

# Projekt 19P002 – Wassernebellöschanlage Rettungsweg

---

*Planung und Durchführung von Realbrandversuchen in einem Abrisshaus im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsleistungen zum Forschungsvorhaben „Wassernebellöschanlage in Rettungswegen“*

**Datum:** 19.08.2020

**Auftraggeber:** Freie und Hansestadt Hamburg  
Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen  
Amt für Bauordnung und Hochbau – ABH 210  
Referatsleitung Fachliche Steuerung  
z. Hd. Frau Heike Hohmann  
Neuenfelder Straße 19  
21109 Hamburg

**Bericht:** Versuchsbericht

**Bearbeiter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß  
Lukas Gößwein, M.Sc.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anlass und Zielsetzung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsbeschreibung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Versuchsaufbau .....	4
2.2	Ermittlung der anzusetzenden Brandlast .....	5
2.3	Beschreibung der Holzkrippen .....	6
2.4	Versuchsplanung .....	8
2.5	Verwendete Messtechnik .....	10
<b>3</b>	<b>Versuchsergebnisse .....</b>	<b>13</b>
3.1	Allgemeines .....	13
3.2	Versuch 1 .....	13
3.2.1	Allgemeiner Versuchsablauf .....	13
3.2.2	Temperaturverläufe .....	16
3.2.3	Sichtverhältnisse .....	19
3.3	Versuch 2 .....	20
3.3.1	Allgemeiner Versuchsablauf .....	20
3.3.2	Temperaturverläufe .....	22
3.3.3	Sichtverhältnisse .....	25
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>28</b>

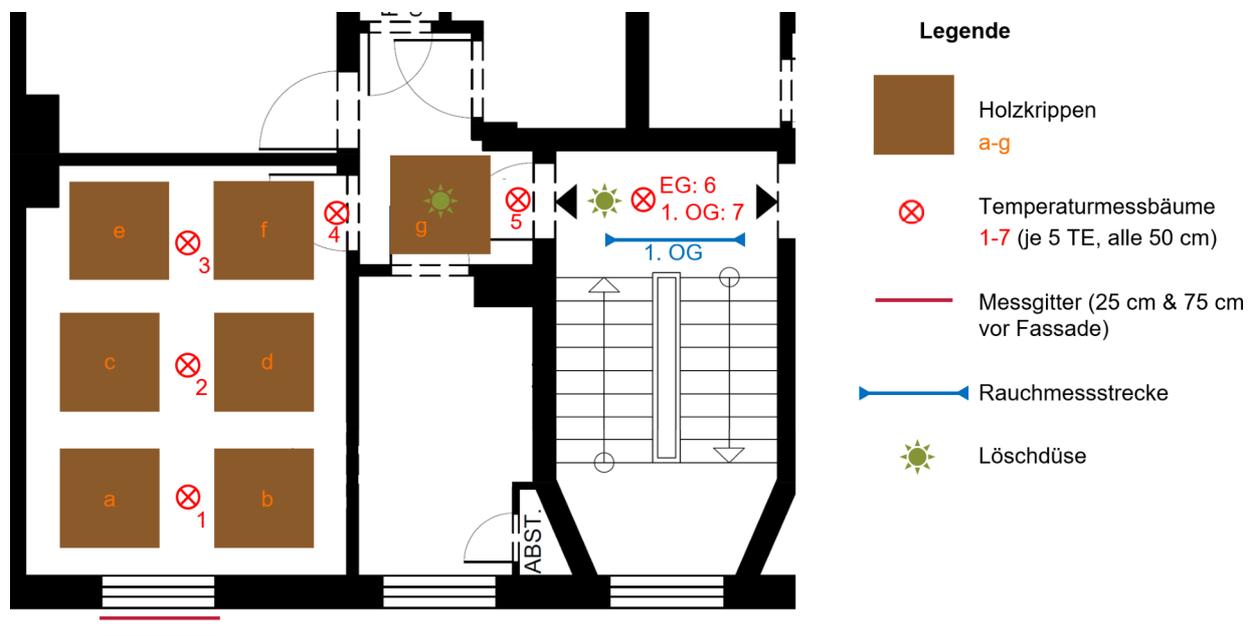
## 1 Anlass und Zielsetzung

Für die Aufstockung von bestehenden Wohngebäuden sowie bei nachträglich ausgebauten Dachgeschossen kann oftmals der zweite Rettungsweg über Geräte der Feuerwehr in einer verdichteten Großstadt wie Hamburg nicht nachgewiesen werden. Auch bauliche Lösungen zur Führung des geforderten zweiten Rettungswegs sind häufig nicht realisierbar. Im Rahmen eines von der Freien und Hansestadt Hamburg finanzierten Forschungsprojekts sollte eine anlagentechnische Kompensation zur Ertüchtigung des notwendigen Treppenraums erforscht werden. Dabei sollte untersucht werden, ob eine Niederdruck-Wassernebellöschanlage (kurz WNLA) in Kombination mit üblichen Wohnungstüren das Eindringen von Feuer und Rauch in den einzigen notwendigen Treppenraum effektiv und ausreichend lange verhindern kann. Zu diesem Zweck wurden zwei Realbrandversuche in einem Abrissgebäude in Hamburg-Horn durchgeführt. Die Brandeinwirkung wurde durch Holzkrippen mit einer für Wohngebäude repräsentativen Brandlast dargestellt. Die durchgeführten Versuche sollen Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit und die Wirksamkeit der WNLA als wirksame Kompensation liefern.

## 2 Versuchsbeschreibung

### 2.1 Versuchsaufbau

Die Brandversuche fanden in einem Abrissgebäude in der Sievekingsallee 206 in Hamburg-Horn statt. Der erste Versuch wurde am 19. März 2020 in der rechten, der zweite Versuch am 05. Juni 2020 in der linken Wohnung durchgeführt. Beide Wohnungen befanden sich im Hochparterre. Bei dem Gebäude handelte es sich um ein Mehrfamilienreihenhaus in Massivbauweise. Die Decken waren als Hohlziegeldecken ausgeführt. Das Gebäude konnte in Gebäudeklasse 4 eingestuft werden und besaß einen notwendigen Treppenraum. Über diesen Treppenraum wurden in jedem Geschoss zwei Wohnungen erschlossen.



*Abbildung 2-1: Grundlegender Versuchsaufbau beider Versuche mit Anordnung der Holzkippen, Löschdüsen sowie Messtechnik*

Die Grundrisse (siehe Abbildung 2-1) der beiden Versuchswohnungen waren annähernd identisch. Die Anordnung der Holzkippen, Messtechnik sowie Löschdüsen konnte ebenfalls von Versuch 1 auf Versuch 2 gespiegelt übertragen werden. In diesem Bericht wird deshalb teilweise darauf verzichtet, Pläne und Fotos für den Versuchsaufbau von beiden Versuchen darzustellen.

## 2.2 Ermittlung der anzusetzenden Brandlast

Die anzusetzende Brandlast wurde gemäß DIN EN 1991-1-2/NA Anhang BB berechnet. Die gewählten Randbedingungen können Tabelle 2-1 entnommen werden. Auf der sicheren Seite liegend wurde für die Eingriffszeit der Feuerwehr ein Wert größer 20 Minuten gewählt. Für jeden Versuch ergab sich nach Gleichung (1) und (2) eine identische Brandlast von 7.452 MJ.

$$q_{f,d} = \chi \cdot q_{f,k} \cdot \gamma_{fi,q} = 0,8 \cdot 1.085 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot 0,923 = 801 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

$$Q_{f,d,gesamt} = q_{f,d} \cdot A_f = 801 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot 14 \text{ m}^2 \approx 11.212 \text{ MJ} \quad (2)$$

$q_{f,d}$	Bemessungswert der Brandlastdichte [MJ/m <sup>2</sup> ]
$q_{f,k}$	Charakteristische Brandlastdichte [MJ/m <sup>2</sup> ]
$\gamma_{fi,q}$	Teilsicherheitsbeiwert
$\chi$	Verbrennungseffektivität
$Q_{f,d,gesamt}$	Bemessungswert der Brandlast [MJ]
$A_f$	Brandfläche [m <sup>2</sup> ]

Tabelle 2-1: Gewählte Randbedingungen zur Ermittlung der Brandlastdichte gemäß DIN EN 1991-1-2/NA Anhang BB

Parameter	Formelzeichen	Wert/Kategorie	Einheit, Bemerkung
Grundfläche Brandraum	$A_f$	ca. 14,0	m <sup>2</sup>
Verbrennungseffektivität	$\chi$	0,8	[-]
Nutzungsart, -kategorie	[-]	Wohngebäude	[-]
Schadensfolgen, Zuverlässigkeitstheorie	[-]	mittel	[-]
Auftretenswahrscheinlichkeit Entstehungsbrand	$p_1$	0.003	[-] gemäß Tabelle BB.3
Ausfallwahrscheinlichkeit manuelle Brandbekämpfung	$p_{2,1}$	0.5	[-]
Ausfallwahrscheinlichkeit öffentliche Feuerwehr	$p_{2,2}$	0.5	[-] Eingriffszeit > 20 min
Ausfallwahrscheinlichkeit Löschanlage	$p_3$	1.0	[-] keine Löschanlage zur Brandbekämpfung

## 2.3 Beschreibung der Holzkrippen

Die in Abschnitt 2.2 ermittelte Brandlast wurde für beide Versuche mit Holzkrippen realisiert. Diese wurden aus sägerauen Fichtenholzstäben der Abmessung 40 mm x 60 mm x 1.000 mm (Versuch 1) beziehungsweise 38 mm x 58 mm x 1.000 mm (Versuch 2) hergestellt. Mit dem im Nationalen Anhang DIN EN 1991-1-2/NA Anhang BB vorgegebenen Heizwert  $H_{u,Holz} = 17,3 \text{ MJ/kg}$  und der Rohdichte von Holz (ca.  $475 \text{ kg/m}^3$ ) lässt sich die benötigte Menge Brennholz von etwa 648 kg bzw. 568 lfd. m pro Versuch berechnen (ohne Berücksichtigung der Verbrennungseffektivität). Vergleiche nachstehende Gleichung (3).

$$m_{Holz} = q_{f,d} \cdot \frac{A_f}{H_u} = 801 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot \frac{14\text{m}^2}{17,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \approx 648\text{kg} \quad (3)$$

$m_{Holz}$       Masse an Holz pro Versuch [kg]  
 $H_u$          Netto-Verbrennungswärme [kJ/kg]

Das entspricht sechs Holzkrippen mit einer Grundfläche von 1 m x 1 m und einer Höhe von etwa einem halben Meter im Brandraum. Eine zusätzliche Holzkrippe mit einer Höhe von 0,8 Metern wurde im Flur (Versuch 1) positioniert. Für den zweiten Versuch musste Holz unplanmäßig aus einer anderen Charge nachbestellt werden. Dies wies einen etwas kleineren Querschnitt auf. Außerdem war der bei Versuch 1 vorhandene Holzfußboden samt Holzunterbau in Wohnung 2 entfernt worden. Die Holzkrippen für Versuch 2 wurden entsprechend höher vorgesehen. Damit wurde sichergestellt, dass bei jedem Versuche die gleiche Masse an Brennstoff vorhanden war.

Abbildung 2-2 zeigt die Anordnung der Holzkrippen im Brandraum für den ersten Versuch. Für die Entzündung der Holzkrippen wurden pro Versuch vier längliche Stahlwannen verwendet. Diese wurden mit jeweils 200 ml Ethanol befüllt. Die Stahlwannen wurden in die zweite Holzlage von unten an der am Brandraumfenster stehenden Holzkrippen eingeschoben. Als Versuchsbeginn wurde der Zeitpunkt der Entzündung der letzten Ethanolwanne festgelegt. Zwischen der Entzündung der ersten und der letzten Wanne lagen wenige Sekunden.



Abbildung 2-2: Anordnung der Holzrippen im Brandraum, Blick durch Fenster (V1)

Die Holzlagen der Krippen wurden kreuzweise angeordnet und zu zweilagigen Bündeln vernagelt. Die Nagelung erfolgte zweireihig, außen mit 8 x 8 Nägeln und innen mit 4 x 4 Nägeln (rote Markierung in Abbildung 2-3). Das Holz-Luft-Verhältnis der Holzrippen betrug etwa 1. Die Holzrippen für Versuch 1 konnten in einer Halle des iBMB vorgefertigt werden. Die Holzrippen für Versuch 2 mussten vor Ort unter Baustellenbedingungen vernagelt werden. Ein unterschiedliches Abbrandverhalten wurde nicht festgestellt.

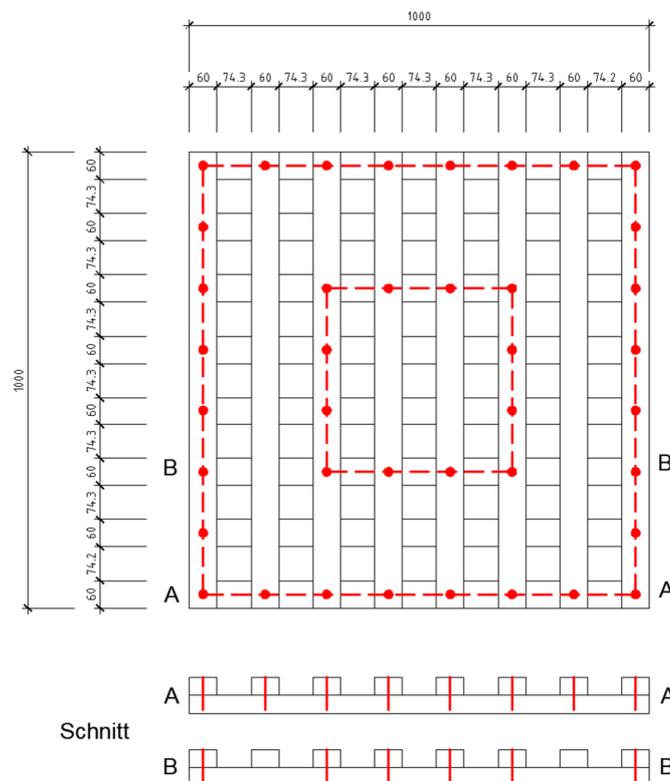


Abbildung 2-3: Ausschnitt des Nagelbildes der Holzrippen ( Draufsicht und Schnitte ), ohne Maßstab, alle Angaben in Millimeter

## 2.4 Versuchsplanung

Für beide Versuche wurde jeweils eine Löschdüse auf der Innen- sowie Außenseite der Wohnungseingangstüren angeordnet. Die genauen Positionen der Düsen können Abbildung 2-1 entnommen werden. Die äußeren Düsen wurden jeweils als offene Düse ausgeführt. Innerhalb der Brandwohnungen wurden Düsen mit Sprinklerglasfässchen verwendet. Die Rohrleitungen waren bei Versuch 1 trocken, gefüllt mit Luft bei normalem Umgebungsdruck. Bei Versuch 2 waren die Rohrleitungen mit Wasser gefüllt. Die Auslösung der offenen Düse erfolgte manuell mittels Absperrhahn im Treppenhaus durch die Feuerwehr (vgl. Abschnitt 3.3.1). Die weiteren Randbedingungen zu beiden Versuchsplanungen, insbesondere bezüglich der Auslösezeitpunkte der WNLA, stehen in Tabelle 2-2.

*Tabelle 2-2: Auflistung der Versuchsparameter*

Parameter	Versuch 1	Versuch 2
Art Düse innen	Sprinklerglasfässchen rot	
Art Düse außen	offen	
Auslösekriterium außen	Rauchmelder im Wohnungsflur	Zeitkriterium (x Minuten)
Zusätzliche Dummy-Düse	-/-	außen, Sprinklerglasfässchen
Rauchmelder 1	Flur in Brandwohnung	
Rauchmelder 2	-/-	über Treppenpodest 1. OG
Fenster Brandraum	B x H = 1,17 x 1,50 m <sup>2</sup>	B x H = 1,17 x 0,80 m <sup>2</sup>
Wohnungseingangstür	dauerhaft geschlossen	zwischenzeitlich offen

Basierend auf den Ergebnissen des ersten Versuches wurden in Abstimmung mit allen Projektbeteiligten die folgenden Veränderungen für den zweiten Versuch beschlossen:

- Das Fenster zum Brandraum wurde verkleinert (Abbildung 2-4). Basierend auf überschläglichen Berechnungen wurde ein Brandverhalten genau an der Grenze zwischen brandlast- und ventilationsgesteuertem Brand angestrebt.
- Die Wohnungseingangstür wurde zwischenzeitlich etwa fünf Minuten lang geöffnet. Dies geschah, noch bevor die äußere Düse aktiviert wurde. Es sollte überprüft werden, ob die innere Löschdüse auch bei geöffneter Tür das Eindringen von Feuer und Rauch in den notwendigen Treppenraum verhindern oder begrenzen kann.
- Unmittelbar neben der eigentlichen äußeren Düse wurde für den zweiten Versuch eine weitere „Dummy-Düse“ mit Sprinklerglasfässchen verbaut. Diese war nicht an das Rohr-

leitungsnetz angeschlossen. Sie diene zur Überprüfung, zu welchem Zeitpunkt die Auslösung durch Platzen des Glasfässchens bei geöffneter Wohnungseingangstür eintreten würde.

Details zur WNLA (genaue Düsenart, Durchflussmengen, Wasserdrücke, etc.) sind den entsprechenden Unterlagen des Fachplaners zu entnehmen.



*Abbildung 2-4: Ansicht des für den zweiten Versuch verkleinerten Fensterquerschnitts von innen und außen*

## 2.5 Verwendete Messtechnik

Die verwendete Messtechnik und deren Anordnung war für beide Versuche identisch. Alle Signale wurden mit einer Frequenz von 0,10 Hz aufgezeichnet. Die Temperatur innerhalb der Brandwohnung wurde mit fünf Messbäumen, die Temperatur im Treppenhaus mit zwei weiteren Messbäumen überwacht (Abbildung 2-1). Die Grundkonstruktion der Messbäume waren Beton-Bewehrungsstäbe. An diesen waren jeweils fünf Perlen-Thermoelementen befestigt, die in den folgenden Höhen über OK-FFB Temperaturen erfassten: 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm und 250 cm. Die Thermoelemente wurden durch Löcher in das erste Obergeschoss geführt. Die Löcher wurden mit temperaturbeständiger Stopfwohle abgedichtet. Die Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite der Wohnungseingangstür wurde mit insgesamt 18 Plättchen-Thermoelementen aufgezeichnet. Die Anordnung entspricht der für die am iBMB durchgeführten Vorversuche und ist in Anlehnung an DIN 4102 Teil 5 beziehungsweise DIN EN 1634-1:2018-04 festgelegt worden. Der Messstellenplan der Wohnungseingangstüren ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

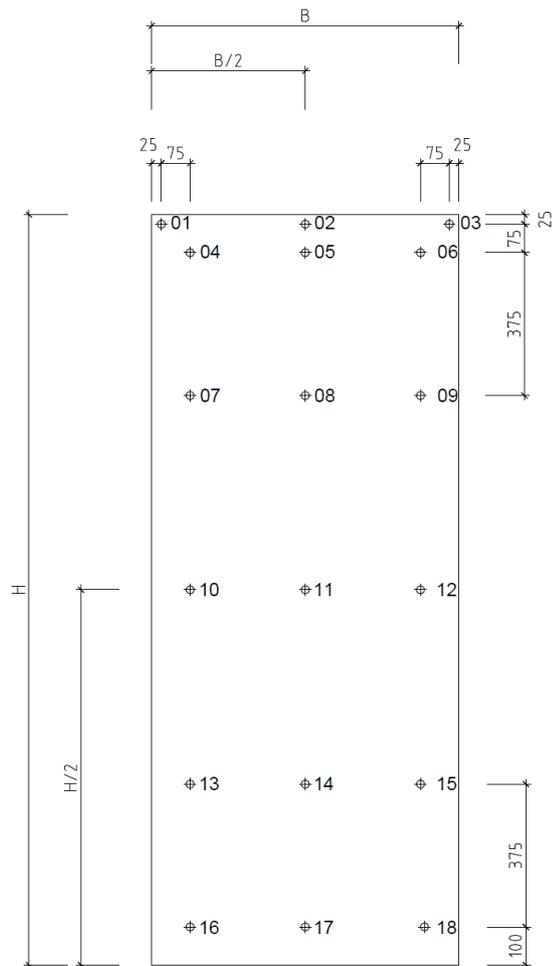


Abbildung 2-5: Aufgeklebte Thermoelemente auf Wohnungseingangstür (Versuch 1, links) und Messstellenplan Wohnungseingangstür (Versuch 1 & 2, rechts)

Im Fassadenbereich vor dem Fenster des Brandraumes wurden ebenfalls Temperaturen aufgezeichnet. Dafür wurden zwei Messgitter bestehend aus Betonstahlmatten (B x H = 1,20 m x 4,05 m) an der Fassade befestigt. Insgesamt wurden an 100 Positionen Temperaturen gemessen. Diese verteilten sich regelmäßig auf

- zwei Ebenen 25 cm und 75 cm vor der Fassade,
- fünf „Spalten“ Abstand 30 cm, abgedeckte Gesamtbreite 120 cm,
- zehn „Zeilen“ Abstand 45 cm, abgedeckte Höhe 405 cm.

Damit konnte ein Bereich entsprechend der Fensterbreite (Rohbau 117 cm) vom unteren Drittelspunkt des Fensters der Brandwohnung bis zur Oberkante des darüber liegenden Fenster des 1. Obergeschosses abgedeckt worden. Siehe Abbildung 2-6.

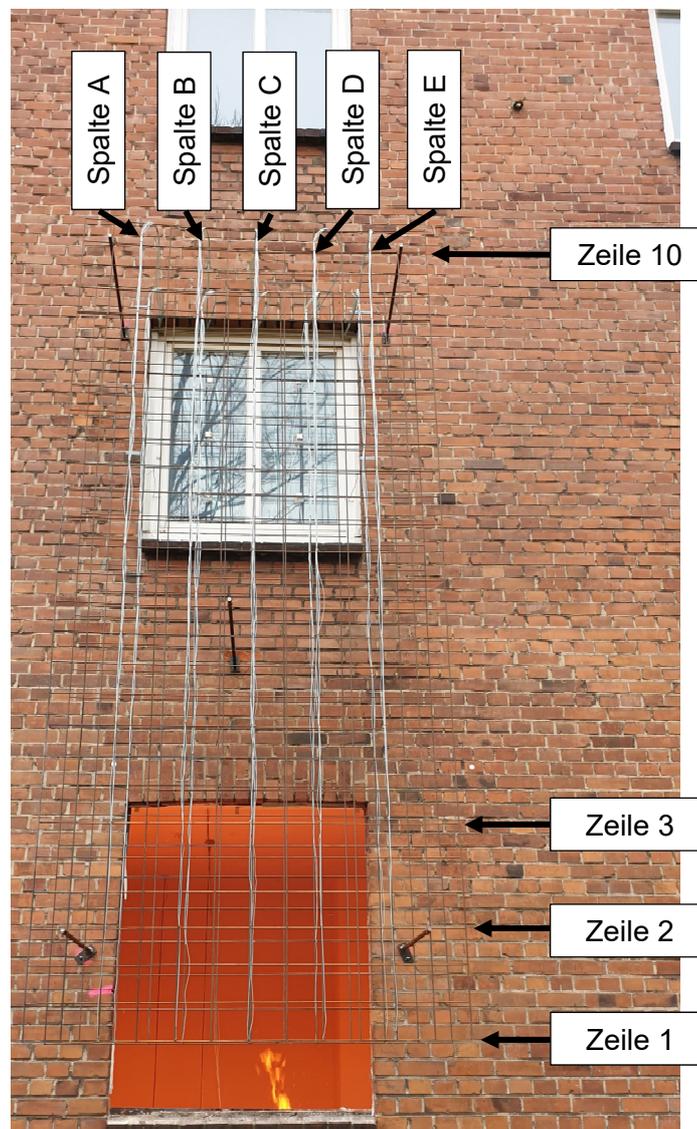


Abbildung 2-6: Anordnung des Messgitters vor der Fassade

Die Fenster über den Brandwohnungen waren während beider Versuche geschlossen. Mit 12 Plättchen-Thermoelementen je Versuch wurden die Temperatur in Grad Celsius auf der Außen- und Innenseite der Glasscheiben gemessen. Die Anordnung der Thermoelemente ist in Abbildung 2-7 dargestellt.



*Abbildung 2-7: Anordnung der Thermoelemente auf dem Fenster im 1. OG über dem Brandraum*

Die Messung der Sichttrübung erfolgte auf dem Treppenpodest im 1. Obergeschoss (Abbildung 2-8). Gemessen wurde mittels optischen Verfahren basierend auf der Extinktion eines Lichtstrahls (Lambert-Beer'sches Gesetz). Die Messung wurde etwa auf Kopfhöhe eines aufrecht stehenden Erwachsenen durchgeführt. Aus den gewonnenen Daten wurde als Vergleichsgröße die optische Dichte [ $\text{m}^{-1}$ ] abgeleitet.



*Abbildung 2-8: Rauchmessstrecke auf dem Treppenpodest im 1. OG*

### 3 Versuchsergebnisse

#### 3.1 Allgemeines

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse beider Brandversuche vorgestellt. Es wird dabei neben einer allgemeinen Beschreibung jeweils auf die Temperaturverläufe innerhalb des Gebäudes eingegangen. Der gemessene Temperaturdurchgang durch die Wohnungseingangstüren wird betrachtet. Anschließend wird auf den zentralen Aspekt der durchgeführten Untersuchungen eingegangen, die Sichtverhältnisse im notwendigen Treppenraum. Als zeitlicher Nullpunkt wurde für beide Versuche der Moment der Entzündung der Holzkippen definiert. Ein Vergleich beider Versuche findet in den jeweiligen Abschnitten des zweiten Versuchs (Abschnitt 3.3 Versuch 2) statt.

#### 3.2 Versuch 1

##### 3.2.1 Allgemeiner Versuchsablauf

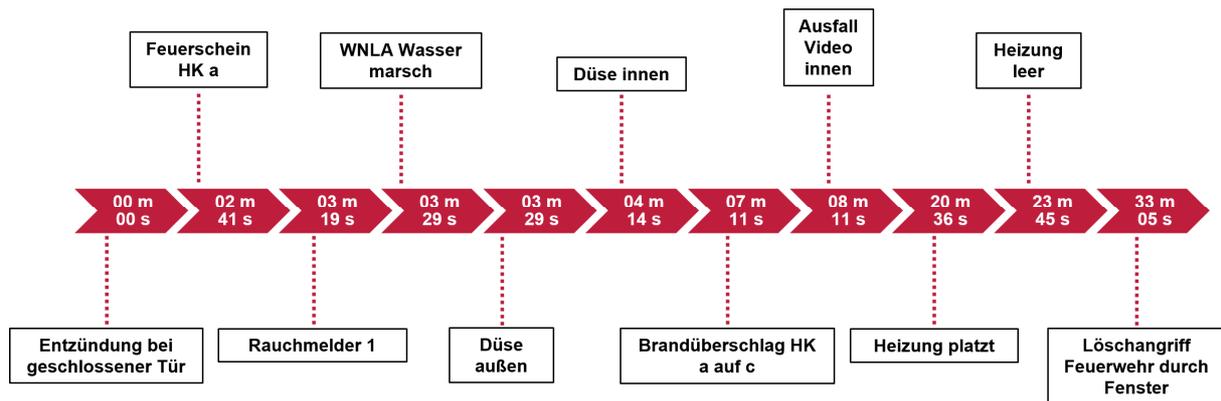


Abbildung 3-1: Zeitstrahl Versuch 1

Abbildung 3-1 zeigt den Verlauf von Versuch 1 in Form eines Zeitstrahls. Bei Versuch 1 blieb die Wohnungstür über die gesamte Versuchsdauer bis zum Einsatz der Feuerwehr geschlossen. Nach etwa 3 Minuten konnte ein erster Feuerschein in Holzkippe a erkannt werden. Wenig später löste der im Flur der Brandwohnung platzierte Rauchmelder aus. Dabei handelte es sich um ein handelsübliches Gerät, dass aus der Nutzungszeit der Wohnung stammte. Nach 3,5 Minuten wurde Wasser in das Rohrnetz der WNLA über eine mobile Pumpe eingespeist. Unmittelbar danach kam es zum Wasseraustritt an der äußeren Düse (offene Bauart). Die innere Düse mit Sprinklerglasfässchen löste etwa 45 Sekunden später aus. Nach 7 Minuten erfolgte ein Brandüberschlag von Holzkippe a auf Holzkippe c. Die im inneren der Brandwohnung angebrachte Videokamera fiel nach 8 Minuten aus. Die Heizung im Brandraum platze nach etwa

20,5 Minuten. Es entwich etwa 3 Minuten lang zischend Luft und Restwasser aus den Heizungsrohren. Der Löschangriff der Feuerwehr durch das Fenster des Brandraumes begann nach 33 Minuten.

Die folgenden Bilder (Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3) zeigen den Zustand der Wohnungseingangstür sowie des Brandraums nach Ende der Löscharbeiten. Die unverbrannten beziehungsweise nur leicht verkohlten Überreste der Holzkrippen sind in Abbildung 3-4 zu sehen. Entsprechend der Aussage der im Wohnungsinneren eingesetzten Feuerwehrkräfte handelt es sich bei der unbeschädigten Holzkrippe um Krippe g (Wohnungsflur). Die teilweise verbrannte/verkohlte Holzkrippe stand im Brandraum an der Tür zum Wohnungsflur (Krippe f). Es ist anzunehmen, dass die Löschdüse im Flur eine Entzündung der beiden Krippen verhindert hat.



*Abbildung 3-2: Zustand der Wohnungseingangstüre nach dem Brandversuch 1, Außenseite (links) und Innenseite (rechts)*



*Abbildung 3-3: Blick in den Brandraum nach Versuch 1*



*Abbildung 3-4: Unverbrannte (links) bzw. nur leicht verkohlte (rechts) Holzkippen des ersten Versuchs*

### 3.2.2 Temperaturverläufe

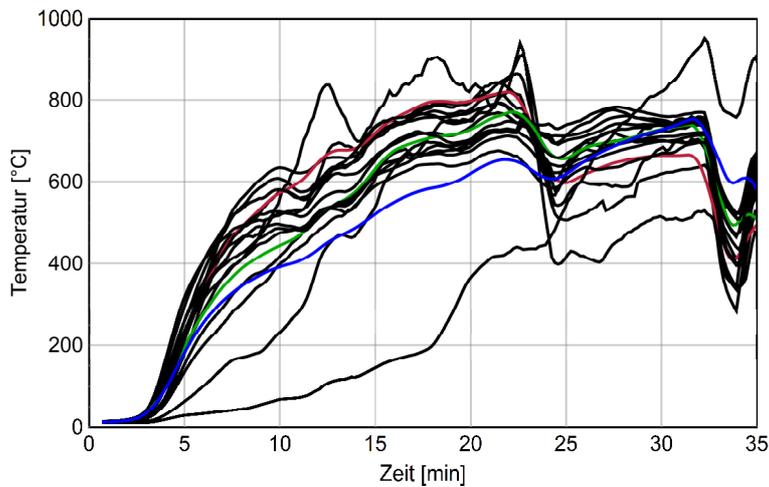


Abbildung 3-5: Temperaturverlauf V1, Messbäume 1-3, Brandraum

Abbildung 3-5 zeigt den Verlauf der Temperaturen im Brandraum, das heißt der Messbäume 1 bis 3 (schwarz), sowie deren jeweilige Mittelwerte (rot, grün und blau). Die Messwerte wurden für die Darstellung mittels gleitendem Mittelwert geglättet. Die Maximaltemperatur im Brandraum während des ersten Versuchs betrug 990 °C und wurde in Minute 32 erreicht (Hinweis: im geglätteten Diagramm nicht dargestellt). Die drei Maxima der Mittelwerte betragen

- Messbaum 1      826 °C      22,5 Minuten,
- Messbaum 2      784 °C      23 Minuten,
- Messbaum 3      764 °C      32 Minuten.

Nach einem annähernd quadratischen Temperaturanstieg bis etwa Minute 10 stiegen die Temperaturen langsamer an. Auffällig ist der deutliche Temperaturabfall in Minute 22. Dieser wurde durch das Platzen des Heizkörpers verursacht. Eine Ursache für das deutlich langsamere Ansteigen einer der Messstellen (bis Minute 18 noch < 200 °C) lässt sich nicht feststellen. Die unmittelbar benachbarte Messstelle zeigte keinerlei Verzögerung im Temperaturanstieg. Es ist anzunehmen, dass es sich um einen Defekt des Thermoelements handelt.

Messbaum 4 befand sich entsprechend Abbildung 2-1 auf der Innenseite der Türöffnung vom Brandraum zum Wohnungsflur. Abbildung 3-6 zeigt den Temperaturverlauf dieses Messbaums. Die Maximaltemperatur betrug hier 728 °C und wurde in der 21. Minute erreicht. Auffällig ist, dass zwei der jeweils fünf Messstellen nur sehr niedrige Werte von unter bis knapp über 100 °C erreichten. Sie befanden sich 0,5 m sowie 1,0 m über dem Fußboden und wurden durch Holzkrippe f abgeschirmt. In beiden Versuchen kam es nicht zu einer Entzündung der Holzkrippen f

(siehe Abschnitte 3.2.1 und 3.3.1). Der Sprunghafte Anstieg einer der beiden niedrigen Temperaturkurven in der 22. Minute kann durch das Platzen der Heizung verursacht worden sein. Die zischend entweichende Luft transportierte vermutlich Heißgase zur entsprechenden und ansonsten durch die Holzkrippe abgeschirmten Messstelle.

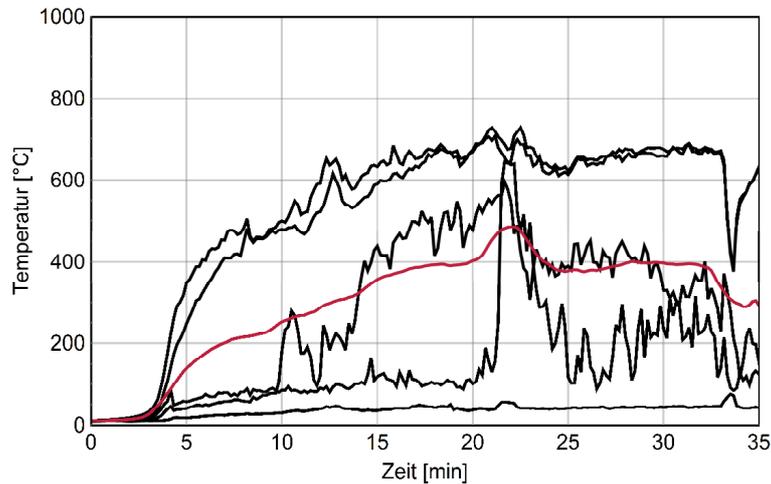


Abbildung 3-6: Temperaturverlauf V1, Messbaum 4, Tür Brandraum zu Flur

Die Temperaturen des 5. Messbaums, innen vor der Wohnungseingangstür, sind in Abbildung 3-7 dargestellt. Bei Versuch 1 wurde eine Maximaltemperatur von 345 °C in Minute 21 erreicht. Der Mittelwert erreichte in Minute 32 sein Maximum von 118 °C. Auffällig ist, dass eine Messstelle deutlich höhere Temperaturen als die anderen vier Messstellen erfasste. Es handelte sich um die oberste Messstelle, welche 2,5 m über OK-FFB angebracht war. Es ist anzunehmen, dass die Ausbreitung der Heißgase direkt unter der Decke durch die im Flur angeordnete Löschdüse am wenigsten behindert wurde.

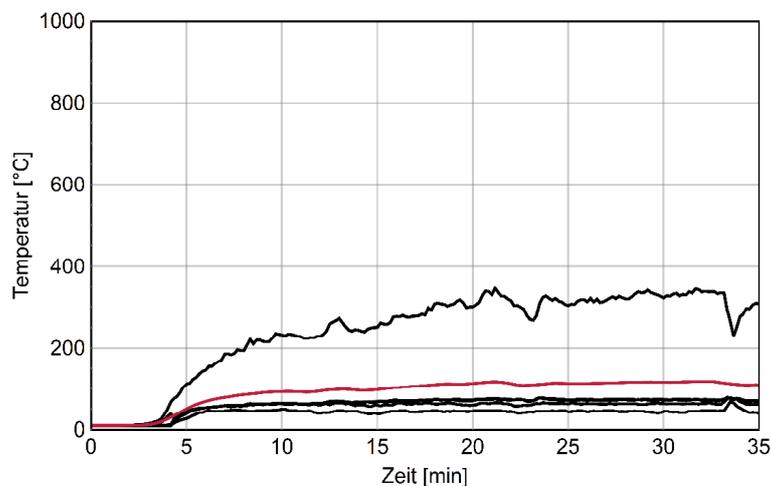


Abbildung 3-7: Temperaturverlauf V1, Messbaum 5, Wohnungseingangstür innen

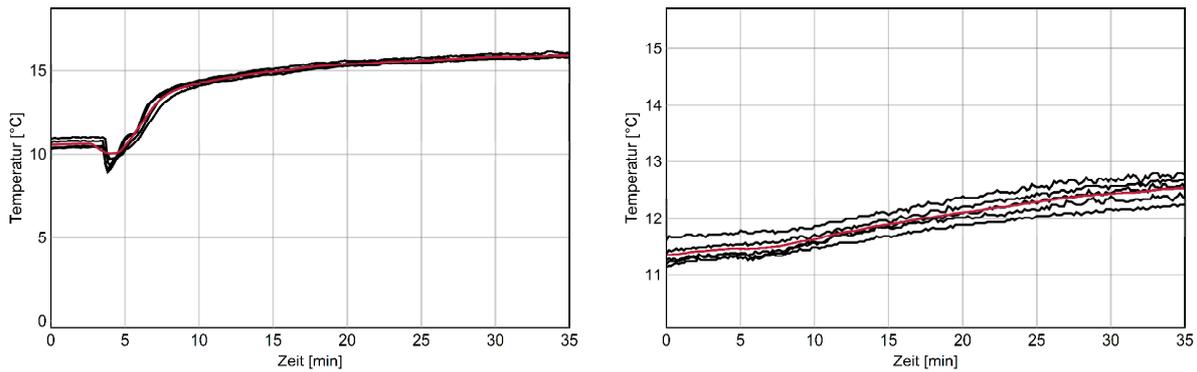


Abbildung 3-8: Temperaturverlauf V1, Messbaum 6 (links) & 7 (rechts), Treppenpodest Brandwohnung (links) & 1. OG (rechts)

Abbildung 3-8 zeigt die Temperaturverläufe im Treppenraum. Links die Messwerte auf dem Treppenpodest vor der Brandwohnung, rechts die Temperaturen auf dem darüber liegenden Treppenpodest im 1. OG. Das Auslösen der äußeren Löschdüse sorgte für einen kurzzeitigen Temperaturabfall. Danach stabilisierten sich die Temperaturen kurzzeitig. Ab Minute 6 begannen sie zu steigen und erreichten ein Maximum von etwa 16 °C. Die Temperaturen im 1. OG steigen kontinuierlich von etwa 11,5 °C auf 12,5 °C.

Insgesamt war die Temperaturerhöhung im Treppenraum, sowohl direkt vor der Brandwohnung als auch im Geschoss darüber, sehr gering. In Verbindung mit Abbildung 3-9, welche die Temperaturerhöhung auf der brandabgewanderten Seite der Wohnungseingangstür zeigt, kann davon ausgegangen werden, dass eine Selbstrettung durch den Treppenraum und an der Brandwohnung vorbei hinsichtlich Temperatur und Wärmestrahlung bei geschlossener Wohnungseingangstür möglich sein sollte.

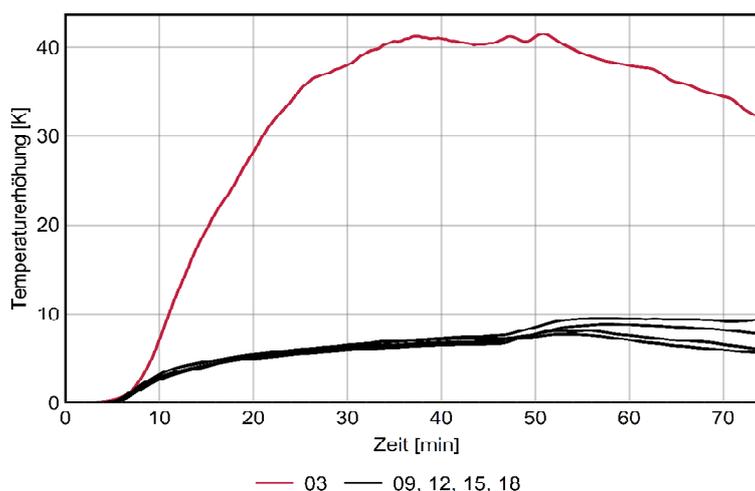


Abbildung 3-9: Temperaturverlauf V1, Temperaturerhöhung auf brandabgewandter Seite der Wohnungseingangstür, Messstellen 03/09/12/15/18 gemäß Abbildung 2-5

### 3.2.3 Sichtverhältnisse

Zur Bewertung der Sichtverhältnisse wurde die optische Dichte  $D_L$  herangezogen. Abbildung 3-10 zeigt den Verlauf dieser für Versuch 1. Das Auslösen der Löschdüsen hatte keinen messbaren Einfluss auf die Sichtverhältnisse im 1. OG. Erst ab Minute 7,5 beginnt die optische Dichte langsam und kontinuierlich anzusteigen. Zu Beginn des Löschangriffs der Feuerwehr betrug die optische Dichte etwas über  $0,03 \text{ m}^{-1}$ . Der Grenzwert von  $0,2 \text{ m}^{-1}$  wurde während des gesamten Versuchs deutlich eingehalten. (Grenzwert optische Dichte im Allgemeinen  $D_L \leq 0,2 \text{ m}^{-1}$  gemäß Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Jochen Zehfuß (Hrsg.), 4. Auflage, März 2020).

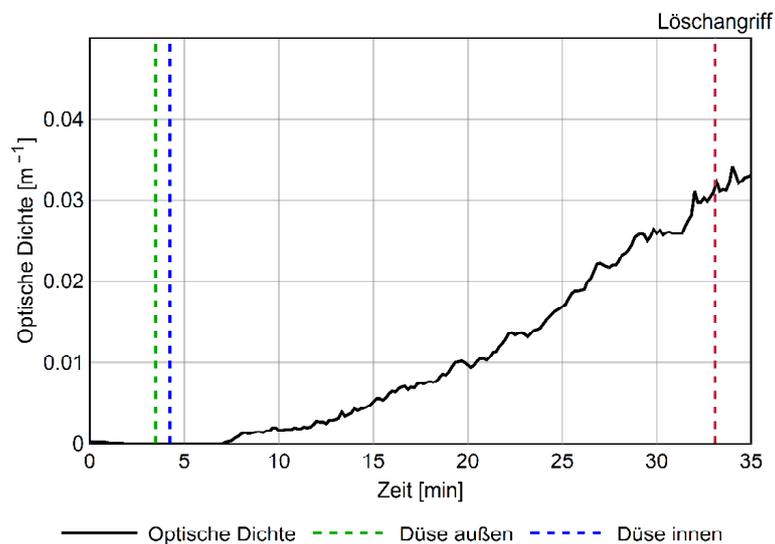


Abbildung 3-10: Verlauf der optischen Dichte (V1)

### 3.3 Versuch 2

#### 3.3.1 Allgemeiner Versuchsablauf

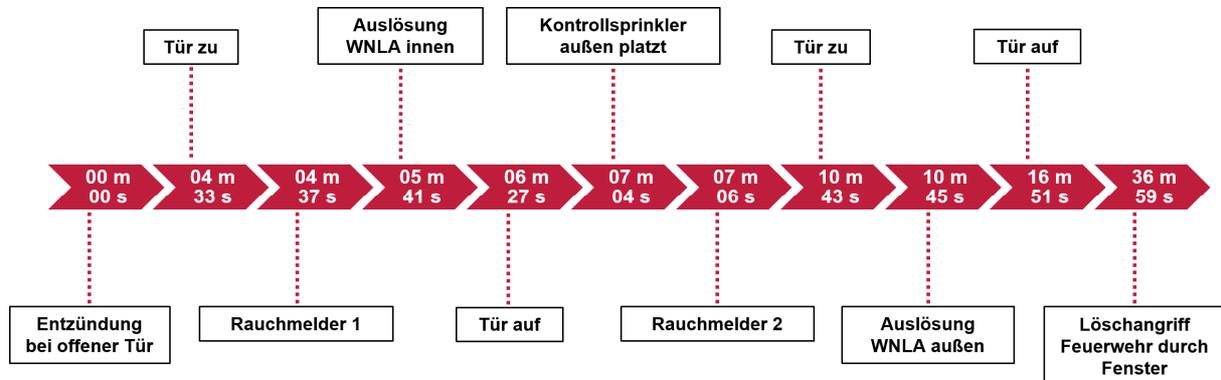


Abbildung 3-11: Zeitstrahl Versuch 2

Abbildung 3-11 zeigt den Verlauf von Versuch 2 in Form eines Zeitstrahls. Bei Versuch 2 war die Wohnungstür zu Versuchsbeginn geöffnet. Etwa 4,5 Minuten nach Versuchsbeginn wurde die Wohnungseingangstür durch Feuerwehrkräfte von außen geschlossen (simuliert aus der Wohnung flüchtende Personen schließen die Tür). Unmittelbar danach löste der im Flur der Brandwohnung angebrachte Rauchwarnmelder aus. Dabei handelte es sich um ein handelsübliches Gerät, welches aus der Nutzungszeit der Wohnung stammte. Die WNLA im Inneren der Brandwohnung löste nach 5 Minuten und 41 Sekunden aus. Etwa eine Minute später wurde die Wohnungseingangstür zum ersten Mal geöffnet (zur Untersuchung der Wirksamkeit der Rauchniederschlagung durch WNLA in Wohnung). Etwa 30 Sekunden nach dem Öffnen der Tür platzte das Sprinklerglasfässchen des Kontrollsprinklerkopfes (ohne Wasseranschluss) im Treppenraum. Zeitgleich löste der an der Decke im 1. OG des Treppenraums angebrachte zweite Rauchwarnmelder aus. Nach etwa 11 Minuten wurde die Wohnungseingangstür wieder geschlossen und die Düse der WNLA im Treppenraum manuell geöffnet. Nach 17 Minuten wurde die Wohnungseingangstüre erneut geöffnet (zur Untersuchung der Wirksamkeit der Rauchniederschlagung durch WNLA in Treppenraum) und verblieb bis zum Versuchsende offen. Der Löschangriff der Feuerwehr durch das Fenster in den Brandraum hinein begann nach 37 Minuten.

Die folgenden Bilder (Abbildung 3-12 und Abbildung 3-13) zeigen den Zustand der Wohnungseingangstür sowie des Brandraums nach Ende der Löscharbeiten. Die unverbrannten beziehungsweise nur leicht verkohlten Überreste der Holzkrippen sind in Abbildung 3-14 zu sehen. Eine Aussage welche Krippen bzw. Anteile welcher Krippen genau nicht verbrannt sind, kann

für Versuch 2 nicht gemacht werden. Aufgrund der identischen Grundrisse und Versuchsanordnungen kann davon ausgegangen werden, dass wie bei Versuch 1 die Holzrippen f und g aufgrund der Löschdüse innen sich nicht entzündet haben.



*Abbildung 3-12: Zustand der Wohnungseingangstüre nach dem Brandversuch 2, Außenseite (links) und Innenseite (rechts)*



*Abbildung 3-13: Blick in den Brandraum nach Versuch 2*



Abbildung 3-14: Unverbrannte (links) bzw. nur leicht verkohlte (rechts) Holzkippen des zweiten Versuchs

### 3.3.2 Temperaturverläufe

Aufgrund eines technischen Problems mit der verwendeten Messtechnik, welches erst bei laufendem Versuch festgestellt werden konnte, fand die Temperatureaufzeichnung erst ab Minute 25 statt. Ein umfangreicherer Probelauf im Vorfeld des Versuchs war aus zeitlichen Gründen (unvorhergesehene Notwendigkeit der Herstellung neuer Holzkippen, unplanmäßiger Wiedereinbau von Wohnungseingangstüren, etc.) nicht möglich. Es zeigte sich, dass die Temperaturkurven des zweiten Versuchs sich gut an die Kurven des ersten Versuchs anpassen (vergleiche insbesondere Abbildung 3-16). In manchen Fällen war jedoch eine Reduktion der V1-Temperaturen notwendig (siehe zum Beispiel Abbildung 3-15).

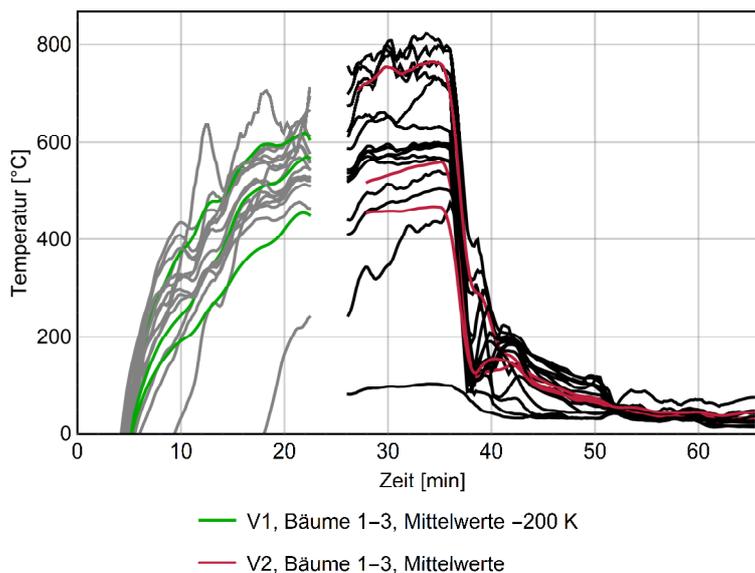
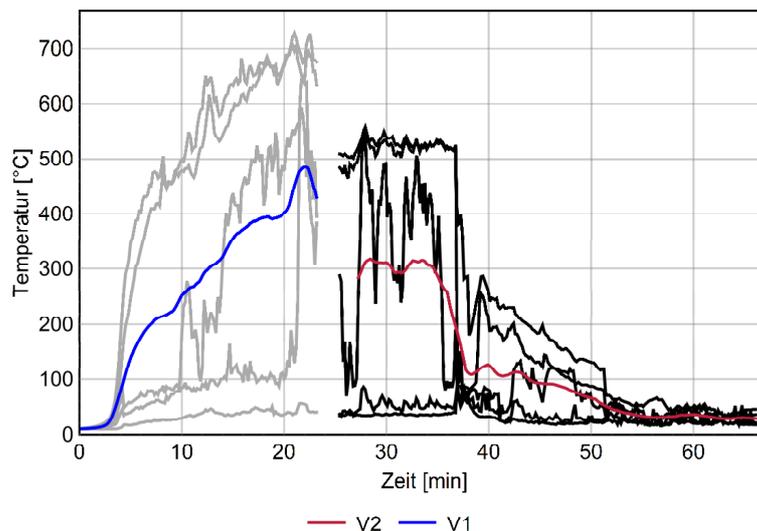


Abbildung 3-15: Temperaturverlauf V2, Messbäume 1-3, Brandraum

Abbildung 3-15 zeigt den Verlauf der Temperaturen im Brandraum, das heißt der Messbäume 1 bis 3 (schwarz), sowie deren jeweilige Mittelwerte (rot). Um vollständige Kurven zu rekonstruieren wurden die Brandraumtemperaturen des ersten Versuchs ergänzt. Diese sind grau, die Mittelwerte grün dargestellt. Die Temperaturen des ersten Versuchs mussten jeweils um ca. 200 K reduziert werden, weshalb sie auch nicht im Diagrammsprung beginnen. Die absolute Maximaltemperatur von 824 °C im Brandraum während des zweiten Versuchs wurde nach etwa 34 Minuten erreicht. Die drei Maxima der Mittelwerte betragen

- Messbaum 1      765 °C      34 Minuten,
- Messbaum 2      560 °C      35 Minuten,
- Messbaum 3      467 °C      34 Minuten.



*Abbildung 3-16: Temperaturverlauf V2, Messbaum 4, Tür Brandraum zu Flur*

Messbaum 4 befand sich entsprechend Abbildung 2-1 auf der Innenseite der Türöffnung vom Brandraum zum Wohnungsflur. Abbildung 3-16 zeigt den Temperaturverlauf dieses Messbaums. Die Maximaltemperatur betrug hier 557 °C und wurde in der 28. Minute erreicht. Sie liegt deutlich unter der dargestellten Maximaltemperatur des ersten Versuchs von über 700 °C. Auch im Mittel lagen die Temperaturen des zweiten Versuchs (rot) deutlich unter denen des ersten Versuchs (blau). In beiden Versuchen erreichten zwei der jeweils fünf Messstellen nur sehr niedrige Werte von unter bis knapp über 100 °C. Sie befanden sich 0,5 m sowie 1,0 m über dem Fußboden und wurden durch Holzkrippe f (Abbildung 2-1) abgeschirmt. In beiden Versuchen kam es nicht zu einer Entzündung der Holzkrippen f (siehe Abschnitte 3.2.1 und 3.3.1).

Messbaum 5, innen vor der Wohnungseingangstür, weist die beste Übereinstimmung der Temperaturen beider Versuche auf. Dies ist in Abbildung 3-17 deutlich zu erkennen. Ohne Korrektur schließen alle 5 Temperaturverläufe sowie die Mittelwerte quasi nahtlos aneinander an. Für Versuch 2 wurde eine Maximaltemperatur von 310 °C in Minute 28 erreicht. Der Mittelwert erreicht in Minute 30 sein Maximum von 103 °C. Auffällig ist, dass eine Messstelle deutlich höhere Temperaturen als die anderen vier Messstellen erfasste. Dies ist bei beiden Versuchen der Fall. Es handelte sich jeweils um die oberste Messstelle, welche 2,5 m über OK-FFB angebracht war. Es kann vermutet werden, dass die Ausbreitung der Heißgase direkt unter der Decke durch die im Flur angeordnete Löschdüse am wenigsten behindert wurde.

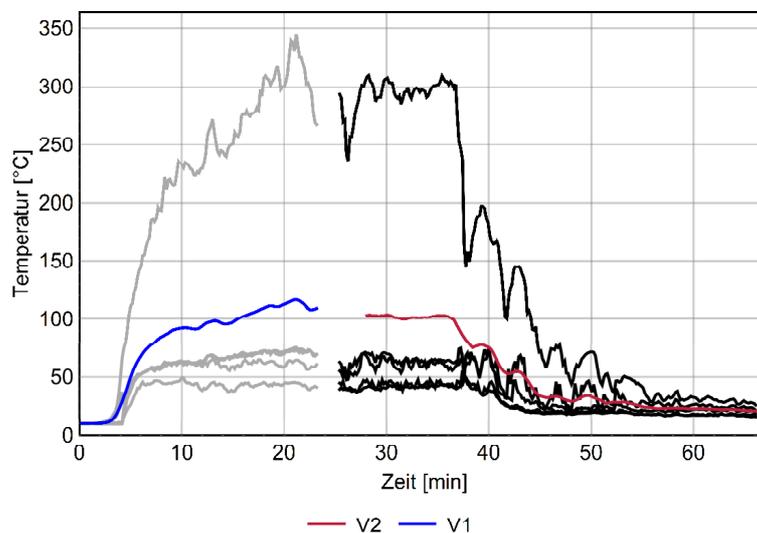


Abbildung 3-17: Temperaturverlauf V2, Messbaum 5, Wohnungseingangstür innen

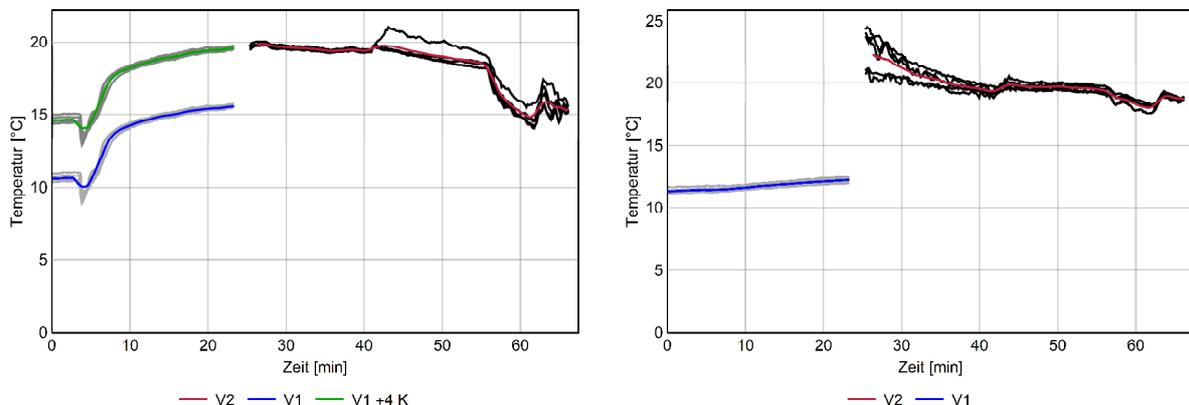


Abbildung 3-18: Temperaturverlauf V2, Messbaum 6 (links) & 7 (rechts), Treppenpodest Brandwohnung (links) & 1. OG (rechts)

Abbildung 3-18 zeigt die Temperaturverläufe im Treppenraum. Links die Messwerte auf dem Treppenpodest vor der Brandwohnung, rechts die Temperaturen auf dem darüber liegenden

Treppenpodest im 1 OG. Um einen nahtloseren Übergang der V1- auf die V2 Kurven darstellen zu können, wurden die Temperaturen des ersten Versuchs im linken Diagramm um 4 K erhöht. Es handelt sich hierbei aber vermutlich nicht um eine unterschiedliche Auswirkung der beiden Versuche. Die höhere Temperatur im Treppenaus während des zweiten Versuchs resultiert vermutlich aus den wärmeren Umgebungstemperaturen (V1 März 2020, V2 Juni 2020).

Insgesamt ist die Temperaturerhöhung im Treppenraum, sowohl direkt vor der Brandwohnung als auch im Geschoss darüber, sehr gering. In Verbindung mit Abbildung 3-19, welche die Temperaturerhöhung auf der brandabgewanderten Seite der Wohnungseingangstür zeigt, kann davon ausgegangen werden, dass eine Selbstrettung durch den Treppenraum und an der Brandwohnung vorbei hinsichtlich Temperatur und Wärmestrahlung bei geschlossener Wohnungseingangstür möglich sein sollte.

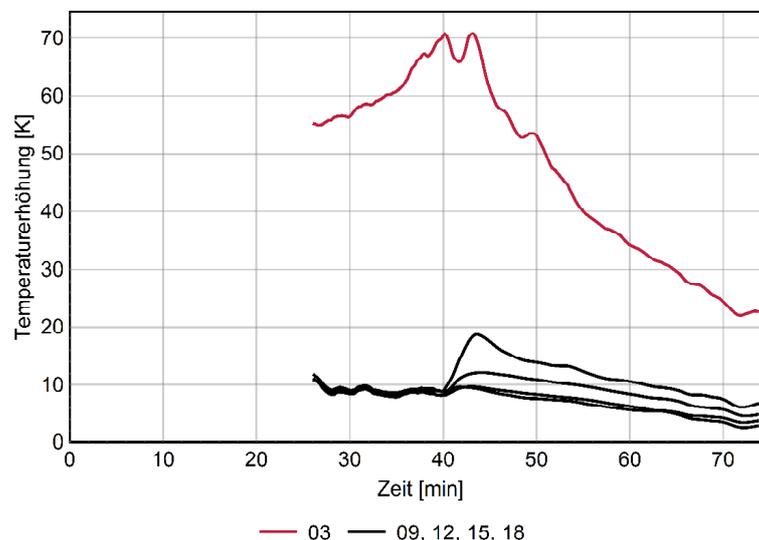


Abbildung 3-19: Temperaturverlauf V2, Temperaturerhöhung auf brandabgewandter Seite der Wohnungseingangstür, Messstellen 03/09/12/15/18 gemäß Abbildung 2-5

### 3.3.3 Sichtverhältnisse

Zur Bewertung der Sichtverhältnisse wurde wie für den ersten Versuch die optische Dichte herangezogen. Abbildung 3-20 zeigt den Verlauf dieser für den Versuch 2. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein Öffnen der Wohnungseingangstür der Brandwohnung einen unmittelbaren Einfluss auf die Sichtverhältnisse im Treppenraum hat. Nach dem Öffnen der Tür in den Minuten 6,5 und 17 steigt die optische Dichte jeweils steil an. Nach kürzester Zeit wird der Grenzwert von  $0,2 \text{ m}^{-1}$  jeweils deutlich überschritten.

Allerdings beginnt die optische Dichte nach der ersten Türöffnung in Minute 8 bereits zu sinken, noch bevor die Tür wieder geschlossen wurde. Es kann vermutet werden, dass der sehr steile Anstieg durch das schwallartige Austreten der angestauten Brandabgase sowie Wasserdampf Seite 25 von 28

zustande kommt. Eine im Brandfall dauerhaft geöffnete Tür führt unter Umständen nicht zu einem so starken Anstieg der optischen Dichte, da Rauch und Wasserdampf kontinuierlich und in geringeren Konzentrationen über den Treppenraum bei einer wirksamen Rauchableitung entweichen können. Eine abschließende Bewertung ist aufgrund der vorliegenden Versuchsdaten sowie -beobachtungen jedoch nicht möglich. Während Versuch 2 war eine Öffnung zur Rauchableitung im Dachbereich mit einem freien Querschnitt von etwa 0,5 m<sup>2</sup> dauerhaft geöffnet.

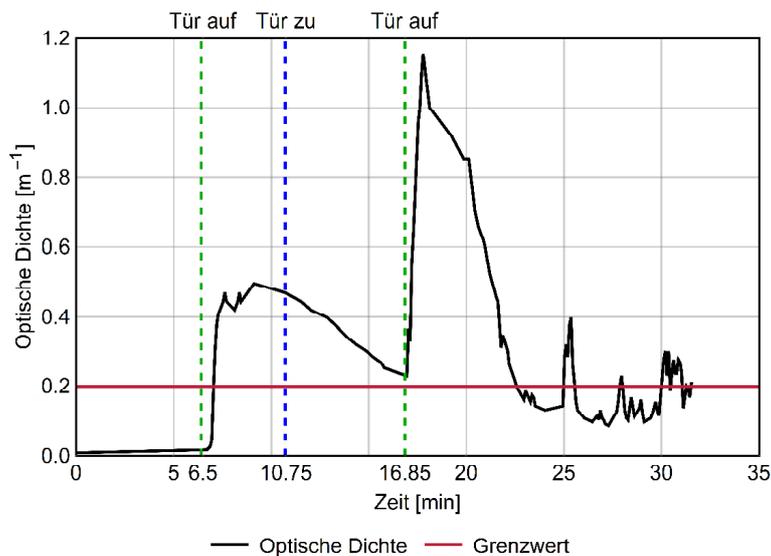


Abbildung 3-20: Verlauf der optischen Dichte (V2)

Zur Bewertung der Sichtverhältnisse wurden auch die im Treppenraum eingesetzten Feuerwehrleute befragt. Ihrer subjektiven Einschätzung nach waren die Sichtverhältnisse auf dem Treppenpodest vor der Brandwohnung gut. Von Versuchsbeginn bis zur Türschließung (Minute 10,75) wurde die Sicht nur durch Wasserdampf, kaum durch Rauch, behindert. Nach der 2. Türöffnung bis zum Beginn des Löschangriffs wurde durch die Feuerwehrleute sowohl Rauch als auch Wasserdampf beobachtet. Nach dem Löschangriff waren die Sichtverhältnisse gut und nur durch Wasserdampf beeinträchtigt. Vergleiche dazu auch die nachfolgende Tabelle 3-1.

*Tabelle 3-1: Subjektive Einschätzung der Sichtverhältnisse während des zweiten Versuchs durch die im Treppenraum sowie in der Wohnung eingesetzten Feuerwehrkräfte*

Versuchszeitraum	Einsatzort			
	Treppenraum	Wohnung		
	Feuerwehrmann 1	Feuerwehrmann 2	Feuerwehrmann 3	Feuerwehrmann 4
Beginn bis 1. Türöffnung	1C	1A	-	3C
1. Türöffnung bis Türschließung	2C	2B	-	3B
2. Türöffnung bis Löschangriff	2B	4C	1B	3B
Nach Löschangriff	2C	2C	2B	2C

Bewertungsskala:

Sichtverhältnisse 1 = sehr gut ... 5 = sehr schlecht

A nur Rauch

B Rauch und Wasserdampf

C nur Wasserdampf

## 4 Zusammenfassung

Im März und Juni 2020 wurden in zwei Wohnungen in der Sievekingsallee 206 in Hamburg-Horn Realbrandversuche durchgeführt. Dabei sollte eine anlagentechnische Kompensation zur Ertüchtigung des notwendigen Treppenraums untersucht werden. Es wurde untersucht, ob eine Niederdruck-Wasserebellöschanlage in Kombination mit üblichen Wohnungstüren das Eindringen von Feuer und Rauch in den vorgenannten Treppenraum effektiv und ausreichend lange verhindern kann.

Bei beiden Versuchen wurde jeweils eine Löschdüse im Treppenraum vor der Wohnungseingangstür sowie im Flur der Brandwohnung angeordnet. Mittels Holzkrippen wurde ein Vollbrand eines Zimmers nachgestellt, das an den Wohnungsflur angrenzte. Im Wohnungsflur war ebenfalls bei beiden Versuchen eine Holzkrippe angeordnet. Bei beiden Versuchen konnte eine Brandausbreitung auf den Flur durch die innerhalb der Wohnung angeordnete Düse verhindert werden.

Während der gesamten Dauer des ersten Versuches war die Wohnungseingangstür geschlossen. Es konnte so gut wie kein Wasserdampf, Rauch oder Feuer in den Treppenraum eindringen. Die Wohnungseingangstür blieb nahezu unbeschädigt. Der Temperaturanstieg im Treppenraum war minimal.

Beim zweiten Versuch stand die Wohnungseingangstüre zeitweise offen. Auch wurde die Auslösung der äußeren Löschdüse zeitlich deutlich verzögert. Zwar verhinderte die aktivierte Düse innerhalb der Wohnung die Brandausbreitung auf den Flur. Es zeigte sich jedoch, dass die einzelne Düse das Eindringen von Rauch und Wasserdampf in den Treppenraum bei geöffneter Wohnungseingangstüre nur unzureichend verhinderte. Der im Treppenraum gemessene Wert für die optische Dichte überstieg den Grenzwert deutlich und auch anhaltend.

Braunschweig, den 19.08.2020

	
Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Zehfuß	Lukas Gößwein, M.Sc.