etage		BrTr1 (unter 3. Podest)	BrTr2 (unter dem Dach)		
	1. Podest am Geländer					0,15 m ⁻¹ überschritten	0,15 m ⁻¹ überschritten	ca. 3 m/s an 1 m ² -Öffnung bei offener Treppenraumtür, ca. 0,6 m/s bei geschlossener Treppenraumtür	BrTr1 (unter 3. Podest)	Sp5* (68°C, Glas: 3 mm, RTI=ca. 50m ^{1/2} s ^{1/2} bzw. 1,5 mm, RTI=ca. 16 m ^{1/2} s ^{1/2} Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage (T _{2,2E}))	Niederdruck-Wassernebel	Sprinkler Sp5 (68°C, Glas: 5 mm, RTI=ca. 100 m ^{1/2} s ^{1/2} bzw. 3 mm, RTI=ca. 50 m ^{1/2} s ^{1/2}) Max. Temp. im Treppenraum (unter Podest der 3. Etage (T _{2,2E}))

Sprinkleranlage

Mit Windeinfluß

	1. zu	2. auf	3. auf	nein	ja	nein	vor Lösch., nach BrTr2	2 min 10 s	0,32m ⁻¹ 2 min 40 s	1 min 50 s	0,58m ⁻¹ 3 min 10 s	ja	49 s	1 min 28 s	2 min 2 s 93°C	2 min 34 s 121°C 1089 l
SP5	1. zu	2. auf	3. auf	nein	ja	nein	vor Lösch., nach BrTr2	2 min 10 s	0,32m ⁻¹ 2 min 40 s	1 min 50 s	0,58m ⁻¹ 3 min 10 s	ja	49 s	1 min 28 s	2 min 2 s 93°C	2 min 34 s 121°C 1089 l
SP6	1. zu	2. auf	3. auf	nein	ja	nein	nach Lösch.	4 min 30 s	0,71m ⁻¹ 7 min 40 s	4 min 20 s	1,2m ⁻¹ 8 min 30 s	ja	55 s	1 min 42 s	5 min 36 s 81°C	7 min 38 s 100°C 1784 l
SP7	1. zu	2. auf	3. zu	nein	ja	nein	vor Lösch., nach BrTr2	3 min 10 s	1,5m ⁻¹ 12 min 10 s	2 min 40 s	2,97m ⁻¹ 12 min 40 s	ja	23 s	1 min 52 s	3 min 41 s 84°C	11 min 23 s 97°C 1108 l
SP8	1. zu	2. auf	3. zu	nein	ja	nein	nach Lösch.	2 min 20 s	1,91m ⁻¹ 8 min 50 s	2 min 20 s	2,79m ⁻¹ 10 min 10 s	ja	50 s	1 min 30 s	3 min 11 s 87°C	8 min 48 s 87°C 1289 l
SP9	1. zu	2. auf	3. auf	nein	ja	nein	vor Lösch., nach BrTr2	6 min 40 s	1,33m ⁻¹ 11 min 20 s	6 min	2,54m ⁻¹ 12 min	ja	1min 2 s	1 min 51 s	1,5 mm 8 min 9 s 78°C	3 mm 10 min 51 s 91°C 1220 l
SP10	1. zu	2. auf	3. auf	nein	ja	nein	nach Lösch.	3 min	0,36m ⁻¹ 10 min 50 s	3 min	1,01m ⁻¹ 5 min	ja	38 s	1 min 4 s	3 min 23 s 90°C	3 mm 3 min 50 s 100°C 2189 l
SP11	1. zu	2. auf	3. zu	nein	ja	nein	vor Lösch., nach BrTr2	2 min 50 s	0,37m ⁻¹ 4 min 50 s	2 min 30 s	0,78m ⁻¹ 5 min 20 s	ja	1min 31 s	2 min 1 s	1,5 mm keine Auslösung	3 mm 3 min 35 s 80°C 1557 l
SP12	1. zu	2. auf	3. zu	nein	ja	nein	nach Lösch.	2 min 20 s	0,92m ⁻¹ 5 min 10 s	2 min 20 s	1,15m ⁻¹ 7 min 30 s	ja	31 s	1 min 3 s	1,5 mm keine Auslösung	3mm 2 min 44 s 89°C 2548 l

7. BILDER

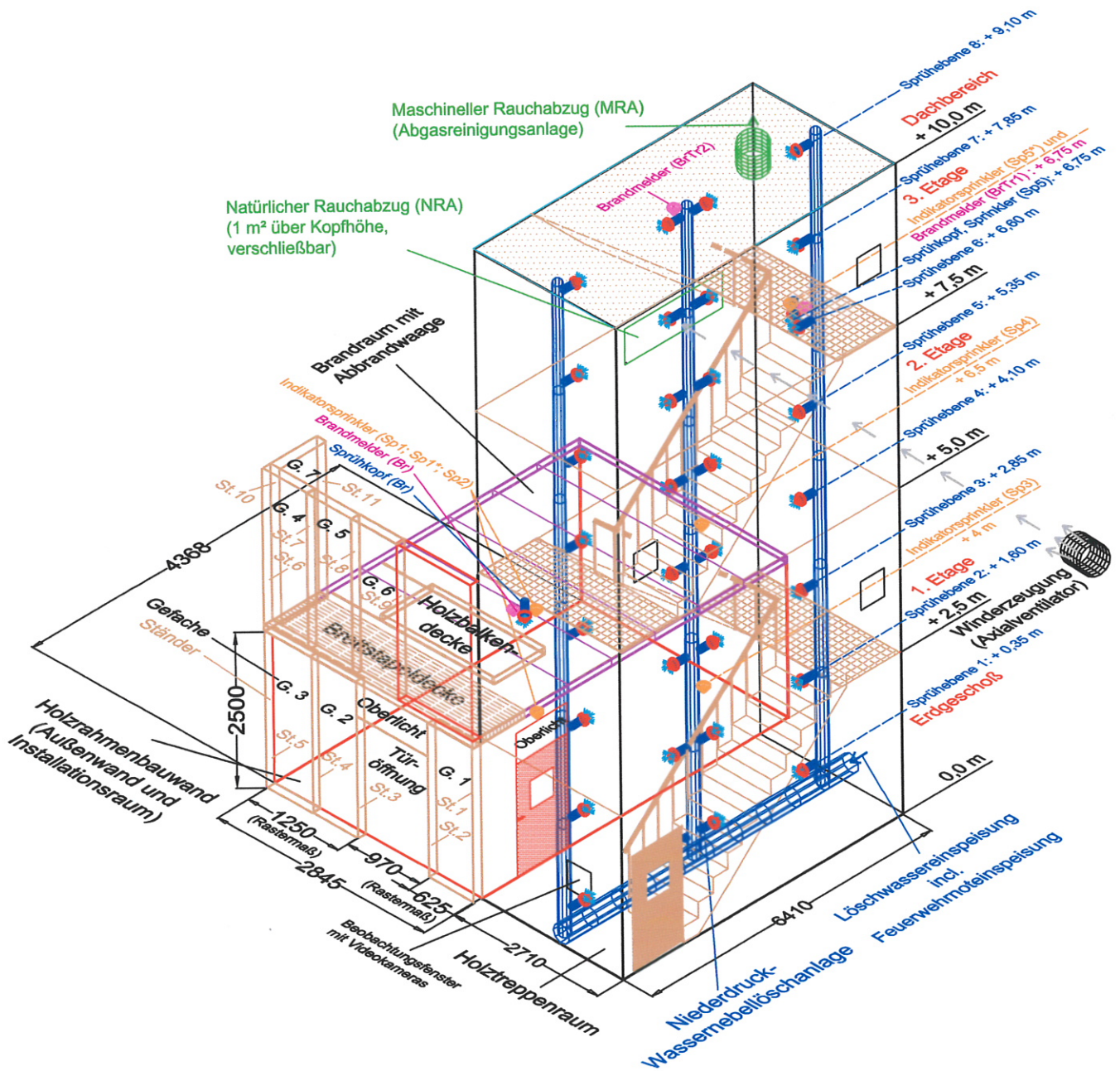


Bild 1.1: Aufbau des Versuchsholzgebäudes (Konstruktionszeichnung).

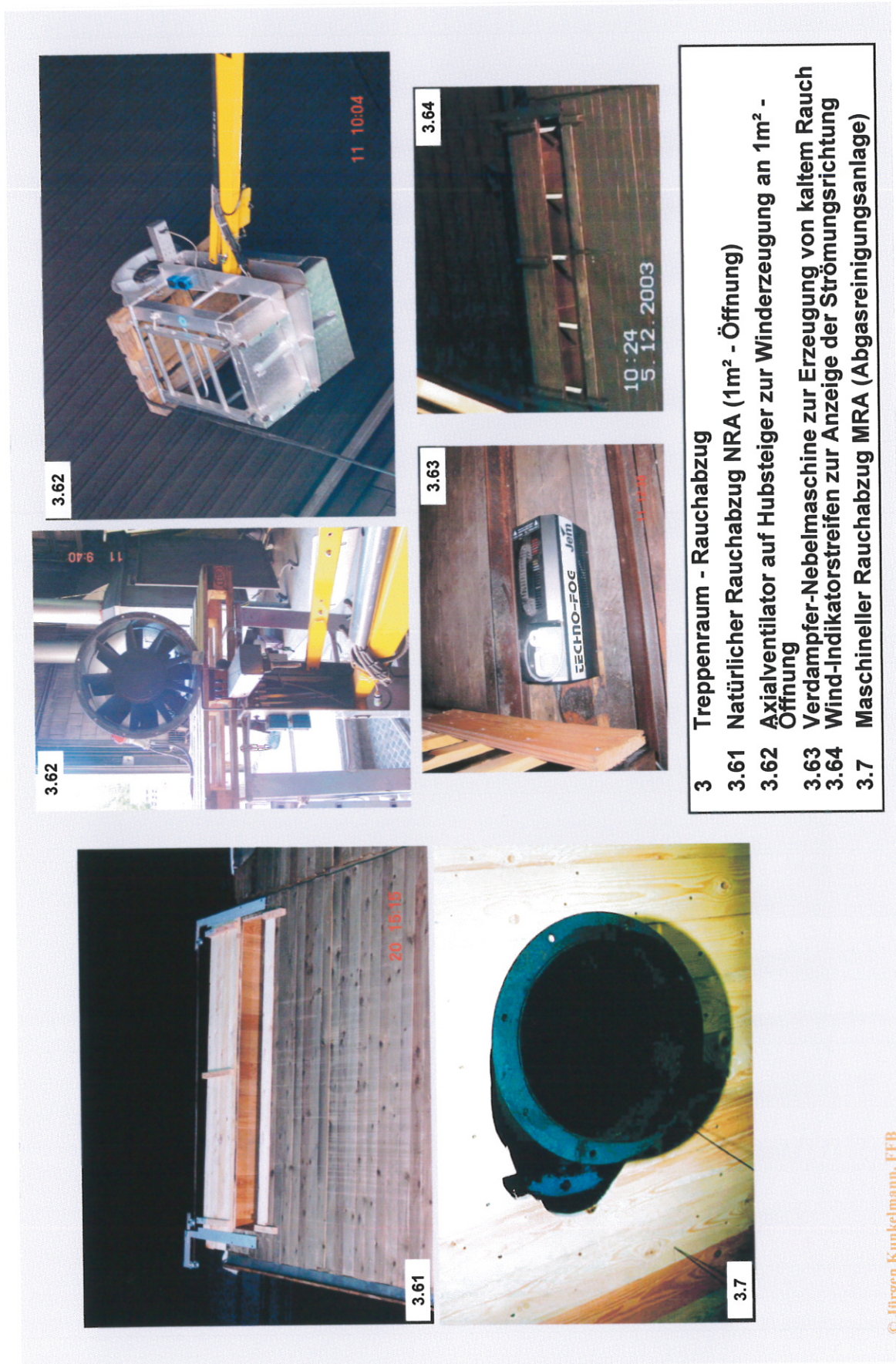


Bild 1.2: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Gesamtansicht und Brandraum



© Jürgen Kunkelmann, FFB

Bild 1.3: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Treppenraum



© Jürgen Kunkelmann, FFB

Bild 1.4: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Rauchabzug, Winderzeugung, Verdampfer Nebelmaschine

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 (1 l) auf 3 Pastenbrennern, 2 Vierkanthölzer (ca. 0,8 kg)

Bild 1.5: Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage.



Bild 1.6: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meßtechnik



4.6



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



4.7

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

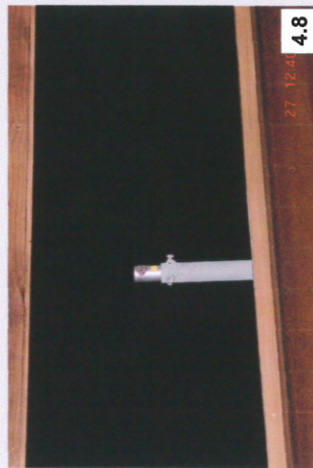


4.9

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 Auslöszeitpunkte der Indikatorsprinkler



4.8



4.10

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



- 4.11 Bidirektionale Strömungsmesssonden
- 4.11.1 Türöffnung in den Treppen- und Brandraum
- 4.11.2 Treppenaug
- 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 1.8: Versuchsholzgebäude mit Niederdruck-Wassernebellöschanlage in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Meß- und Videotechnik

**Einfluß von Wind auf den natürlichen Rauchabzug
(1 m²- Öffnung, Bewegung der Indikatorstreifen)**



ohne Windeinfluß



Mit Windeinfluß
Treppenraumtür geöffnet
mittlere Geschwindigkeit an der
Öffnung: ca. 3 m/s



Mit Windeinfluß
Treppenraumtür geschlossen
mittlere Geschwindigkeit an der
Öffnung: ca. 0,6 m/s

Bild 2: Bewegung der Indikatorstreifen an der 1 m²-Öffnung unter Windeinfluß.

Versuch HTR8: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden

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



1.1



1.2



1.3



Vertikaler Wassernebel-Sprühkopf mit 1 Zentraldüse

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

Fotoelektronischer Rauchmelder

unter Podest 3



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

© Jürgen Kunkelmann, FFB

Bild 3.1: Versuch HTR8 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

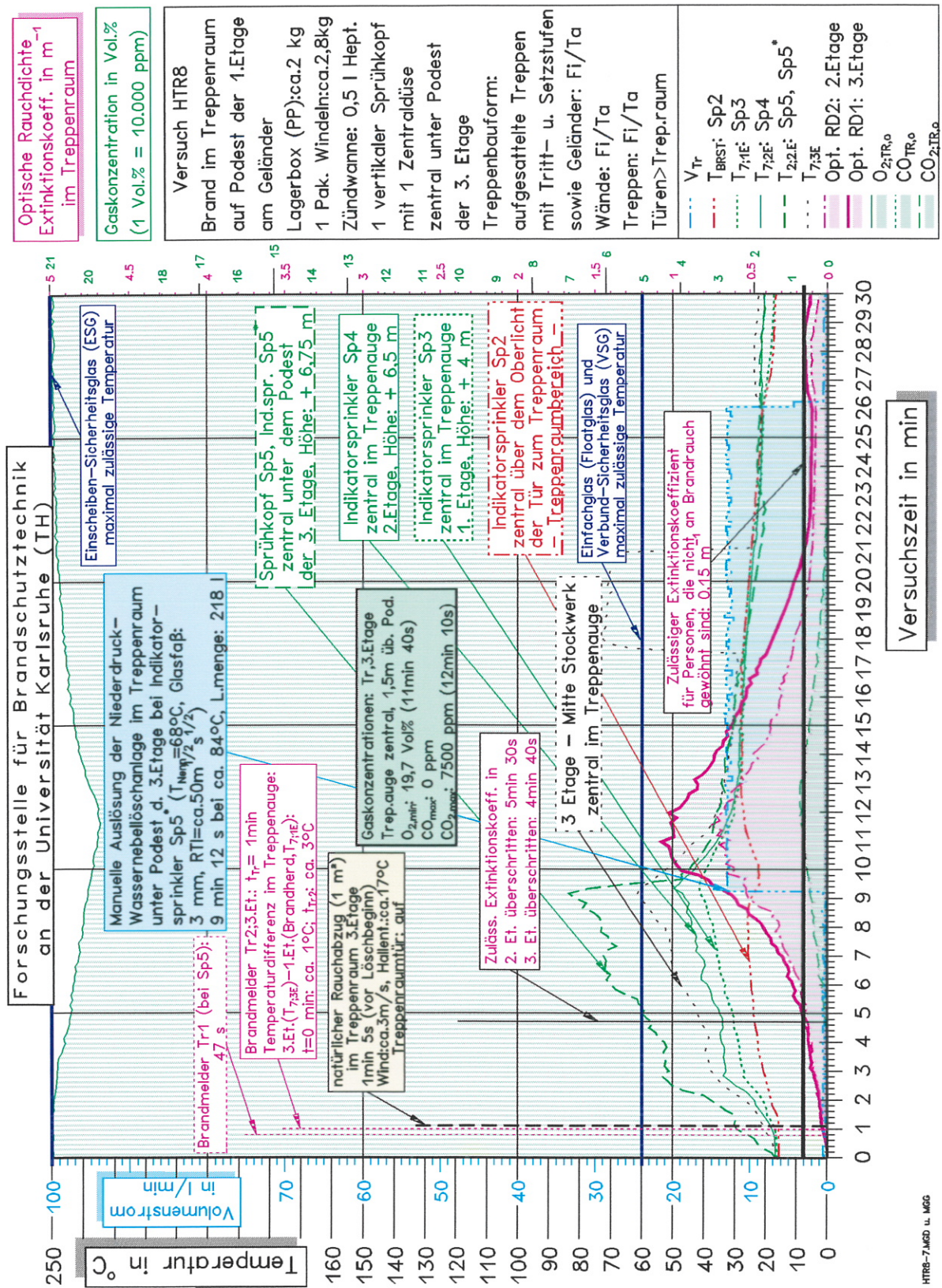


Bild 3.2: Versuch HTR8 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brauchdichte (Extinktionskoeffizient), O_2 -, CO_2 - und CO -Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch HTR8: Brandgröße bei Löschbeginn

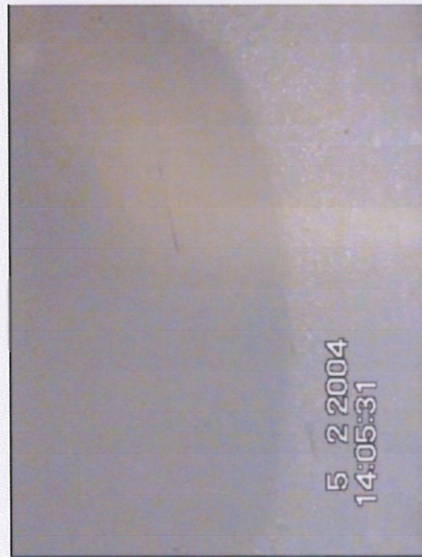


Bild 3.3: Versuch HTR8 – Brandgröße bei Löschbeginn.

Versuch HTR8: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient) im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



**Erdgeschoß und 1. Podest
13 min**



**2. Podest
11 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 0,77 \text{ m}^{-1}$**



**3. Podest
11 min
 $\sigma_{\max} = 1,07 \text{ m}^{-1}$**

Bild 3.4: Versuch HTR8 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch HTR9: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Vertikaler Wassernebel-Sprühkopf mit 1 Zentraldüse

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

Fotoelektronischer Rauchmelder

unter Podest 3



1.1

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



1.2



1.3

Bild 4.1: Versuch HTR9 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

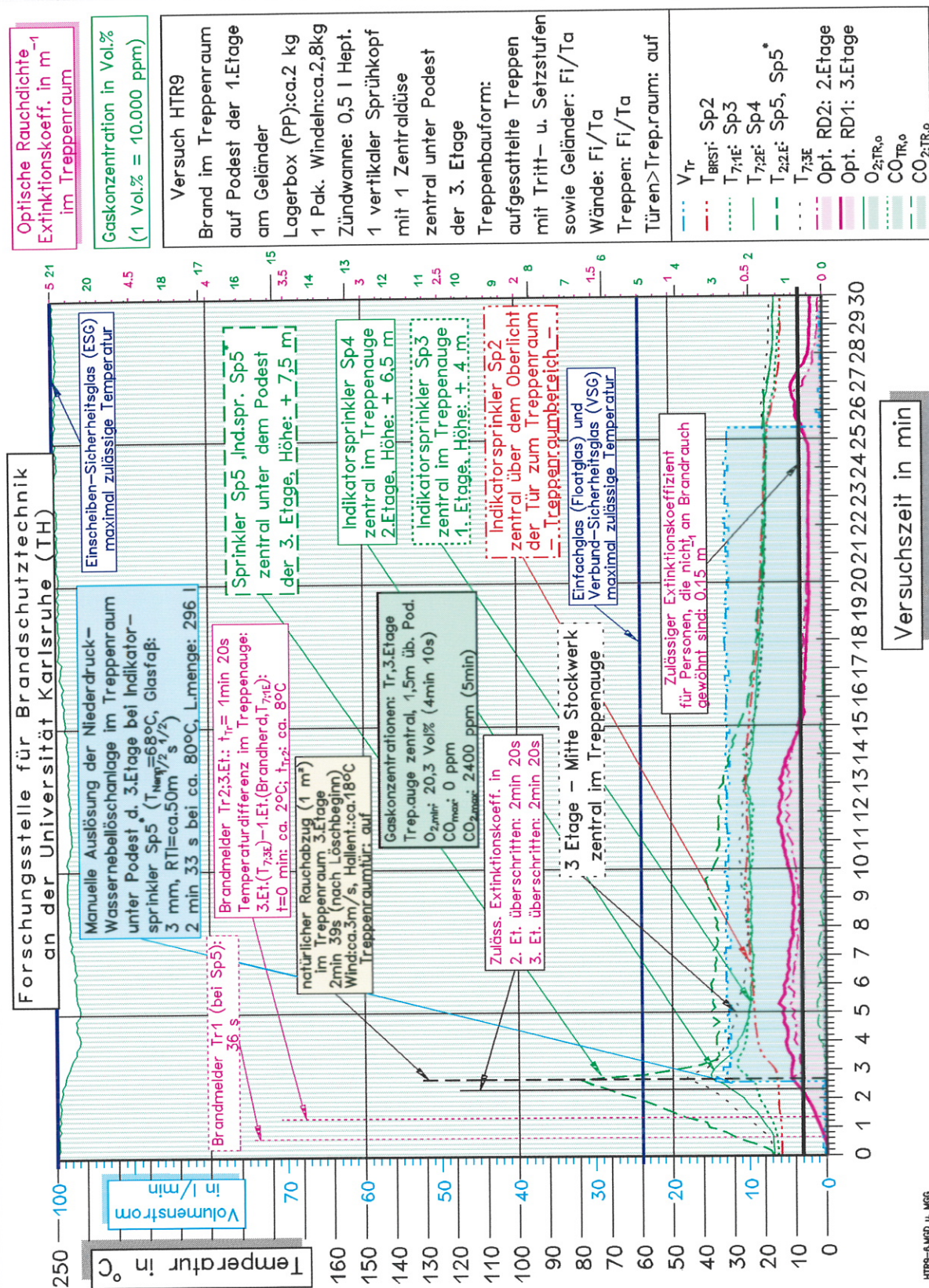


Bild 4.2: Versuch HTR9 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O_2 -, CO_2 - und CO -Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch HTR9: Brandgröße bei Löschbeginn

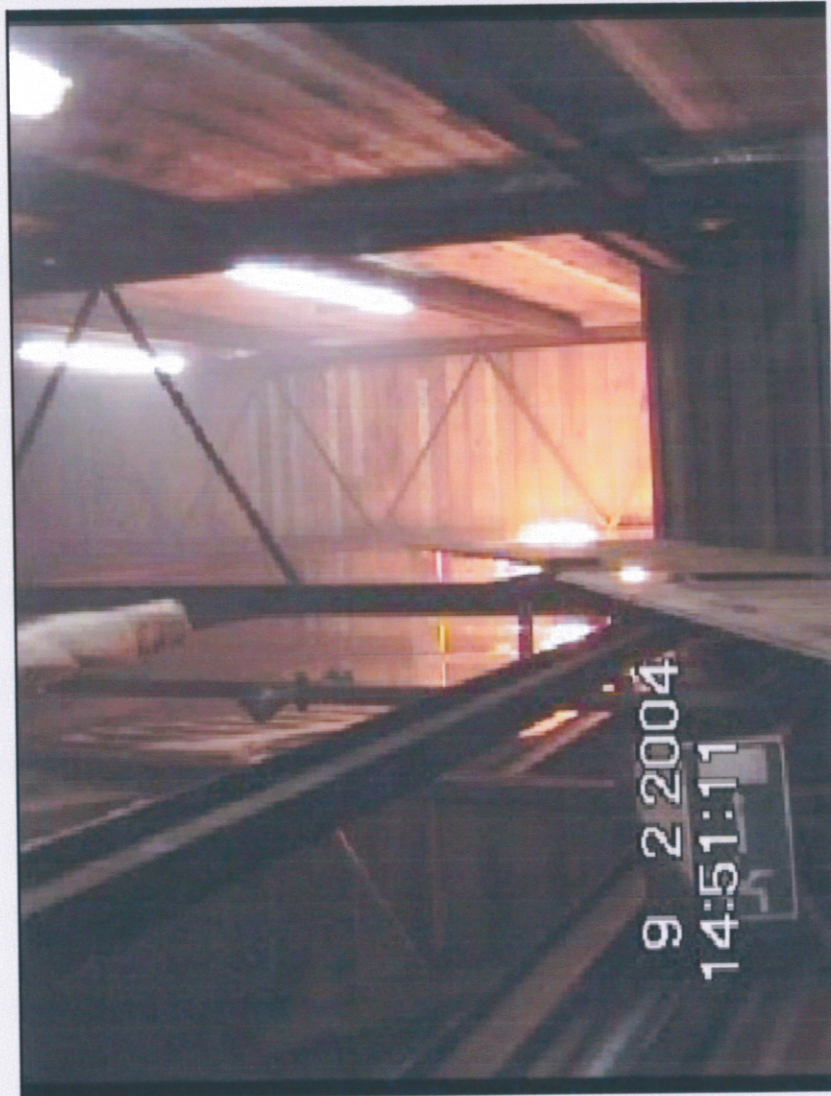


Bild 4.3: Versuch HTR9 – Brandgröße bei Löschbeginn.

**Versuch HTR9: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
15 min 59 s**



**Podest 2. Etage
12 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 0,26 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3. Etage
11 min 50 s
 $\sigma_{\max} = 0,31 \text{ m}^{-1}$**

Bild 4.4: Versuch HTR9 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP5: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



Sprinkler: Normalsprinkler,
Glasfaß: 5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$,
RTI = ca. $100 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$
Indikatorsprinkler: Glasfaß:
3 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$, RTI = ca.
 $50 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$

**Fotoelektronischer Rauch-
melder**
**Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf:** nicht aktiv
unter Podest 3



1.1



1.2



1.3



1.1

**Brandschäden an der Vorder-
(Foto 1.1) und Rückseite des
Geländers (Foto 1.2) sowie am
Podestboden (Foto 1.3) und
Stapelbehälter (Foto 1.4) =>
aufgrund der starken Brand-
rauchentwicklung: Nachlösch-
arbeiten erforderlich.**



1.4

Bild 5.1: Versuch SP5 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

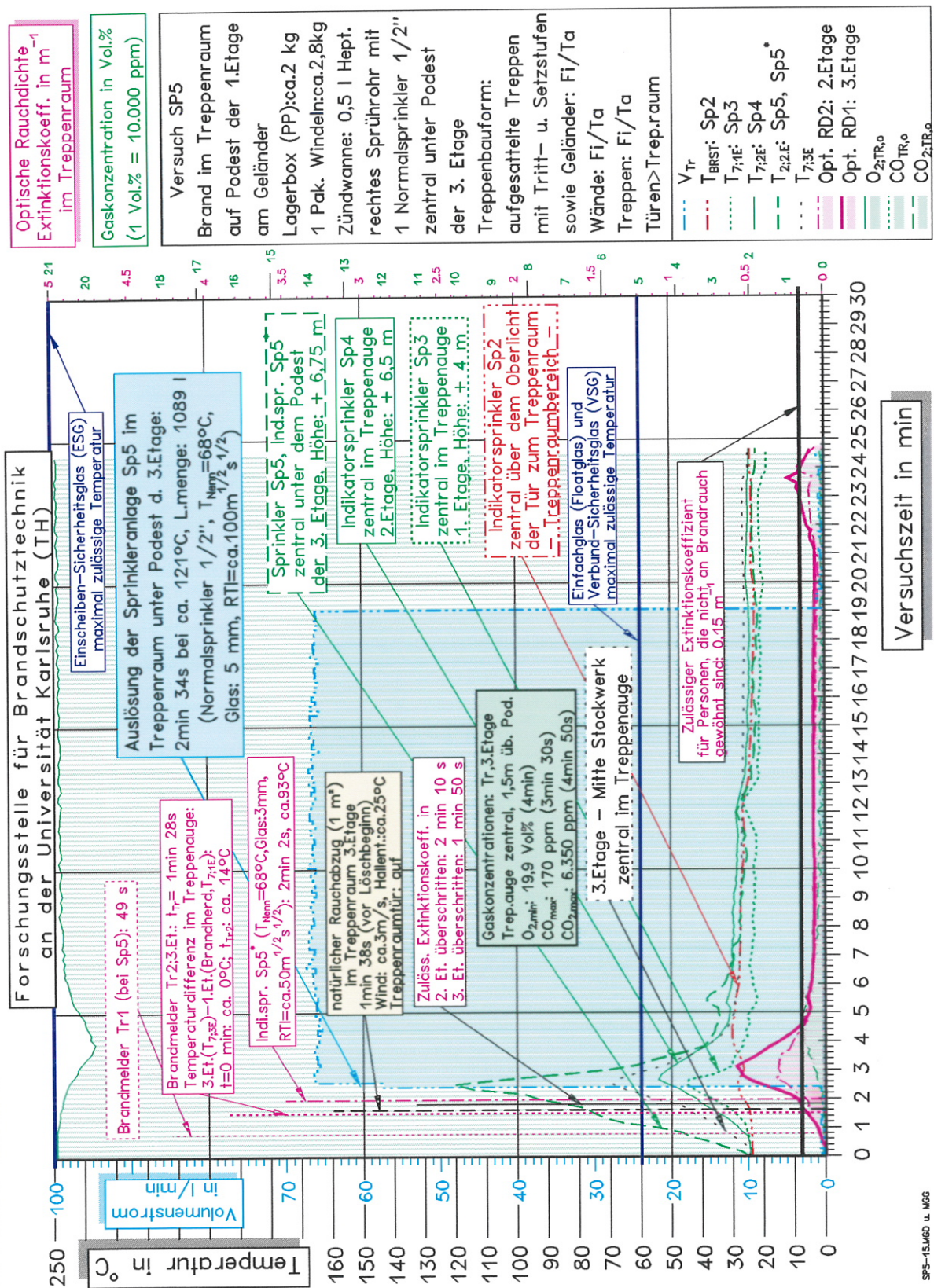


Bild 5.2: Versuch SP5 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP5: Brandgröße bei Löschbeginn

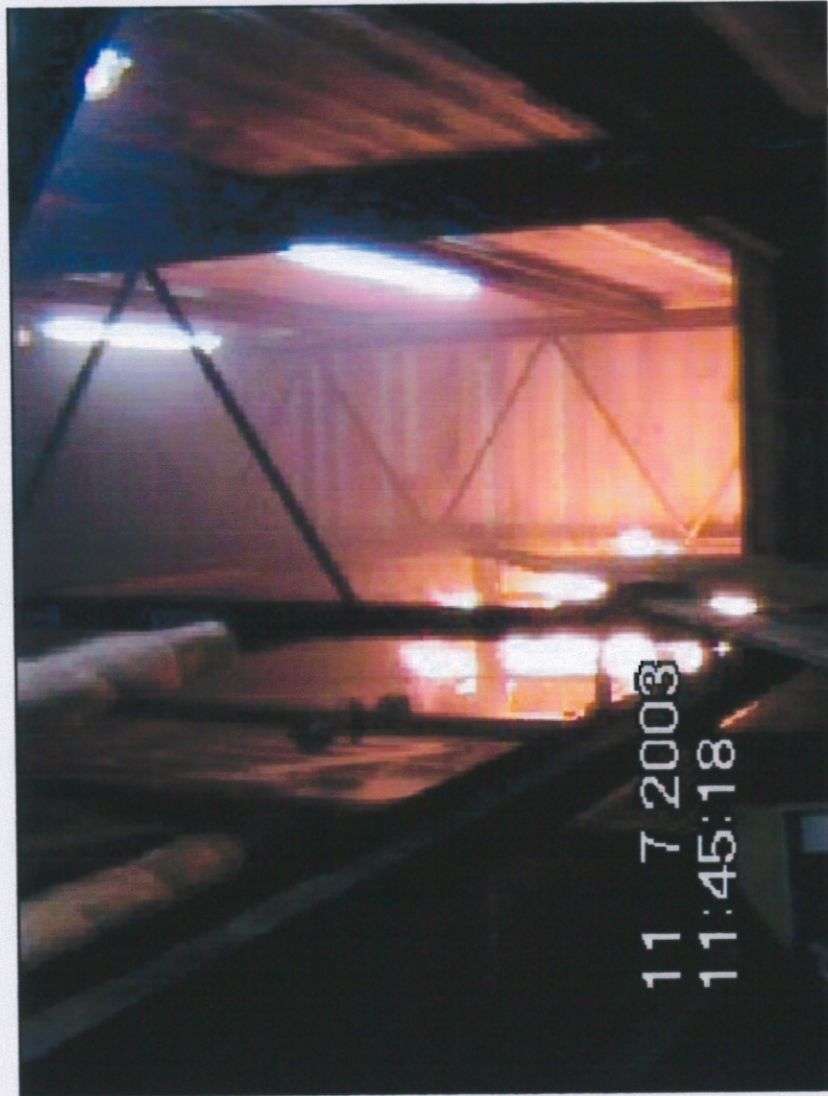


Bild 5.3: Versuch SP5 – Brandgröße bei Löschbeginn.

**Versuch SP5: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
15 min 1 s**



**Podest 2. Etage
2 min 40 s
 $\sigma_{\max} = 0,32 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3. Etage
3 min 10 s
 $\sigma_{\max} = 0,58 \text{ m}^{-1}$**

Bild 5.4: Versuch SP5 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP6: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

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

Fotoelektronischer Rauchmelder

Vertikaler Wasserebel-Sprühkopf: nicht aktiv unter Podest 3



Aufgrund des Windeinflusses auf die 1 m^2 -Öffnung strömen Rauchgase nach unten durch die offene Treppenraumtür



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



Bild 6.1: Versuch SP6 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

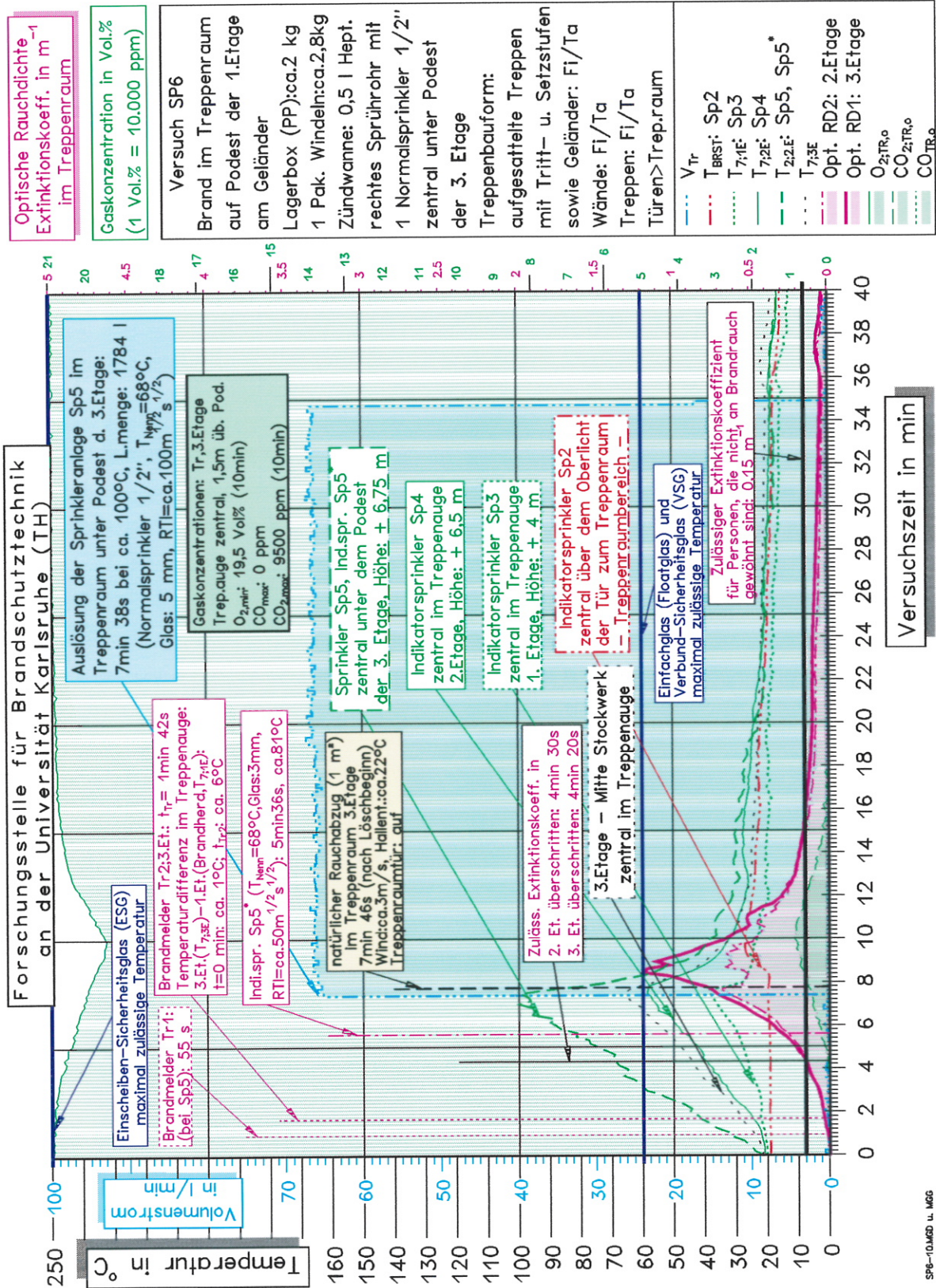


Bild 6.2: Versuch SP6 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP6: Brandgröße bei Löschbeginn

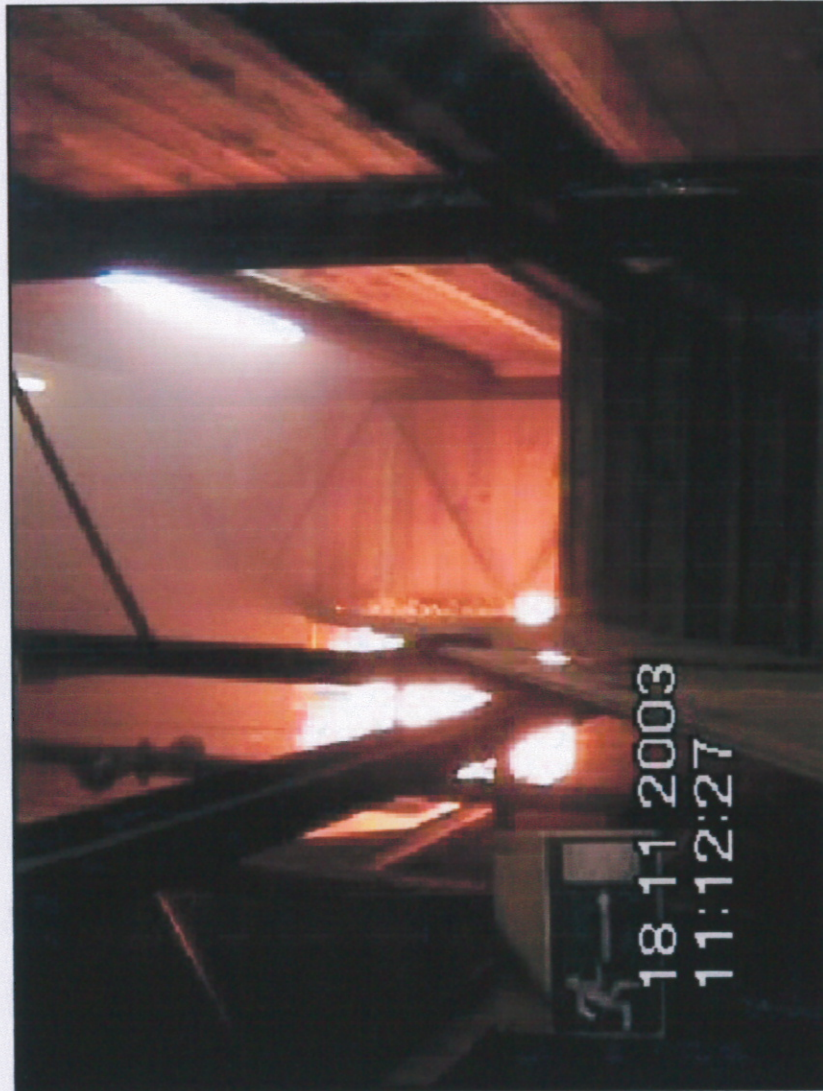


Bild 6.3: Versuch SP6 – Brandgröße bei Löschbeginn.

**Versuch SP6: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
10 min 7 s



Podest 2. Etage
7 min 40 s
 $\sigma_{\max} = 0,71 \text{ m}^{-1}$



Podest 3. Etage
8 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 1,2 \text{ m}^{-1}$

Bild 6.4: Versuch SP6 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP7: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

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

**Fotoelektronischer Rauch-
melder**

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



1.1



1.2

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



1.3

Bild 7.1: Versuch SP7 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

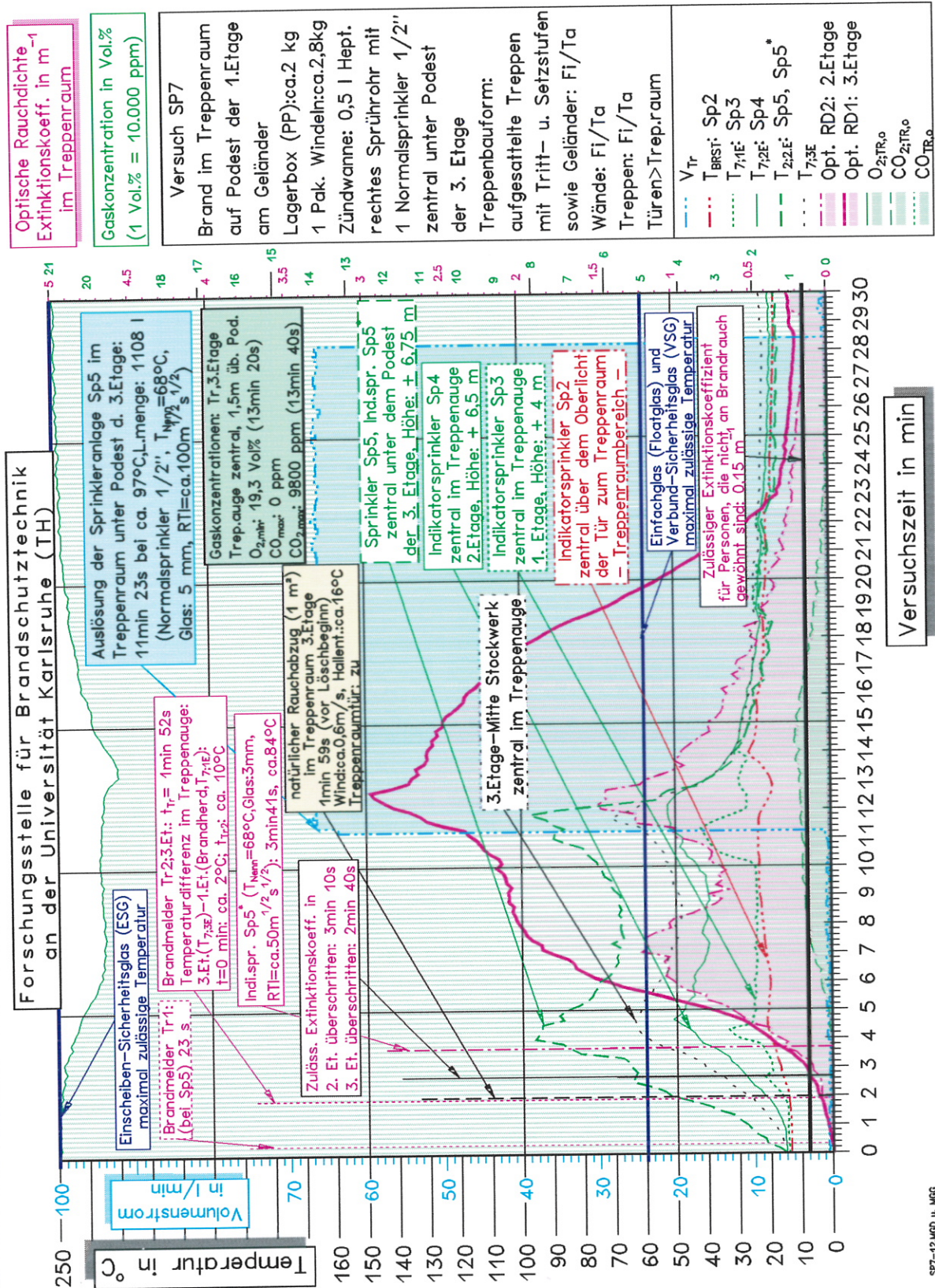


Bild 7.2: Versuch SP7 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Braandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP7: Brandgröße bei Löscheintritt

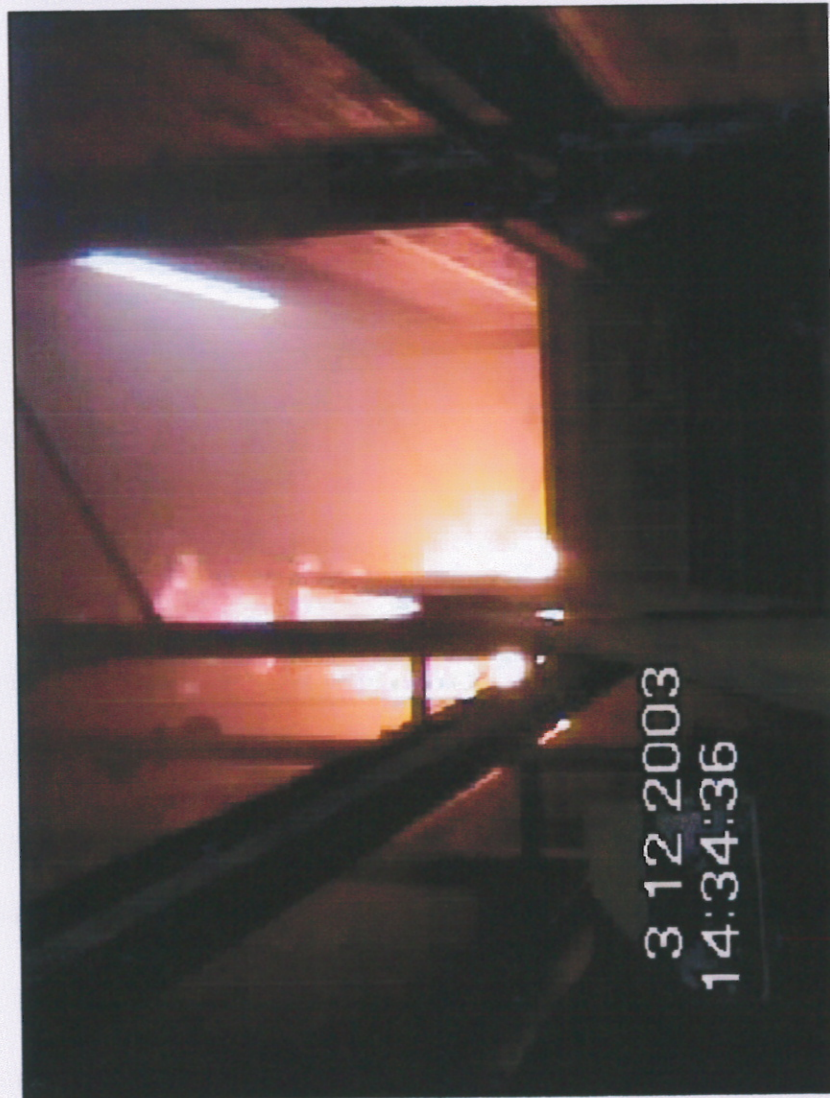


Bild 7.3: Versuch SP7 – Brandgröße bei Löscheintritt.

**Versuch SP7: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
14 min 35 s**



**Podest 2. Etage
12 min 10 s
 $\sigma_{\max} = 1,5 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3.Etage
12 min 40 s
 $\sigma_{\max} = 2,97 \text{ m}^{-1}$**

Bild 7.4: Versuch SP7 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP8: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

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

Fotoelektronischer Rauchmelder

Vertikaler Wasserebel-Sprühkopf: nicht aktiv unter Podest 3



1.1



1.2

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



1.3

Bild 8.1: Versuch SP8 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

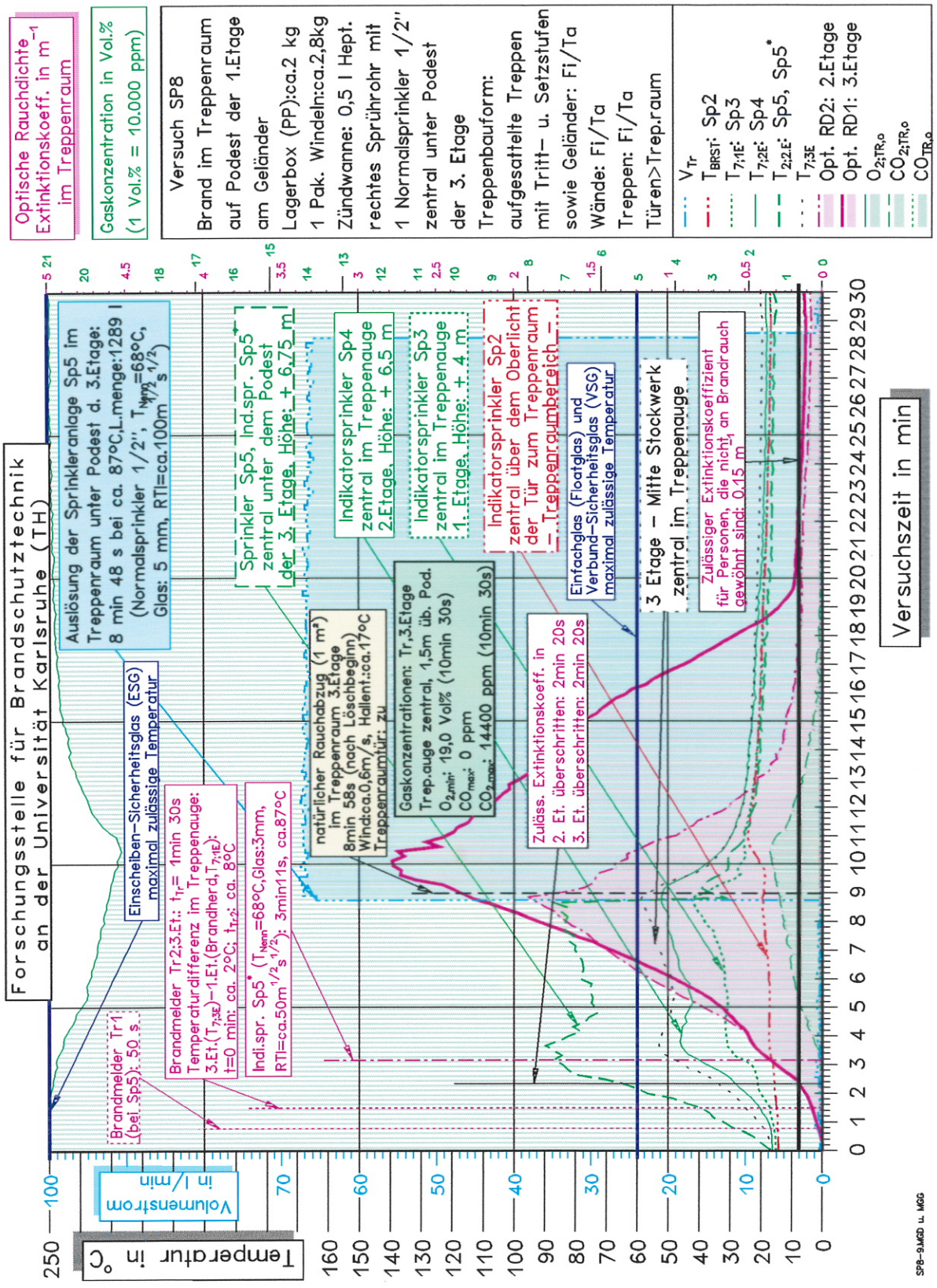


Bild 8.2: Versuch SP8 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP8: Brandgröße bei Löschbeginn

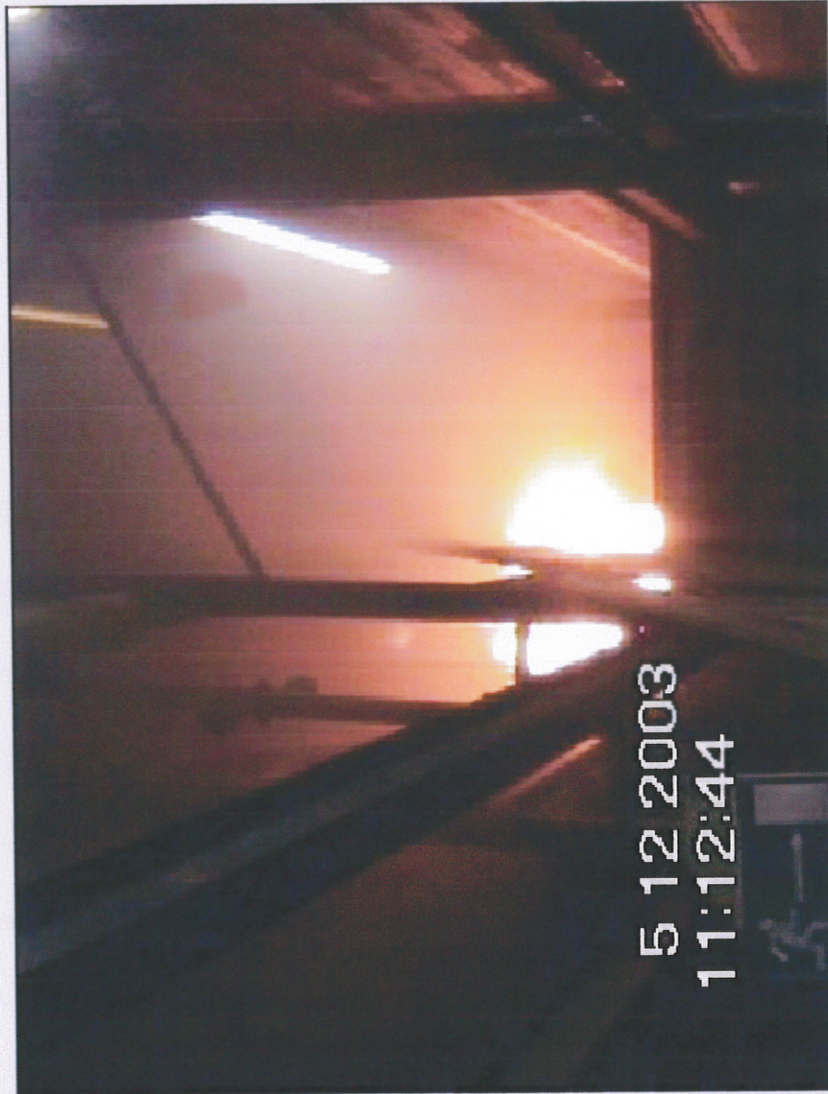


Bild 8.3: Versuch SP8 – Brandgröße bei Löschbeginn.

Versuch SP8: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient) im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
11 min 6 s**



**Podest 2. Etage
8 min 50 s
 $\sigma_{\max} = 1,91 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3. Etage
10 min 10 s
 $\sigma_{\max} = 2,79 \text{ m}^{-1}$**

Bild 8.4: Versuch SP8 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP9: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
1,5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, $\text{RTI} =$
 $\text{ca. } 16 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{1/2}$

Fotoelektronischer Rauch-
melder

Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf: nicht aktiv
unter Podest 3

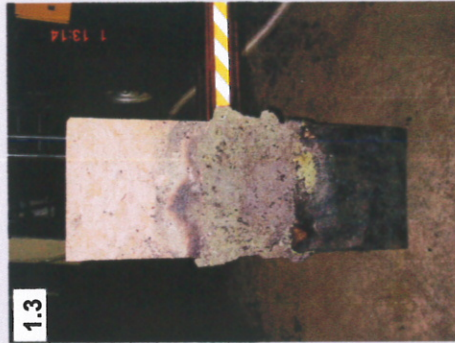


1.1



1.2

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



1.3

Bild 9.1: Versuch SP9 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

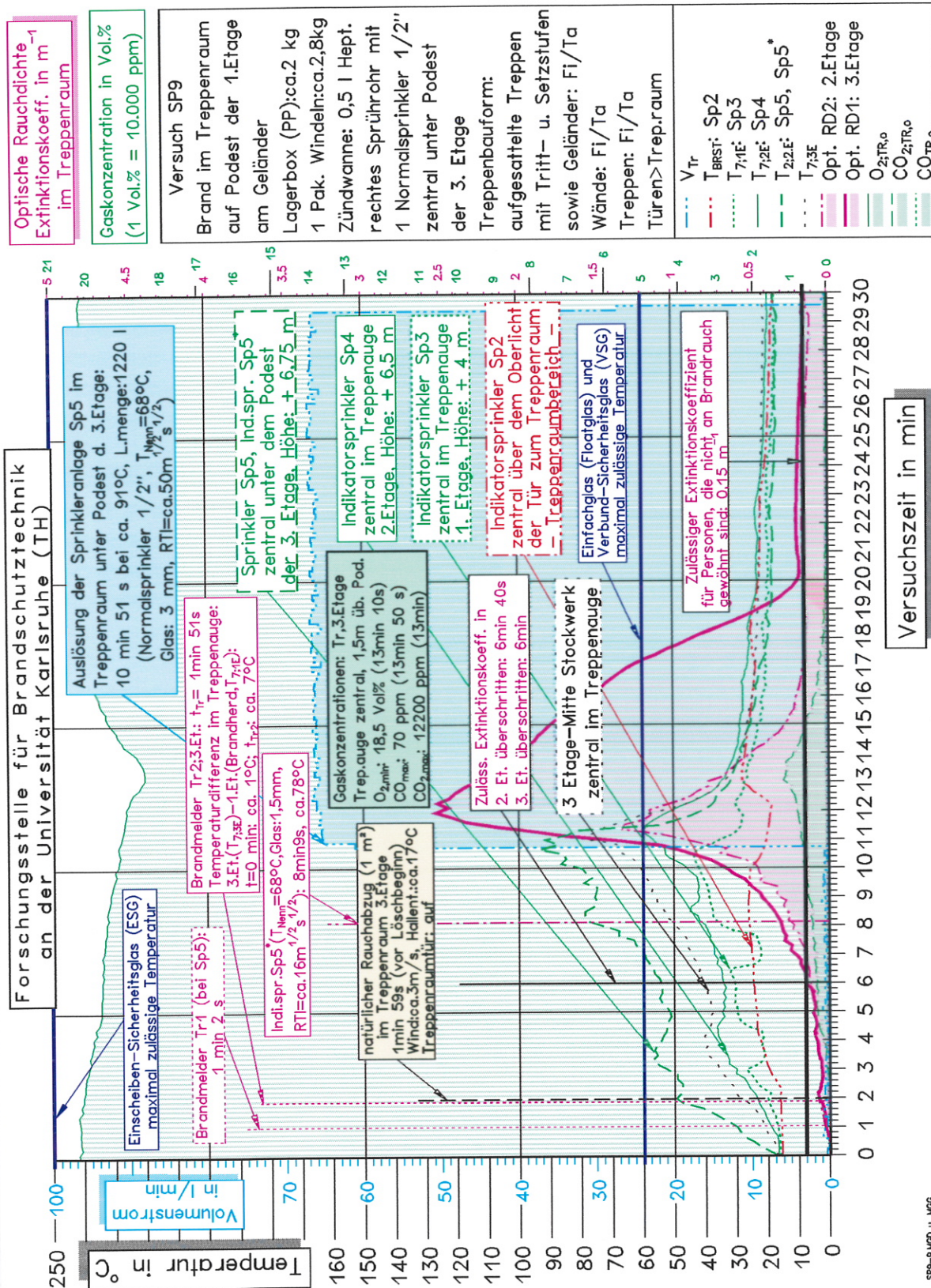


Bild 9.2: Versuch SP9 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP9: Brandgröße bei Löschbeginn

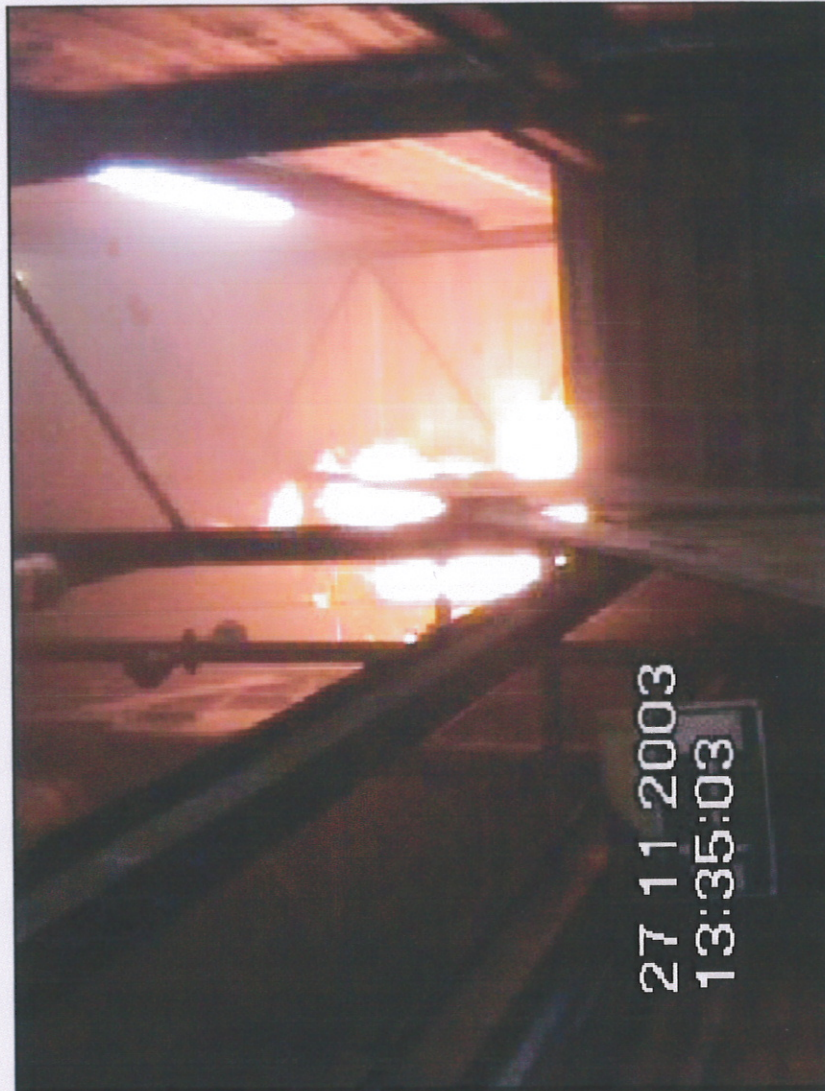


Bild 9.3: Versuch SP9 – Brandgröße bei Löschbeginn.

**Versuch SP9: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
13 min 10 s**



**Podest 2. Etage
11 min 20 s
 $\sigma_{\max} = 1,33 \text{ m}^{-1}$**



**Podest 3. Etage
12 min
 $\sigma_{\max} = 2,54 \text{ m}^{-1}$**

Bild 9.4: Versuch SP9 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP10: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

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

**Fotoelektronischer Rauch-
melder**

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



1.1



1.2

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



1.3

Bild 10.1: Versuch SP10 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

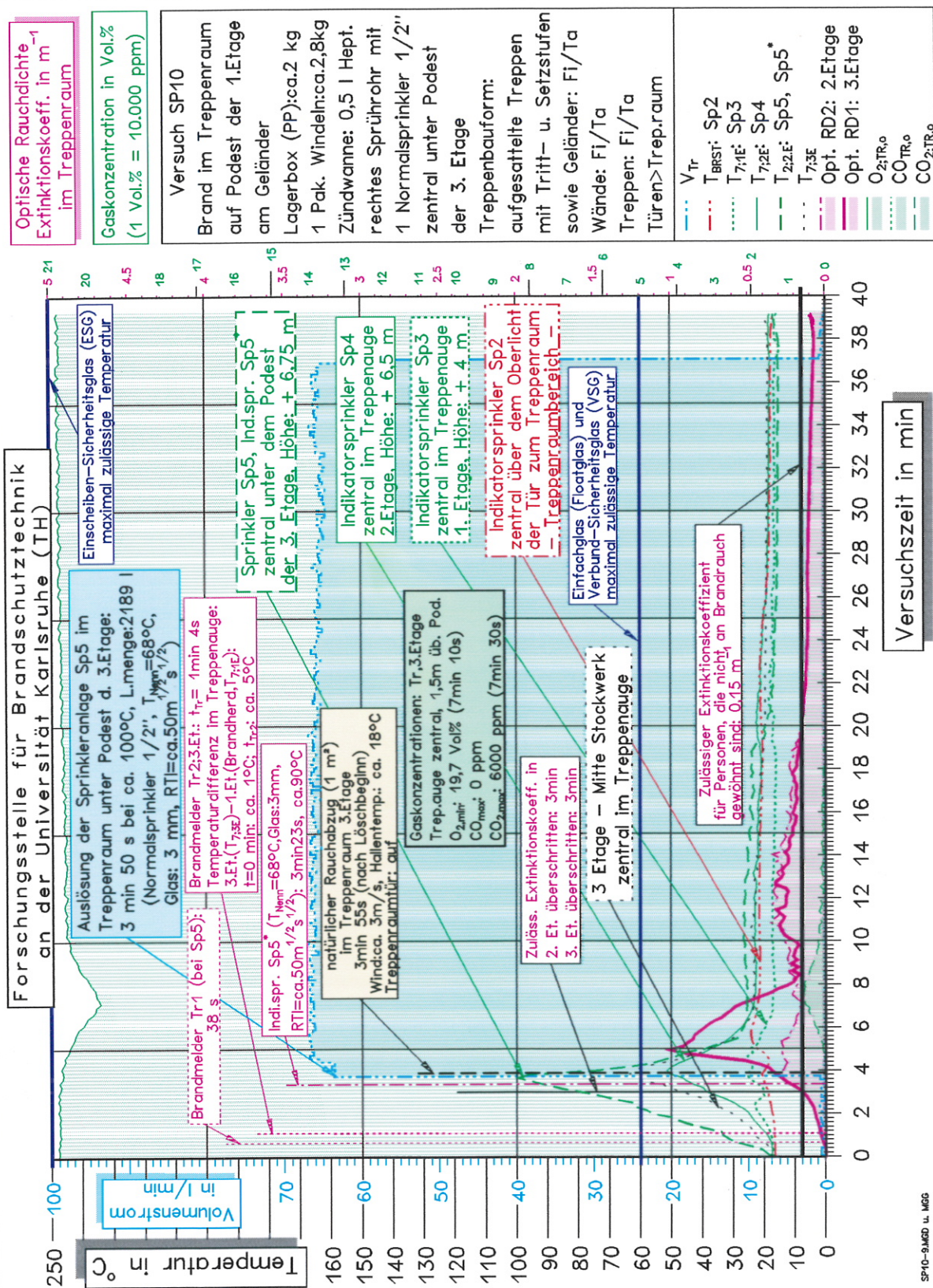


Bild 10.2: Versuch SP10 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Braandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP10: Brandgröße bei Löschbeginn



Bild 10.3: Versuch SP10 – Brandgröße bei Löschbeginn.

Versuch SP10: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient) im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür auf)



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage

8 min 19 s



Podest 2. Etage

10 min 50 s

$\sigma_{\max} = 0,36 \text{ m}^{-1}$



Podest 3. Etage

5 min

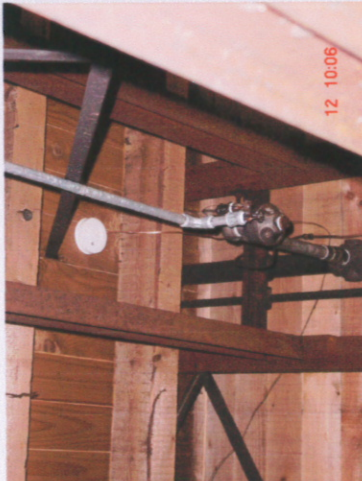
$\sigma_{\max} = 1,01 \text{ m}^{-1}$

Bild 10.4: Versuch SP10 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP11: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

Indikatorsprinkler: Glasfaß: 1,5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^\circ\text{C}$, RTI = ca. 16 m^{1/2} s^{1/2}

Fotoelektronischer Rauchmelder

Vertikaler Wasserebel-Sprühkopf: nicht aktiv unter Podest 3



1.1

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



1.2



1.3

Bild 11.1: Versuch SP11 – Versuchsaufbau und Brandschäden.

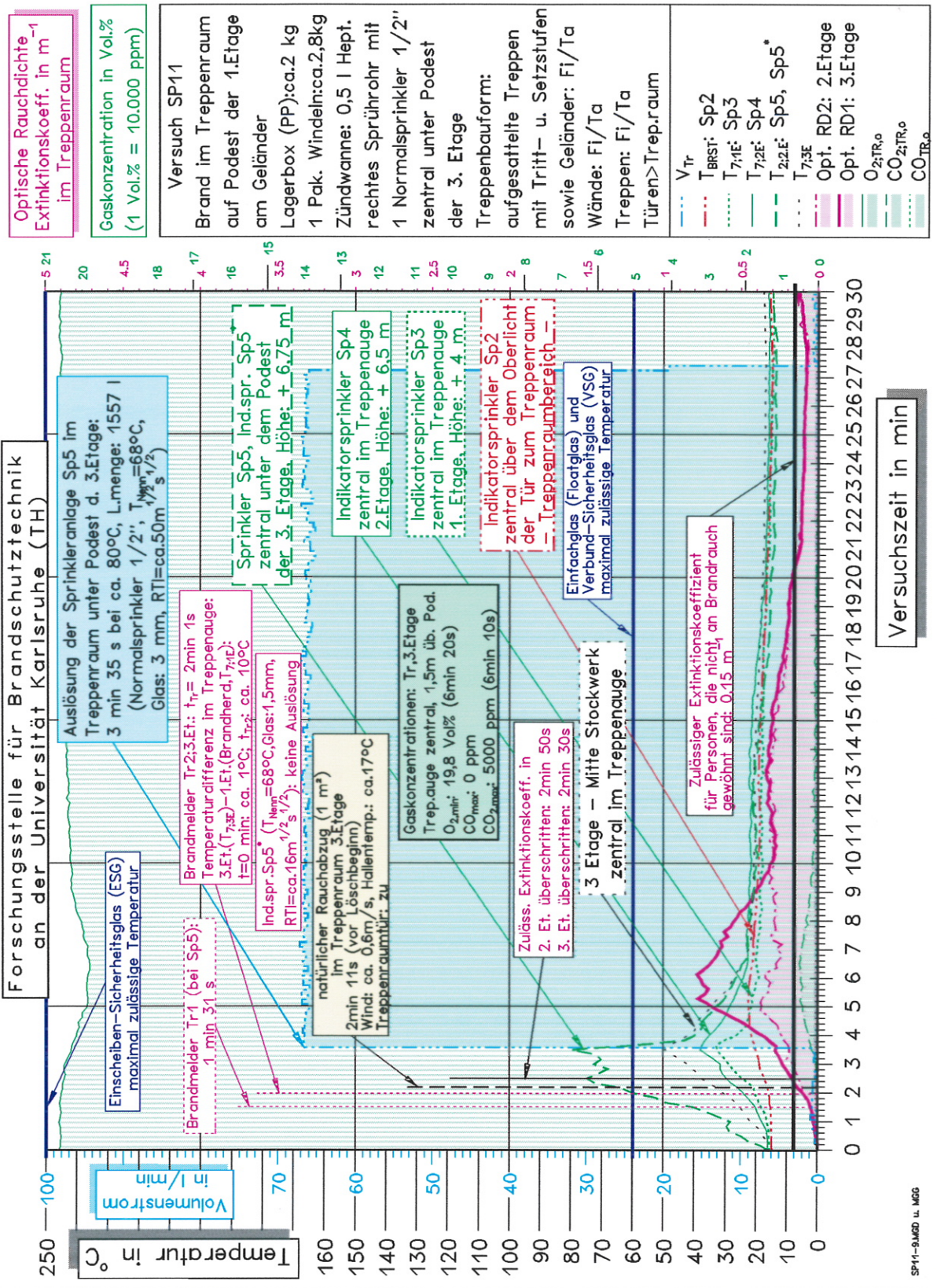


Bild 11.2: Versuch SP11 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brauchdichte (Extinktionskoeffizient), O₂-, CO₂- und CO-Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP11: Brandgröße bei Löschbeginn

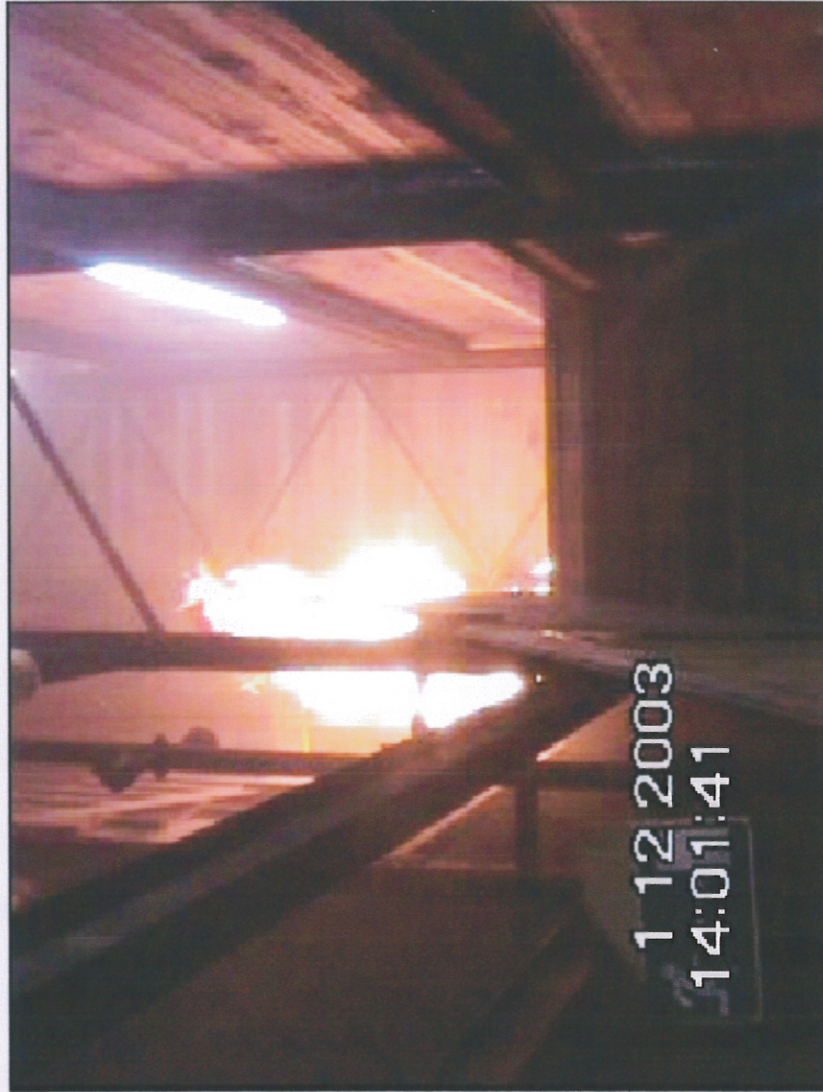


Bild 11.3: Versuch SP11 – Brandgröße bei Löschbeginn.

**Versuch SP11: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)**



Erdgeschoß u. Podest 1. Etage

20 min 1 s



Podest 2. Etage

4 min 50 s

$\sigma_{\max} = 0,37 \text{ m}^{-1}$



Podest 3.Etage

5 min 20 s

$\sigma_{\max} = 0,78 \text{ m}^{-1}$

Bild 11.4: Versuch SP11 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Versuch SP12: Brandlast, Position der Löschanlage und Brandschäden



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



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

Indikatorsprinkler: Glasfaß:
1,5 mm, $T_{\text{Nenn}} = 68^{\circ}\text{C}$, RTI =
ca. 16 m^{1/2} s^{1/2}

Fotoelektronischer Rauch-
melder

Vertikaler Wassernebel-
Sprühkopf: nicht aktiv
unter Podest 3



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



1.2



1.3

Bild 12.1: Versuch SP12 – Versuchsaufbau und Brandschäden

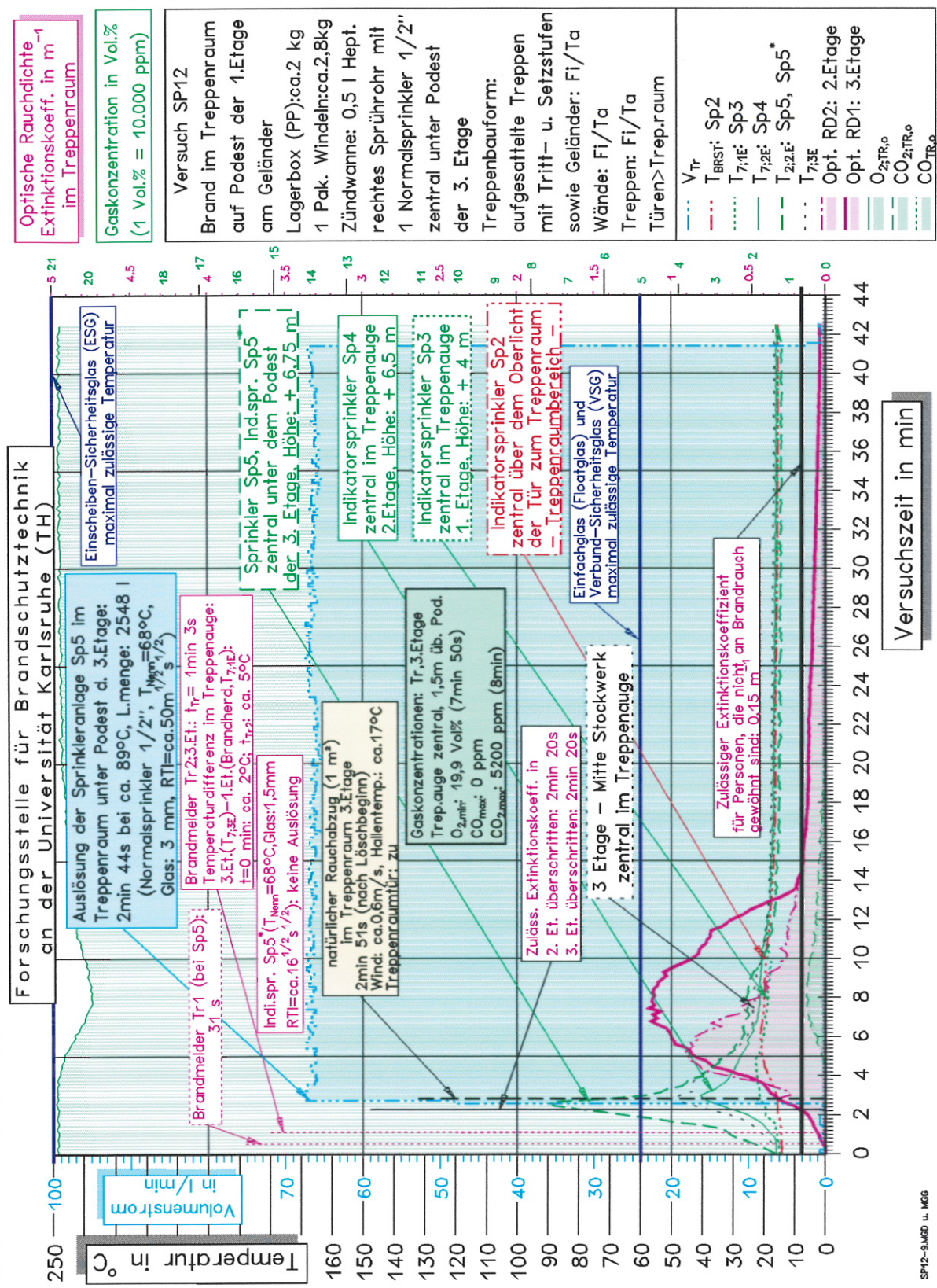


Bild 12.2: Versuch SP12 - Ausgewählte Temperaturverläufe, Wasservolumenstrom, optische Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient), O_2 , CO_2 - und CO -Konzentration, maximal zulässige Betriebstemperaturen für Verglasungen, Rauchabzug, Ventilationsbedingungen.

Versuch SP12: Brandgröße bei Löschanfang

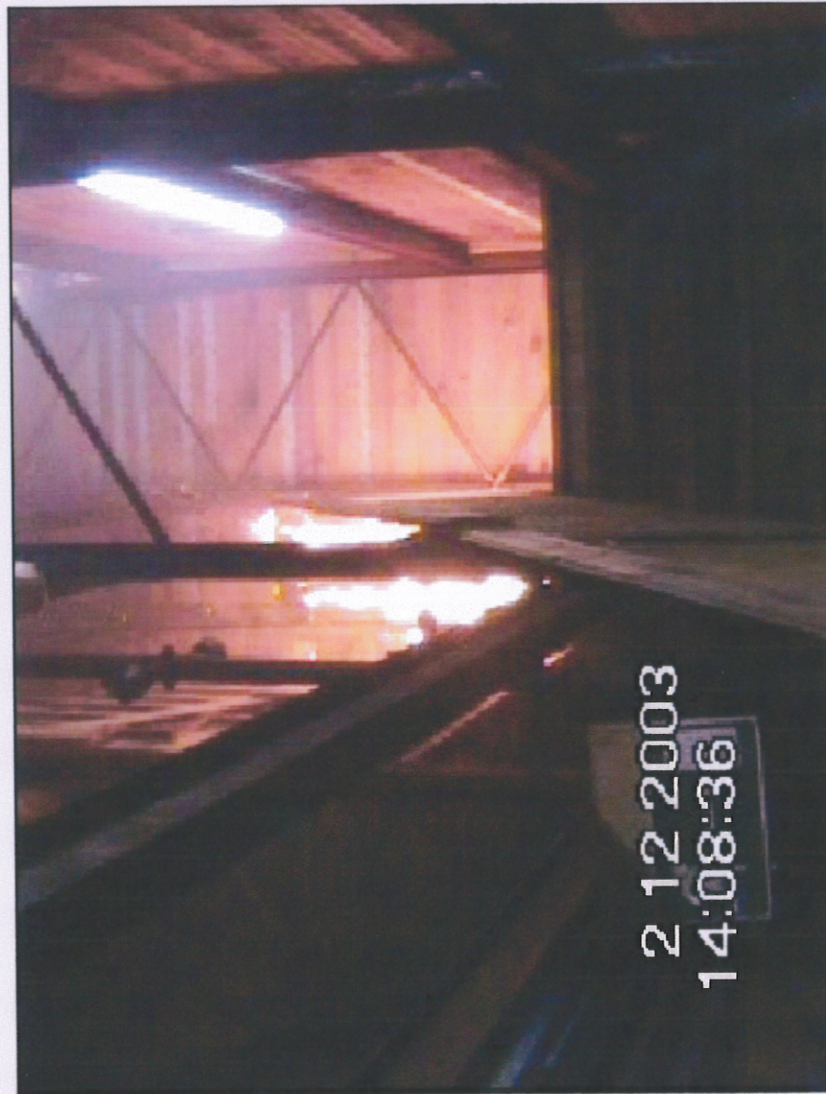


Bild 12.3: Versuch SP12 – Brandgröße bei Löschanfang.

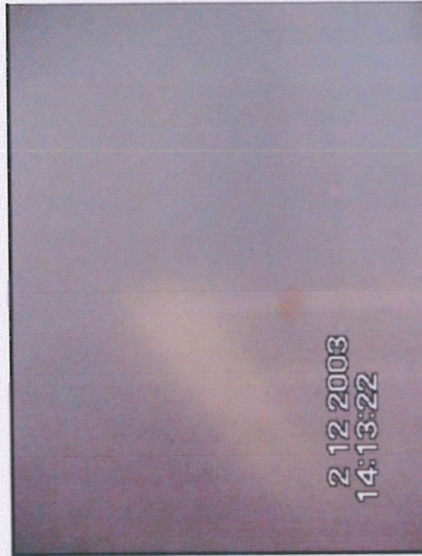
**Versuch SP12: maximale Verrauchung (max. Extinktionskoeffizient)
im Treppenraum (mit Windeinfluß auf 1 m²- Öffnung, Tür zu)**



**Erdgeschoß u. Podest 1. Etage
10 min 14 s**



**Podest 2. Etage
5 min 10 s
 $\sigma_{\max} = 0,92 \text{ m}^{-1}$**

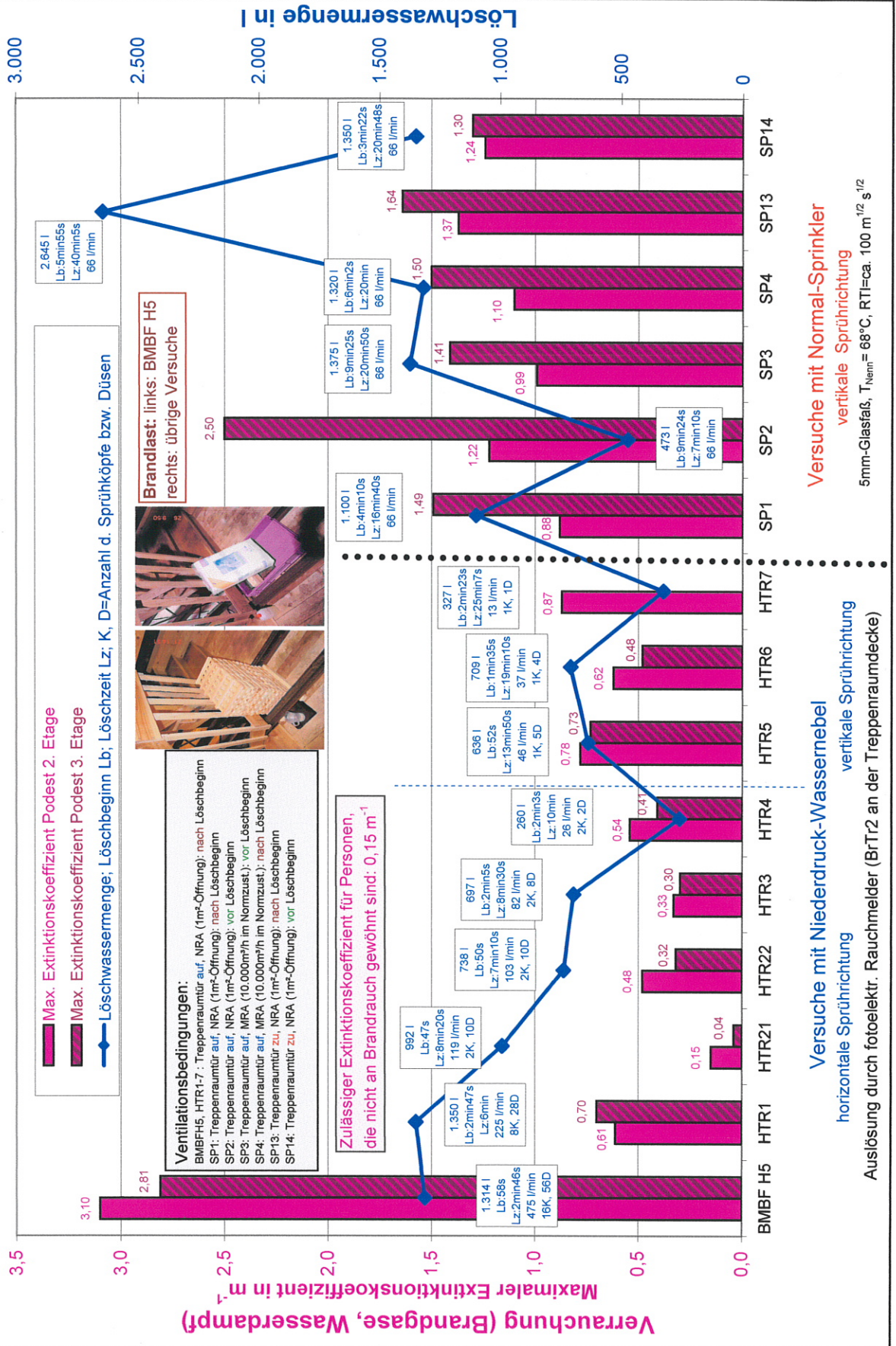


**Podest 3. Etage
7 min 30 s
 $\sigma_{\max} = 1,15 \text{ m}^{-1}$**

Bild 12.4: Versuch SP12 – maximale Verrauchung im Treppenraum.

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel mit Sprinkler - Versuche ohne Wind



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

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

Bild 13.1: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normal-Sprinkler.
- Versuche ohne Wind

Brand- und Löschversuche im Holztreppenraum

Vergleich: Niederdruck-Wassernebel mit Sprinkler - Versuche mit Wind

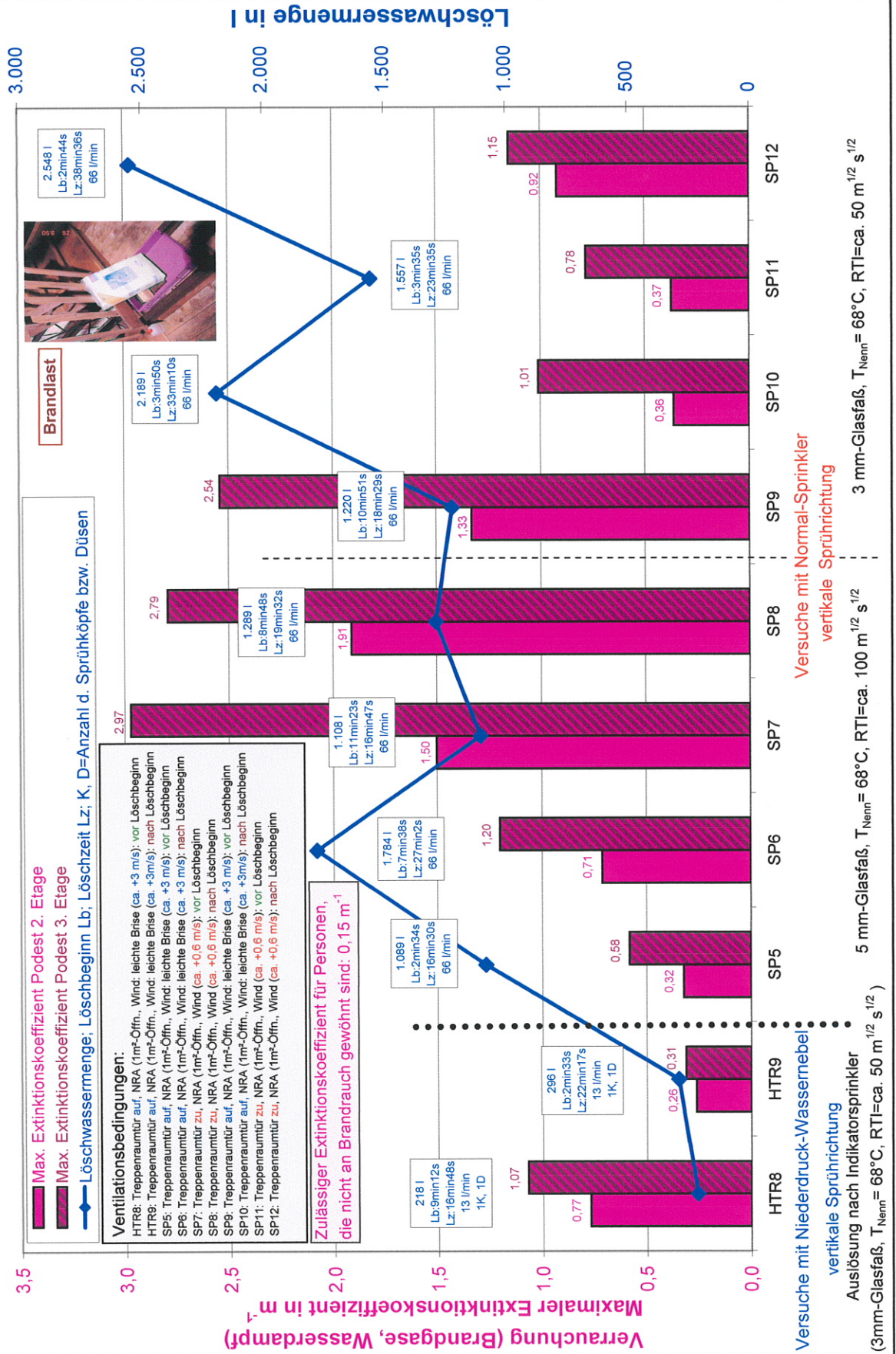


Bild 13.2: Vergleich Niederdruck-Wassernebel mit Normal-Sprinkler.
 - Versuche mit Wind