

FABIAN MÜLLER | MICHAEL REICK

Versuche zur Belüftung von Brandräumen

Temperaturabnahme durch Belüftungsgerät und Mobilem Rauchverschluss

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden umfangreiche Untersuchungen zur Ventilation im Brandeinsatz mit mobilen Geräten der Feuerwehr durchgeführt. Unter anderem wurde untersucht, welchen Einfluss ein Mobiler Rauchverschluss auf die Belüftung eines Brandraumes bei Verwendung eines Belüftungsgerätes der Feuerwehr hat. Hierzu wurde ein Mobiler Rauchverschluss in die Zugangstür zu einem Brandraum mit einer realen Brandstelle eingebaut. Der Beitrag stellt die Ergebnisse vor und gibt Hinweise für die Ventilation von Brandräumen.

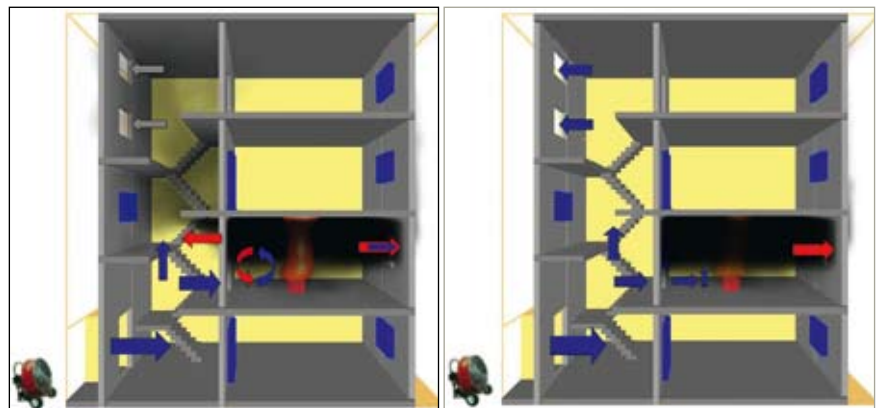
Brandrauch stellt bei Bränden aufgrund seiner Toxizität und der mit ihm einhergehenden Sichtbehinderung die größte Gefahr für Personen dar. Eine Verhinderung der Rauchausbreitung in Gebäuden ist daher von essenzieller Bedeutung, um Rettungswege rauchfrei zu halten und Brandschäden zu vermindern. Weiterhin soll die Ventilation von Brandräumen dazu dienen, die Menschenrettung und die Brandbekämpfung in diesen Räumen zu erleichtern und hierbei mögliche Gefahren zu vermeiden. Um diese Ziele schnell und bestmöglich zu erreichen, verwenden Feuerwehren motorbetriebene Belüftungsgeräte und Mobile Rauchverschlüsse. Mobile Rauchverschlüsse können unmittelbar in Verbindung mit den Belüftungsgeräten direkt an der Zuluftöffnung zum Gebäude eingesetzt werden. Die Ergebnisse hierzu (aus derselben Masterthesis [1]) wurden bereits in der Ausgabe 12/2011 von BRANDSCHUTZ/Deutsche Feuerwehr-Zeitung [2] veröffentlicht. Im vorliegenden Beitrag sollen nunmehr die Ergebnisse aus Brandversuchen vorgestellt werden, bei denen der Mobile Rauchverschluss unmittelbar an der Zugangstür zum Brandraum eingesetzt wurde. Einflussgröße dieser Brandversuche soll wiederum der Abstand des Belüftungsgerätes zur Zuluftöffnung (Lüfterabstand zum Gebäude) sein.

Werden Mobile Rauchverschlüsse innerhalb von Gebäuden in Türöffnungen eingebaut, so dient dies primär der Verhinderung der Rauchausbreitung über

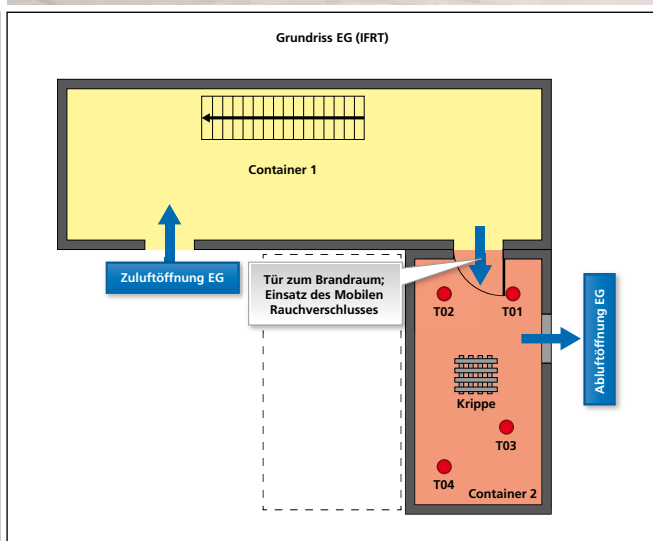
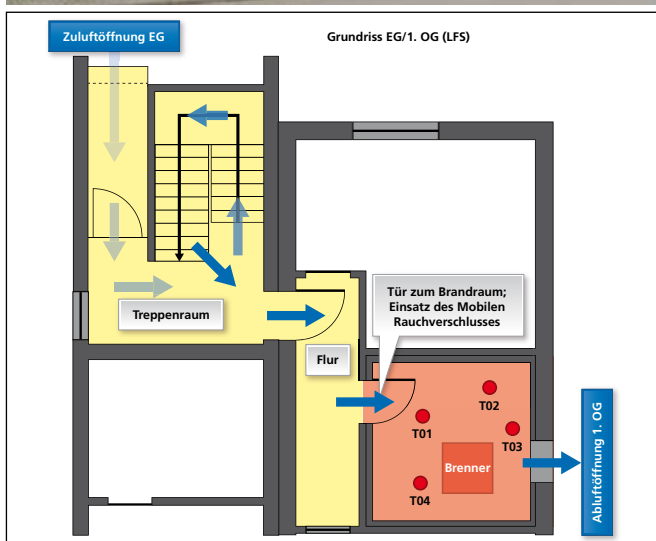
die obere Hälfte der Türöffnung. Der Mobile Rauchverschluss kann dabei an der Rauchgrenze (oftmals die Wohnungseingangstür) eingebaut werden, jedoch ist bei einem Zimmerbrand auch die Montage unmittelbar in die Eingangstür zum Brandraum möglich. Bei der Montage von Mobilem Rauchverschluss unmittelbar in die Zugangstür zu Brandräumen wirken strömungstechnisch zwei wichtige Einflüsse, deren gegenseitiges Zusammenspiel im Hinblick auf eine wirksame Belüftung eines Brandraumes genauer untersucht werden sollte: Einerseits wirkt der Mobile Rauchverschluss durch die Verkleinerung der Türöffnung wie ein Strömungswiderstand und wird daher den Volumenstrom der Zuluft in den Brandraum reduzieren.

Andererseits lenkt der Mobile Rauchverschluss den Zuluftstrom in den bodennahen Bereich, sodass dieser Bereich zuerst mit kühler Frischluft versorgt wird und die heißeren Brandgase im Brandraum nach oben hin verdrängt werden. Nach Brandsimulationsrechnungen [3] stellen sich die Luftströme wie in den Bildern unten dargestellt ein.

Um diese in [3] beschriebenen und durch Brandsimulationsrechnungen gestützten Einflüsse untersuchen zu können, sollten experimentelle Versuche durchgeführt werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Thermik in einem Brandraum aufgrund der Temperatur- und der damit verbundenen Dichteunterschiede der Rauchgase berücksichtigt wird. Versuche mit Nebelgeneratoren scheiden hierfür aus, da der daraus generierte Nebel gegenüber Brandrauch konträre Dichteverhältnisse aufweist und sich daher die Wirksamkeit von Belüftungsmaßnahmen weder qualitativ noch quantitativ bestimmen lässt. Für die nachstehend beschriebenen Versuche wurden daher Brandversuche am gasbefeuerten Brandübungshaus der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg (LFS)



links: Druckbelüftung ohne Mobilem Rauchverschluss bei geöffnetem Treppenraumfenster; Rauch tritt ein und im Brandraum kommt es zu einer starken Verwirbelung von sauerstoffhaltiger Luft und Brandgasen. **rechts:** Druckbelüftung mit Mobilem Rauchverschluss bei geöffnetem Treppenraumfenster: Es dringt deutlich weniger Brandrauch in den Treppenraum, da weniger Verwirbelungen im Brandraum entstehen, ist die Temperaturschichtung im Brandraum deutlich stärker ausgeprägt.



links oben: Ansicht des Brandübungshauses der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg in Bruchsal **rechts oben:** Frontalansicht der Brandübungsanlage von International Fire and Rescue Training (IFRT) in Kilsheim (Baden-Württemberg) **links unten:** Grundrisskizze des 1. OG zur Veranschaulichung des Luftweges und der Position der Messbäume am Brandübungshaus der LFS **rechts unten:** Grundrisskizze zur Veranschaulichung des Luftweges und der Position der Messbäume am Brandübungscontainer bei IFRT

in Bruchsal sowie am holzbefeuerten Brandübungscontainer von International Fire and Rescue Training (IFRT) in Kilsheim (Baden-Württemberg) durchgeführt. Durch umfangreiche Messungen sollte herausgefunden werden, bei welcher Konstellation aus Mobilem Rauchverschluss (in der Türöffnung zum Brandraum) und Lüfterabstand zum Gebäude eine größtmögliche Temperaturabnahme im Brandraum und insbesondere in Bodennähe möglich ist.

Da die praktischen Versuche verschiedenen Randbedingungen unterlagen, wurde zur Validierung der Ergebnisse zusätzlich eine rechnerische Brandsimulation der Versuche mit dem Programm Fire Dynamics Simulator (FDS) durchgeführt und die Ergebnisse aus Versuch und Simulation verglichen. Dadurch konnten einzelne

versuchsbedingte Einflüsse bewertet und letztlich eine bessere Auswertung der Ergebnisse ermöglicht werden.

Ventilationsversuche der Tyne and Wear Metropolitan Fire Brigade (Großbritannien) aus dem Jahre 1996 zeigten, dass durch eine frühzeitige Abführung von Heißgasen aus einem Brandraum die Gefahr einer Rauchgasdurchzündung vermindert oder gar verhindert werden kann. Außerdem können zeitnah die Sichtverhältnisse für vorgehende Einsatzkräfte und gefährdete Bewohner verbessert werden, was letztlich die Sicherheit erhöht. Zugleich werden bessere Arbeitsbedingungen geschaffen, da Temperaturen innerhalb des Gebäudes auf ein für Personen erträgliches Maß abgesenkt werden (vergleiche [4], S. 11 ff.). Sofern in einem Brandraum ein im Hinblick auf seine Zündfähigkeit »zu fettes«

Gemisch aus brennbaren Pyrolysegasen vorherrscht, muss während der Belüftung immer der Zustand des »zündfähigen Gemisches« durchschritten werden. Hierbei sollte es möglichst nicht zur Durchzündung kommen bis im gesamten Raum ein »zu mageres Gemisch« vorhanden ist.

Im Rahmen der Masterarbeit [1] war es jedoch nicht möglich, Brandversuche mit einer großen Energiefreisetzung vergleichbar einem voll entwickelten Zimmerbrand durchzuführen oder gar unterventilierte Brände mit entsprechendem Gefahrenpotenzial zu untersuchen. Mit vertretbarem Aufwand konnten nur Versuchsreihen am Brandübungshaus der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg in Bruchsal und an der Brandübungsanlage von IFRT durchgeführt werden. An der Landesfeuerwehrschule wurde am gasbetriebenen



oben: Eingangssituation mit Zuluftöffnung im EG am Brandübungshaus der LFS
unten: Eingangssituation mit Zuluftöffnung am Brandübungscontainer bei IFRT

Übungshaus ein Raum vor der Belüftung aufgeheizt (Temperatur im Deckenbereich bis zirka 250 °C), bei IFRT wurde ein Kleinbrand in Form einer Holzkrippe realisiert, welcher eine Temperatur im Deckenbereich von zirka 200 °C bewirkte. Die Wirksamkeit der Belüftungsmaßnahme sollte über Messungen der Raumtemperatur an mehreren Stellen über die Raumhöhe hinweg beurteilt werden. Das Gebäude der Landesfeuerwehrschule sowie die Containeranlage von IFRT sind in den Bildern oben auf der vorherigen Seite dargestellt.

Versuchsaufbau

Beim Brandübungshaus der Landesfeuerwehrschule befand sich der Brandraum (Wohnküche) im ersten Obergeschoss (OG). Da das Brandübungshaus mit Gas betrieben wird und die Sicherheitsbestimmungen eine mechanische Belüftung während des Beflammungsbetrie-

bes vorschreiben, konnte während der Belüftungsversuche kein Brennerbetrieb stattfinden. Es konnte daher nur ein zu Versuchsbeginn aufgeheizter Brandraum ventilert werden. Als Zuluftöffnung diente die Hauseingangstüre im Erdgeschoss (EG) (umgebaut auf 2,4 Quadratmeter), vor welcher das Belüftungsgerät in drei verschiedenen Abständen (2,5, 1,5 und 0,5 Meter) positioniert wurde. Als Abluftfläche diente das Fenster des Brandraumes (1,0 Quadratmeter). Das Verhältnis von Zuluft- zu Abluftfläche betrug damit zirka 2,5 zu 1. Der Weg des Luftstromes führte von der Hauseingangstür durch einen Flur im Erdgeschoss, durch den Treppenraum, durch die Wohnungseingangstür im ersten Obergeschoss und den dortigen Flur in den aufgeheizten »Brandraum« und über das dortige Fenster ins Freie. Zur Veranschaulichung dient das Bild unten links auf der vorherigen Seite.

Die Brandübungsanlage von IFRT besteht aus einem System mehrerer ISO-Container. Die Container sind in zwei übereinander liegenden Ebenen angeordnet und im Inneren miteinander verbunden. Für die Ventilationsversuche wurden nur die Container 1 und 2 genutzt, welche sich in der unteren Ebene rechtwinklig zueinander befinden. Beide Container sind über eine Tür (1,7 Quadratmeter Fläche) miteinander verbunden. Container 1 verfügt über eine Eingangstür (1,7 Quadratmeter Fläche), welche als Zuluftöffnung bei der Ventilation diente. Container 2 stellte den eigentlichen Brandraum dar, dessen Fenster (0,6 Quadratmeter Fläche) als Abluft-

öffnung diente. Das Verhältnis von Zuluft zu Abluftfläche betrug daher zirka 3 zu 1. Als Brandlast wurde bei allen Versuchen eine Holzkrippe aus Fichtenholz mit einer Masse von rund 20 Kilogramm verwendet. Das Bild unten rechts auf der vorherigen Seite veranschaulicht die gegebenen Örtlichkeit.

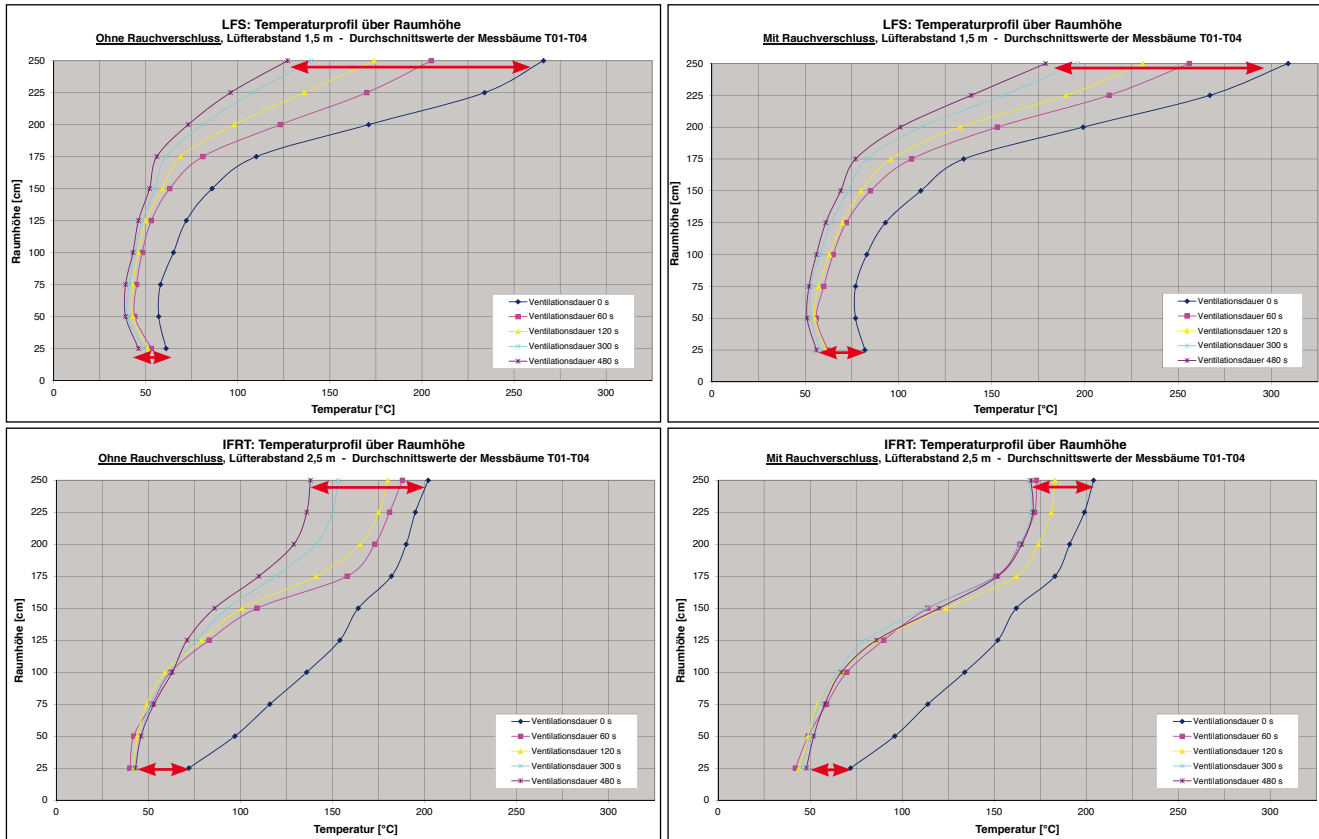
Im Rahmen der Versuche wurde ein elektrisch betriebenes Belüftungsgerät der Firma Tempest verwendet. Der Luftleitmantel-Durchmesser betrug 0,54 Meter, die Motorleistung 1,5 Kilowatt. Die erzeugte Luftleistung liegt nach AMCA 240 bei 15 500 m³/h. Während der Versuche wurde der Abstand des Belüftungsgerätes zur Zuluftöffnung variiert, wobei das Gerät jeweils niveaugleich zur Zuluftöffnung aufgestellt wurde. Dies ist in den Bildern links zu erkennen.

Als Messbäume kamen an beiden Örtlichkeiten vier Stahlstützen zum Einsatz, an denen jeweils zehn Thermoelemente vom Typ K über die Höhe verteilt angebracht wurden. Das Bild unten zeigt den Brandraum mit den Messbäumen und der Holzkrippe. Die Position der vier Messbäume ist jeweils in den Bildern auf der vorherigen Seite dargestellt.

Die zehn Messpunkte (M01 bis M10) eines jeden Messbaumes (T01 bis T04) waren gleichmäßig in einem Abstand von zirka 24 Zentimetern über die Höhe des Brandraumes angeordnet. Zu Beginn eines jeden Ventilationsversuches wurde der Raum aufgeheizt bis eine Temperatur am untersten Messpunkt (zirka 24 Zentimeter vom Fußboden entfernt) von zirka



Blick in den »Brandraum« bei IFRT: Erkennbar sind die vier Messbäume sowie die Holzkrippe.



links oben: Temperaturprofil über der Raumhöhe zu den Zeitpunkten 0, 60, 120, 300 und 480 Sekunden ohne Mobilen Rauchverschluss bei 1,5 Metern Lüfterabstand (LFS) **rechts oben:** Temperaturprofil über der Raumhöhe zu den Zeitpunkten 0, 60, 120, 300 und 480 Sekunden mit Mobilem Rauchverschluss bei 1,5 m Lüfterabstand (LFS) **links unten:** Temperaturprofil über der Raumhöhe zu den Zeitpunkten 0, 60, 120, 300 und 480 Sekunden ohne Mobilen Rauchverschluss bei 2,5 Metern Lüfterabstand (IFRT) **rechts unten:** Temperaturprofil über der Raumhöhe zu den Zeitpunkten 0, 60, 120, 300 und 480 Sekunden mit Mobilem Rauchverschluss bei 2,5 Metern Lüfterabstand (IFRT)

60 °C (LFS) bzw. 80 °C (IFRT) erreicht war. Nach dem Erreichen der festgelegten Temperaturen wurden an der Landesfeuerwehrscheule die Gasbrenner abgeschaltet, sodass die Wärmequellen während der eigentlichen Ventilationsversuche nicht mehr vorhanden waren. Bei IFRT blieb die Brandquelle (brennende Holzkrippe) während der Ventilation bestehen.

Raumtemperatur-Profile

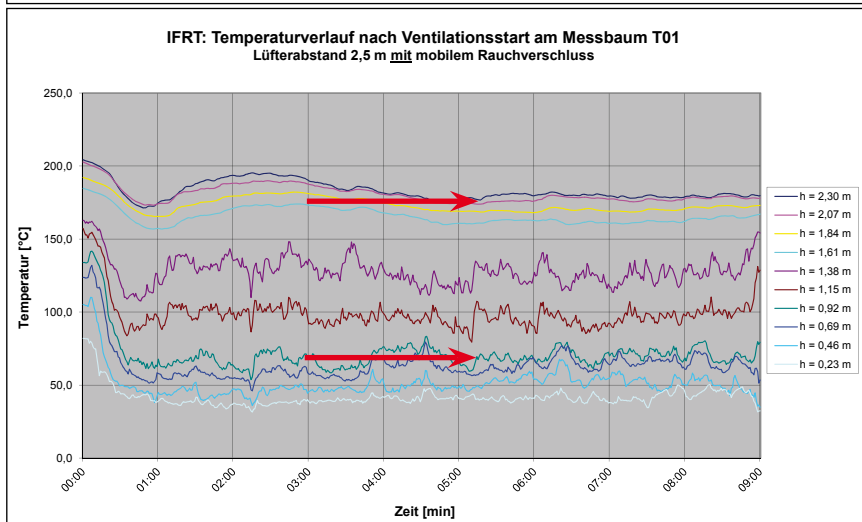
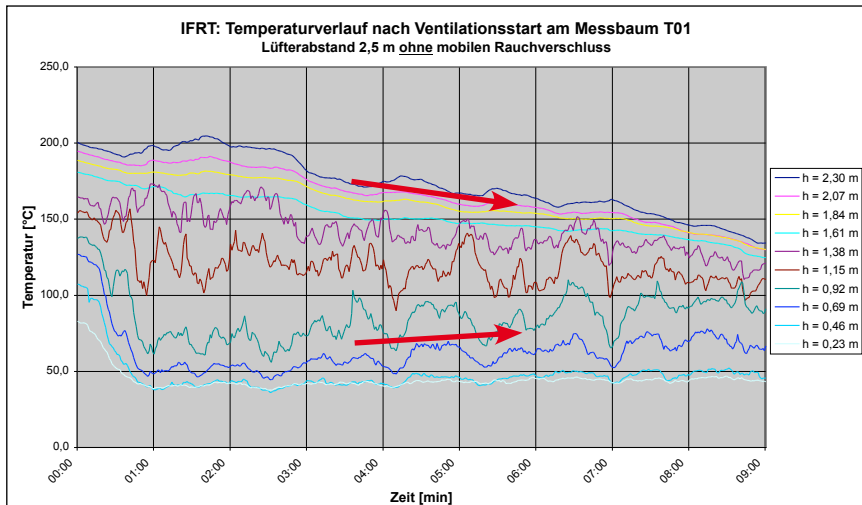
Für eine Auswertung der Raumtemperatur-Profile bei den Versuchen an der Landesfeuerwehrscheule wurde die Temperatur zu den Zeitpunkten 0, 60, 120, 300 und 480 Sekunden nach Versuchsbeginn über der Raumhöhe aufgetragen. Die Diagramme links und rechts oben zeigen diese Auswertungen für einen Lüfterabstand von 1,5 Meter. Die Profilkurven bilden Durchschnittstemperaturen ab, die aus den vier Messbäumen im Raum resultierten. Aus diesen Abbildungen lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten:

- Beim Versuch mit einem Mobilem Rauchverschluss scheint die Temperaturabnahme im oberen Raumbereich eher geringer zu sein als ohne Rauchverschluss, obwohl bei diesen Versuchen insgesamt höhere Ausgangstemperaturen vorgeherrscht haben. (Letzteres könnte mit der späteren Durchführung dieser Versuche am Versuchstag und der damit verbundenen Aufheizung des Brandraumes zusammenhängen).
- Im unteren Raumbereich hingegen scheint beim Versuch mit Mobilem Rauchverschluss die Temperaturabnahme eher stärker gewesen zu sein, wobei sich diese Temperaturabnahme im Wesentlichen auf die erste Versuchsminute beschränkt.

Insgesamt waren bei den Versuchen an der Landesfeuerwehrscheule unabhängig vom Lüfterabstand bei eingesetztem Rauchverschluss im bodennahen Bereich größere Temperaturabnahmen feststellbar; ohne Rauchverschluss hingegen waren

größere Temperaturabnahmen über einer Raumhöhe von 100 Zentimeter erkennbar. Letzteres wurde vor allem oberhalb einer Raumhöhe von 200 Zentimeter deutlich. Bei einem Lüfterabstand von 2,5 Meter kam es bei einem Versuch während der Ventilation ohne Mobilem Rauchverschluss zu einer Temperaturzunahme im bodennahen Bereich (unter 100 Zentimeter). Die Versuche an der Landesfeuerwehrscheule deuten darauf hin, dass die Temperaturschichtung mit Mobilem Rauchverschluss stärker erhalten bleibt und damit tendenziell eine bessere Ventilation des unteren Raumbereiches zulasten einer langsameren Ventilation des oberen Raumbereiches einhergeht.

Für die Versuche bei IFRT sind nachfolgend die Raumtemperaturprofile mit und ohne Rauchverschluss bei einem Lüfterabstand von 2,5 Meter gegenübergestellt (Diagramme links und rechts unten). Hierzu ist anzumerken, dass sich die Brandquelle (brennende Holzkrippe) im unteren



oben: Tendenzielle Temperaturzunahme im unteren und Temperaturabnahme im oberen Raumbereich ohne Mobilem Rauchverschluss
unten: Tendenziell gleichbleibender Temperaturverlauf im unteren und oberen Raumbereich mit Mobilem Rauchverschluss.

Raumbereich unmittelbar im Frischluftstrom befand. Dies kann erklären, weshalb sich die Temperatur im Brandraum während der zweiten Versuchsminute durch ein verstärktes Anfachen des Brandes gesteigert hat. Auch aus diesen Temperaturprofilen ist tendenziell erkennbar, dass mit einem Mobilem Rauchverschluss die Temperaturabnahme im oberen Raumbereich eher geringer ausfiel als ohne, im unteren Raumbereich sich hingegen vergleichbare Temperaturabnahmen einstellen.

Temperaturverlauf

Eine weitere Möglichkeit, die Versuchsergebnisse grafisch darzustellen, besteht darin, den gemessenen Temperaturverlauf einzelner Messpunkte über der Versuchszeit aufzutragen. Da bei den Versuchen

an der Landesfeuerwehrschule die Temperaturabnahme zu schnell verlief, ist die Darstellung nur für die Versuche bei IFRT sinnvoll.

Der Temperaturverlauf am Messbaum T01 bei IFRT ist in den Diagrammen auf dieser Seite veranschaulicht. Dieser Messbaum war unmittelbar zwischen der Zugangstür zum Brandraum und der Abluftöffnung positioniert. Für einen Lüfterabstand von 2,5 Meter ist aus den Abbildungen erkennbar, dass ohne Mobilem Rauchverschluss vor allem im oberen Raumbereich (oberes Raumdrittel) eine größere Temperaturabnahme stattfand, als dies bei den Versuchen mit Rauchverschluss der Fall war. Weiterhin ist ersichtlich, dass sich die Temperatur im unteren Raumbereich (z. B. in einer Höhe

$h = 0,92$ Meter über dem Fußboden) ohne Rauchverschluss im Laufe der Ventilation erkennbar erhöhte. Dies kann durch die Verwirbelung der Luftschichten bei einer Ventilation ohne Rauchverschluss und einer klareren Temperaturschichtung bei den Versuchen mit Rauchverschluss erklärt werden. Diese Vermutung wird auch gestützt durch die höheren Temperaturschwankungen im mittleren Raumbereich, welche sich ebenfalls mit einer erhöhten Turbulenz im Raum erklären lassen.

Vergleicht man darüber hinaus den Temperaturverlauf an den vier einzelnen Messbäumen bei den Versuchen an der Landesfeuerwehrschule, so lässt sich feststellen, dass mit einem Mobilem Rauchverschluss die Temperaturabnahme am Messbaum T01 (im Hauptluftstrom) um etwa 20 Prozent geringer, die Temperaturabnahme am Messbaum T04 (im hinteren Bereich des Raumes) jedoch um rund 15 Prozent höher ausfiel als ohne Rauchverschluss. Auch dieses Messergebnis kann mit der Vorstellung in Einklang gebracht werden, dass der Luftstrom in einen Brandraum durch den Mobilem Rauchverschluss auf den Boden gelenkt wird und dadurch der Frischluftstrom in Bodennähe weiter in die Tiefe eines Brandraumes eindringen kann.

Probleme bei derartigen Versuchen

Bevor nachstehend versucht wird, die Ergebnisse der beiden Versuchsserien zu bewerten, muss vorangestellt werden, dass reale Brandversuche äußerst komplex in ihrer Durchführung und damit entsprechend eingeschränkt in ihrer Auswertbarkeit sind. Diesbezüglich sind folgende Punkte anzuführen:

- Einfluss von Wind: An den Versuchstagen herrschte teilweise auffrischender Wind mit vereinzelt Windböen. Belüftungsversuche sollten jedoch nur bei absoluter Windstille während der gesamten Versuchsdauer durchgeführt werden (vorzugsweise in einer Halle).
- Hoher messtechnischer Aufwand: Trotz des relativ hohen Aufwandes durch die Installation von 40 Messelementen mit entsprechender EDV-Erfassung sind die messtechnischen Möglichkeiten als nicht ausreichend zu bezeichnen, um die Temperaturverteilung im Brandraum gänzlich beurteilen zu können.

- Ausgangstemperaturen: Das Temperaturniveau zu Versuchsbeginn konnte bei den Versuchen nicht konstant genug gehalten werden. Besonders an der Landesfeuerwehrschiele variierten die Temperaturbedingungen bei Versuchstart deutlich voneinander.
- Fehlende Messdaten: Für eine bessere Beurteilung weiterer Einflussfaktoren müssten messtechnisch weitere Größen erfasst werden, z. B. der Volumenstrom durch die Be- und Entlüftungsöffnung, die instationären Temperaturprofile in den Wand- und Deckenbauteilen und die Masse der Holzkrippe zur Ermittlung der Abbrandrate.

Bereits diese kurze Auflistung zeigt deutlich, wie umfangreich derartige Versuche sind und welcher enorme Aufwand betrieben werden müsste, um bessere Ergebnisse zu gewinnen. Dennoch sollen im

Folgenden mit der gebotenen Vorsicht die wichtigsten Erkenntnisse aus den beiden Versuchsserien abgeleitet werden.

Bewertung der Versuche an der Landesfeuerwehrschiele

Bei den Versuchen an der Landesfeuerwehrschiele wurde versucht, einen vor Beginn der Ventilation aufgeheizten Raum (oberes Raumdrittel zirka 200 °C, untere Raumdrittel zirka 100 °C) abzukühlen und hierbei das Wechselspiel aus Lüfterabstand und Mobilem Rauchverschluss (in der Eingangstür zum »Brandraum«) zu untersuchen. Eine Energiefreisetzung durch die installierten Gasbrenner war während der Belüftungsversuche nicht möglich, da dies den zeitgleichen Betrieb der im Gebäude installierten Lüftungsanlage bedingt hätte. Der »Brandraum« war vergleichbar mit einem Raum einer Wohnung im ersten

Obergeschoss eines Wohngebäudes. Es zeigte sich bei diesen Randbedingungen, dass weder der Lüfterabstand noch die Verwendung des Mobilem Rauchverschlusses einen signifikanten Einfluss auf die Temperaturabnahme in Bodennähe hatte. Zusätzlich zu den genannten Schwierigkeiten bei der Herstellung reproduzierbarer Versuchsbedingungen kam an diesem Gebäude noch die Schwierigkeit hinzu, dass der Aufheizevorgang der in massiver Bauweise erstellten Wände und Decken des Versuchsraumes und deren Temperaturabgabe während des Brandversuches nicht hinreichend genug kontrolliert und dokumentiert werden konnten.

Bewertung der Versuche bei IFRT

In den Versuchen bei IFRT wurden zwei hintereinander liegende Räume belüftet,



links: Eingesetzter Rauchverschluss bei den Brandversuchen an der LFS **rechts oben:** Brandversuch bei IFRT: Trotz Belüftungsgerät kam es ohne Mobilem Rauchverschluss zu einer Rauchausbreitung aus dem Brandraum in den Vorraum. **rechts unten:** Erkennbare Verschmutzung des Rauchverschlusses im oberen Drittel, die durch das Zurückhalten der Rauchgase bei den Versuchen bei IFRT verursacht wurde.

welche vergleichbar sind mit zwei Räumen im Erdgeschoss eines Gebäudes. Aufgrund der Beschaffenheit der Anlage konnten auch hier nur Temperaturen von rund 200 °C im Deckenbereich zugelassen werden. Die Brandlast war daher auf eine kleinere Holzkrippe beschränkt, welche im Zuluftstrom des Brandraumes direkt auf dem Boden aufgestellt war. Im Gegensatz zu einem Brand in einem gewöhnlichen Raum, welcher in der Regel über die Raumhöhe verteilt anzunehmen ist, wurde diese Feuerstelle durch die Ventilationsbedingungen teilweise erkennbar angefacht. Dies konnte während der Versuche deutlich beobachtet werden. Strömungstech-

nische Undichtigkeiten in der Containeranlage und vorhandene Abluftöffnungen, die sich während der Versuche teilweise in nicht geschlossenem Zustand befunden haben, erschwerten ebenfalls die Auswertung. Für den Mobilen Rauchverschluss ergab sich aufgrund der geringen lichten Höhe der Zugangstüre von nur 1,70 Meter eine weitere ungünstige Randbedingung, da hierdurch das Brandschutzgewebe des Rauchverschlusses im unteren Bereich auf dem Boden lag und sich dieses dadurch nicht frei im Luftstrom bewegen konnte bzw. überhaupt kein bodennaher freier Bereich vorhanden war. Trotz Belüftungsgerät und der relativ kleinen Brandquelle

konnte bei den Brandversuchen ohne Mobilen Rauchverschluss eine Rauchgasabströmung von Container 2 (Brandraum) in den Container 1 (Vorraum) beobachtet werden (Bild rechts oben auf der vorherigen Seite).

Bei gemittelter Betrachtung aller gemessenen Temperaturen zeigte sich analog zu den Versuchen an der Landesfeuerwehrschule, dass der Lüfterabstand keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hatte. Ebenso war feststellbar, dass es bei Verwendung eines Mobilen Rauchverschlusses im oberen Raumbereich zu einer geringeren Temperaturabnahme kam und die gemittelten Temperaturen im

Hinweise für die Ventilation von Brandräumen

Das Vordringen in einen Brandraum bedingt fast immer einen Eingriff in die Ventilationsbedingungen des Brandes. Dies geschieht a) indirekt z. B. durch das Öffnen und Offenhalten von Türen, b) bewusst durch das Öffnen von Fenstern, c) aktiv durch die Verwendung von Belüftungsgeräten und Mobilen Rauchverschlüssen und d) unkontrolliert z. B. durch das Bersten von Fensterscheiben oder durch Windeinfluss.

Die Ventilation eines Brandes in Räumen begrenzter Größe kann einen wesentlichen Einfluss auf den Brandverlauf und damit auch auf die Sicherheit der Einsatzkräfte haben. Auf Anzeichen für extreme Brandverläufe (Rauchgasdurchzündung, Backdraft und Flash-over) ist zu achten.

Eine unkontrollierte Rauchausbreitung in Gebäuden ist nach Möglichkeit zu verhindern. Insbesondere Rettungs- und Angriffswege (und damit vor allem Treppenträume und Flure!) sind rauchfrei zu halten bzw. möglichst schnell wieder rauchfrei zu bekommen.

Alle Belüftungsmaßnahmen müssen aufeinander abgestimmt sein und sind daher mit der zuständigen Führungskraft abzusprechen.

In der Erstphase eines Einsatzes (beim Vordringen in den Brandbereich zur Personenrettung und Brandbekämpfung) sollte ein Mobiler Rauchverschluss an der Rauchgrenze eingesetzt werden. Dieser

kann eine Rauchausbreitung im Gebäude und damit eine Verrauchung von Rettungswegen verringern bzw. verhindern.

Mit einem Belüftungsgerät vor einem Gebäude kann a) die Rauchgaskonzentration in einem Treppenraum reduziert, b) ein noch aktiver Brandbereich belüftet oder c) ein kontrollierter bzw. weitgehend abgelöschter Brandbereich entraucht werden.

- Fall a) und c) alleine sind in aller Regel unkritisch.
- Fall a) kann zur Menschenrettung erforderlich sein, bevor zu Fall b) übergegangen wird. Dies kann für den Brandverlauf kritisch sein.
- Im Fall b) (teilweise auch als »aggressive Ventilation« bezeichnet) ist auf die Gefahr durch extreme Brandverläufe zu achten. Dies gilt insbesondere für unterventilierte Brände sowie für Brände in Hohlräumen.
- Mit Mobilen Rauchverschlüssen an der Zuluftöffnung (Hauseingangstüre, Tuch wird über die Spannstange gelegt) kann eine optimale und leistungssteigernde Aufstellung des Belüftungsgerätes näher am Gebäude (Lüfterabstand = Höhe der Zuluftöffnung) erzielt werden.
- Es ist darauf zu achten, dass Brandrauch nicht in Bereiche ventiliert wird, in denen sich noch Personen befinden oder in die bisher kein Rauch eingebracht ist (Schadenvergrößerung).

Die Verwendung eines Mobilen Rauchverschlusses vor einem Brandraum führt zu einem geringeren Volumenstrom in den Brandbereich bei gleichzeitiger Vermeidung von Verwirbelungen im Brandraum. Durch die Lenkung des Frischluftstromes wird die Belüftung des bodennahen Bereiches tendenziell (auch in der Tiefe des Raumes) positiv beeinflusst, während die Temperaturabsenkung im oberen Raumbereich geringer ausfällt. Der Volumenbereich im Brandraum, in dem es bei den Löscharbeiten in einem zunächst unterventilierten Brand zu einem zündfähigen Brandgas-Luft-Gemisch kommt, dürfte daher geringer sein – die Gefahr eines extremen Brandverlaufes (zum Beispiel der Fall einer Rauchgasdurchzündung) lässt sich jedoch auch hier in keinem Fall ausschließen.

Im Stadium der »Nachlöscharbeiten« bzw. wenn keine Rückströmung von Brandgasen mehr zu befürchten ist, sollte das Brandschutzgewebe des Mobilen Rauchverschlusses hochgehängt werden. Damit wird der Strömungswiderstand reduziert und der belüftungsbedingte Volumenstrom durch den Brandbereich erhöht.

Wenn eine Abkühlung des Brandbereiches auf seine normale Temperatur stattgefunden hat, sollte der Mobile Rauchverschluss ausgebaut werden, um anschließend den Brandbereich weiter mit Frischluft spülen zu können.

gesamten Raum folglich höher ausfielen. Allerdings war in diesem Zusammenhang auch erkennbar, dass es innerhalb der ersten Minuten zu einem Temperaturanstieg in Bodennähe bei den Versuchen ohne Mobilen Rauchverschluss kam. Ursache hierfür können Verwirbelungen im Raum aufgrund der Ventilation sein, die eine Verlagerung von heißeren Gasen aus dem oberen in den unteren Raumbereich zur Folge hatten.

Zusammenfassung

Die vorliegenden Ausführungen zu umfangreichen Brandversuchen zeigen, wie komplex dieses Thema ist und wie schwierig es sich selbst im Rahmen einer auf mehrere Monate angelegten Masterarbeit gestaltet, geeignete Versuche durchzuführen. Die Verfasser halten es jedoch für unabdingbar, bei derartigen Versuchen den Einfluss der Thermik in einem Brandraum zu berücksichtigen. Obwohl Belüftungsversuche in »kalten Gebäuden« mit künstlichem Nebel (welcher meist schwerer als die Umgebungsluft ist) optische Beobachtungen zu Strömungen zulassen, weichen diese Strömungen im Vergleich zu den im Brandfall auftretenden Strömungen erheblich voneinander ab. Eine Übertragung von Beobachtungen bei »kalten Versuchen« auf den Brandfall ist daher nur sehr eingeschränkt möglich.

Die »thermischen Randbedingungen des Brandraumes«, die bei den hier vorgestellten Versuchen erzeugt wurden, sind zweifelsfrei als eher gering im Vergleich zu einem realen Zimmerbrand einzustufen. Höhere Temperaturen bzw. Brände mit größerer Energiefreisetzung waren jedoch im Rahmen der Möglichkeiten und im Interesse einer Schadenvermeidung an den bei den Versuchen verwendeten Räumlichkeiten nicht möglich. Auch wäre hier der Aufwand noch größer gewesen, vergleichbare Bedingungen bei Ventilationsbeginn für die einzelnen Versuche zu erzielen.

Grundsätzlich hat sich die hier angewandte Möglichkeit, die Effektivität der Belüftung durch eine kontinuierliche Messung von Temperaturen im Brandraum zu beurteilen, als geeignet erwiesen. Trotz des relativ hohen messtechnischen Aufwandes ist dieser als wesentlich einfacher anzusehen als beispielsweise eine Messung von Gaskonzentrationen einzelner Leitgase

oder die optische Messung der Sichtweite als Kennwert für die Verrauchung.

Da im Rahmen der Masterarbeit parallel zu den Brandversuchen auch begleitende Brandsimulationsrechnungen mit dem Programm FDS durchgeführt wurden, lassen sich unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse tendenziell folgende Aussagen ableiten:

- Der Abstand des Belüftungsgerätes zur Zuluftöffnung hatte bei den durchgeführten Versuchen keinen merklichen Einfluss auf die Temperaturabsenkung.
- Trotz der Verwendung eines Belüftungsgerätes und der einfachen Geometrie kam es bei den Versuchen bei IFRT zu einer Verrauchung des Vorraumes (Bild rechts oben auf Seite 87).
- Bei der Verwendung eines Belüftungsgerätes und eines Mobilen Rauchverschlusses lässt sich das Zurückhalten der Rauchgase in den Vorraum durch die Verschmutzung des Mobilen Rauchverschlusses erkennen (Bild rechts unten auf Seite 87).
- Der Einbau eines Mobilen Rauchverschlusses unmittelbar in die Zugangstür zum Brandraum reduziert den Volumenstrom, jedoch resultiert daraus auch eine geringere Verwirbelung der Rauchgase. Die Temperaturschichtung im Brandraum bleibt erhalten. Dies führt zu einer geringeren Temperaturabnahme im oberen Raumbereich, jedoch zu einer tendenziell größeren Temperaturabnahme im unteren Raumbereich bzw. in der Tiefe des Raumes.

Indessen erweist sich eine Beurteilung der Interaktion zwischen dem Brandverlauf und der Ventilation als schwierig. Hierfür seien folgende Fragestellungen beispielhaft genannt:

- Wie wirkt sich eine Zuluftströmung über die gesamte Türöffnungsfläche mit einer entsprechenden Verwirbelung der heißen und kühleren Rauchschichten auf den Brandverlauf in einem Raum aus? Dies ist sicherlich abhängig vom Stadium eines Brandes (Größe des Brandes und bisherige Ventilationsbedingungen).
- Welchen Vorteil bringt eine kühlere Temperaturschicht in Bodennähe, wenn an der Decke eine höhere Temperatur vorherrscht – für hilflose Menschen im Brandraum und deren Auffinden bzw.

für die Einsatzkräfte in Schutzausrüstung?

- Bei welchen Situationen können Einsatzkräfte der Feuerwehr die Gefahr einer Rauchgasdurchzündung bzw. eines Flash-overs leichter und vor allem rechtzeitig erkennen und damit einen Aufenthalt im Gefahrenbereich vermeiden?

Aus Sicht der Autoren müssen diese Fragestellungen auf wissenschaftlicher Basis weiter untersucht werden. Hierbei geht es letztlich um die Sicherheit bzw. Gefährdung unserer Einsatzkräfte.

Unter Berücksichtigung der gebotenen Vorsicht wurden die »Hinweise für die Ventilation von Brandräumen« im Kasten auf der vorherigen Seite formuliert, die sich aus den vorgestellten Versuchsergebnissen und aus den hierzu angestellten theoretischen Überlegungen ableiten lassen.

Literatur/Quellen

- [1] Müller, F.: Ventilation im Brandeinsatz. Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Belüftung von Räumen durch mobile Belüftungsgeräte der Feuerwehr. Masterarbeit. Institut für Rettungswesen und Gefahrenabwehr, Fachhochschule Köln, 2011.
- [2] Müller, F.; Reick, M.: Überdruckbelüftung im Treppenraum; Effiziente Ventilation durch optimalen Abstand zum Gebäudeeingang, BRANDSchutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung 12/2011, S. 930 ff.
- [3] Reick, M.: Mobiler Rauchverschluss, Die Roten Hefte/Ausbildung kompakt 212, 2. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2010.
- [4] Stott, R.: Report on PPV Trials at Oxford Road, Preston, Großbritannien, 2000. III

AUTOREN

FABIAN MÜLLER, M.Sc. B.Eng.

Feuerwehr Neckarsulm

Prof. Dr.-Ing. MICHAEL REICK
Kreisoberbrandrat

Landkreis Göppingen

Bilder: Verfasser; Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg (1); IFRT (1); VVK, nach Vorlage der Verfasser (2)