

Überdruckbelüftung im Treppenraum

Effiziente Ventilation durch optimalen Abstand zum Gebäudeeingang

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden umfangreiche Untersuchungen zur Ventilation im Brandeinsatz mit mobilen Geräten der Feuerwehr durchgeführt. Unter anderem wurde die Kombination aus einem Belüftungsgerät und einem Mobilten Rauchverschluss am Gebäudeeingang eingesetzt. Das Ziel war es, zur Rauchfreihaltung des Treppenraumes durch Kombination beider Geräte eine möglichst hohe Druckdifferenz zwischen Treppenraum und angrenzendem Gebäudebereich bei optimalem Abstand zur Gebäudeeingangstür herzustellen.

Der Erzeugung eines relativen Überdruckes kommt bei Brandeinsätzen in Gebäuden eine doppelte Bedeutung zu: Zum einen werden Rauchgase gelenkt und durch eine vorhandene Abluftöffnung abgeleitet, zum anderen kann bei geschlossenen Abluftöffnungen ein relativer Überdruck zur Rauchfreihaltung angrenzender Bereiche bewirkt werden. Letzteres ist vor allem in großen Gebäuden, wie beispielsweise Schulen, Kliniken oder Hochhäusern, von Bedeutung, in denen die Rauchfreihaltung von Flucht- und Rettungswegen eine essenzielle Voraussetzung für die Rettung von Personen und einen gezielten Löschangriff für die Kräfte der Feuerwehr darstellt [1, 2].

Bereits in früheren Versuchen aus dem Jahr 1972 wurde vom Brooklyn Polytechnic Institute in Zusammenarbeit mit dem Fire Department of New York untersucht, inwieweit es durch eine Druckbeaufschlagung möglich ist, einen Raucheintritt in Treppenräume, Aufzugsschächte oder andere Bereiche zu verhindern. Die Ergebnisse zeigten, dass zumindest bei den in den Versuchen gegebenen Bedingungen mit einer Überdruckbelüftung die Rauchausbreitung reduziert bzw. verhindert werden kann [3].

Im Jahr 1986 wurden von der National Fire Protection Association (NFPA) [4] Untersuchungen dahingehend durchgeführt, welche Druckdifferenzen mindestens für eine kontinuierliche Luftströmung erforderlich sind, um einen Raucheintritt aus einem Brandbereich in einen anderen zu verhindern. Für im gewöhnlichen Hochbau übliche Raumhöhen von 2,5 bis 3,5

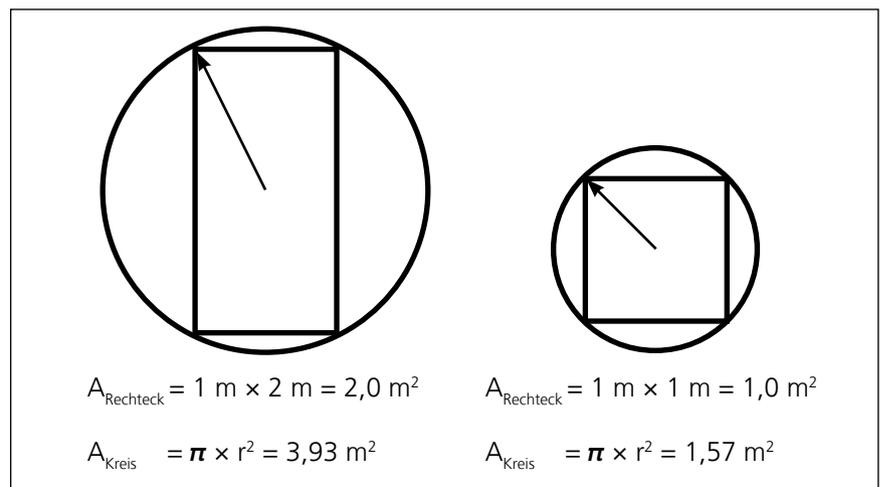
Metern wurden hierbei erforderliche Differenzdrücke von zirka 25 bis 29 Pascal (Pa) angegeben.

Ein wesentlicher Faktor für die Wirksamkeit der (mechanischen) mobilen Druckbelüftung ist die richtige Positionierung des Überdrucklüfters am Zugang zum Gebäude, wie z. B. [5] zu entnehmen ist. Eine in Lehrunterlagen ([6] S. 22 ff.) häufig genannte Hilfsgröße für den empfohlenen Abstand des Lüfters zur Eingangsöffnung ist die Türdiagonale der Zuluftöffnung. Als Begründung hierfür wird meist genannt, dass damit der erzeugte Luftkegel die Öffnung komplett umschließt. In der Praxis werden bei Feuerwehren im deutschsprachigen Raum Lüfter daher häufig in einem Abstand von zwei bis drei Metern vor Eingangstüren aufgestellt.

Das National Institute of Standards and Technology (NIST) empfiehlt in [1]

hingegen ein optimalen Abstand von 1,2 bzw. 1,8 Meter in Abhängigkeit des Lüfterdurchmessers. Als Neigungswinkel für den Lüfter werden hierbei 80 bis 85 Grad empfohlen. Diesen Angaben liegen Versuche zugrunde, die an einem Hochhaus mit 30 Geschossen stattfanden. Als Kriterium diente dabei die Höhe der gemessenen Differenzdrücke in jedem Geschoss.

In weiteren Versuchen des NIST wurde in [1] ebenfalls untersucht, ob durch eine bewusste Reduzierung der Türhöhe eine signifikante Beeinflussung des erzeugbaren Differenzdruckes erzielt werden kann. Hierfür kann z. B. ein »Rahmen« vergleichbar den Vorschlägen von Reick in [8] eingesetzt werden. Die Versuche des NIST zeigten, dass hierdurch deutlich höhere Differenzdrücke gemessen werden können. Begründung hierfür kann sein, dass der annähernd kreisförmige Luftkegel eines Ventilators besser (und damit mit weniger Verlusten) auf eine quadratische Zuluftfläche (mit einem Meter Kantenlänge) passt im Vergleich zu einer rechteckigen Zuluftöffnung (mit einem Meter Breite und zwei Metern Höhe). Betrachtet man für eine erste überschlägliche Berechnung die Übereinstimmung des Luftkegels eines Ventilators mit der rechteckigen Öffnung einer Eingangstür, so ergibt sich ein



Vergleich der überlappenden Kreisflächen zu einer rechteckigen und einer quadratischen Öffnungsfläche. Der Verlust der Kreisfläche bei Auftreffen auf das Rechteck beträgt links 49 und rechts 36 Prozent.



Außenansicht des für die Versuche verwendeten Treppenraumes

Verlust von fast der Hälfte der Fläche. Bei einer quadratischen Zuluftöffnung ergibt sich hingegen ein Verlust von etwa einem Drittel. Dies mag bei einer ersten Betrachtung nicht besonders unterschiedlich erscheinen, andererseits ist jedoch auch die Strömungsverteilung im Luftkegel des Ventilators relevant und daher erscheinen praktische Versuche zur Bestimmung der Unterschiede sinnvoll.

Im Rahmen der Masterarbeit [9] sollte daher mit untersucht werden, wie sich in Abhängigkeit des Lüfterabstandes zum Gebäude ein größtmöglicher Differenzdruck sowohl bei einem geöffneten als auch bei geschlossenen Fenstern im Treppenraum

erzeugen lässt. Hierzu fanden zahlreiche Differenzdruckmessungen in einem Treppenraum eines Industriegebäudes statt. Als Kriterium zur Quantifizierung der Effektivität diente hierbei die Größe des Differenzdruckes im dritten Obergeschoss zwischen dem belüfteten Treppenraum und dem angrenzenden Geschoss.

Wie in den Bildern unten dargestellt, wurde die Eingangsöffnung des Gebäudes durch Einbau von einem bzw. zwei Mobil Rauchverschlüssen in ihrer Höhe verkleinert. Beim Einsatz eines Mobil Rauchverschlusses lag dessen (feste) Unterkante auf einer Höhe von 1,57 Meter, der lose Teil (Tuch) befand sich in einer Höhe von 1,20 Meter. Bei zwei (untereinander) eingebrachten Mobil Rauchverschlüssen betrug die lichte Höhe zwischen Boden und fester Unterkante 1,10 und 0,95 Meter zwischen Boden und Unterkante des losen Tuches. Das Tuch des Mobil Rauchverschlusses wurde hierbei jeweils über die Spannstange gelegt, sodass es nicht frei herunterhängen konnte, sondern sich im unteren Bereich eine freie Öffnung ergab.

Alle Messungen erfolgten zum einen bei geschlossenen Fenstern, zum anderen bei einem im dritten Obergeschoss geöffneten Treppenraumfenster, siehe Bilder auf der nächsten Seite. Die Messung des Differenzdruckes erfolgte im dritten Obergeschoss auf einer Höhe von zirka einem Meter über dem dortigen Fußboden durch Einbringung eines Messschlauches im Be-

reich des Türschlusses. Die verbleibende Öffnung wurde mit einem Klebeband abgedichtet.

Bei geschlossenen Fenstern im Treppenraum wurden in Abhängigkeit des Lüfterabstandes und der Anzahl eingesetzter Mobil Rauchverschlüsse in der Zuluftöffnung die im oberen Bild auf der letzten Beitragsseite dargestellten Differenzdrücke im dritten Obergeschoss gemessen.

Aus diesen Messergebnissen kann abgeleitet werden, dass durch die Verkleinerung der Höhe der Zuluftöffnung eine deutliche Erhöhung des Differenzdruckes erzielt werden konnte.

Der größte gemessene Wert von zirka 53 Pascal stellte sich bei einem Lüfterabstand von 0,5 Meter unter Verwendung von zwei Mobil Rauchverschlüssen ein. Bei der Verwendung eines Mobil Rauchverschlusses konnte der größte Wert von 32 Pascal bei einem Lüfterabstand von 1,0 Meter erzielt werden, ohne Rauchverschluss wurde ein maximaler Differenzdruck von 24 Pascal bei einem Lüfterabstand von zwei Meter gemessen.

Bei einem geöffneten Fenster im dritten Obergeschoss des Treppenraums wurden in Abhängigkeit des Lüfterabstandes und der Anzahl eingesetzter Mobil Rauchverschlüsse in der Zuluftöffnung die im unteren Bild auf der letzten Beitragsseite dargestellten Differenzdrücke im dritten Obergeschoss gemessen. Wie aus dieser Grafik hervorgeht, sind die erzeugten Differenzdrücke bereits bei nur einem geöff-



links: Zuluftöffnung im Erdgeschoss mit einem eingesetzten Mobil Rauchverschluss; lichte effektive Höhe der Zuluftöffnung zirka 1,5 Meter. Das herunterhängende Tuch wird hierzu hochgeschlagen und über die Spannstange gehängt. **rechts:** Zuluftöffnung im Erdgeschoss mit zwei eingesetzten Mobil Rauchverschlüssen; lichte effektive Höhe der Zuluftöffnung zirka ein Meter. Das herunterhängende Tuch wird hierzu hochgeschlagen und über die Spannstange gehängt.



links: Außenansicht des Treppenraumes mit geschlossenem Lüftungsfenster **rechts:** Außenansicht des Treppenraumes mit geöffnetem Lüftungsfenster. Die Öffnungsfläche beträgt zirka 1,25 Quadratmeter.

neten Treppenraumfenster wesentlich geringer als dies bei geschlossenen Fenstern der Fall war.

Ähnlich der Ergebnisse bei geschlossenem Fenster konnten auch hier mit der Einbringung zweier Mobiler Rauchverschlüsse in der Zuluftöffnung die größten Differenzdrücke von 8 Pascal erzeugt werden. Bei Verwendung eines Mobilen Rauchverschlusses konnte ein maximaler Differenzdruck von 6 Pascal erreicht werden. Ohne Verwendung eines Mobilen Rauchverschlusses konnten nur Differenzdrücke von etwa 4 Pascal gemessen werden.

Bewertung der Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse zeigen deutlich, dass die Reduzierung der lichten Höhe der Eingangsöffnung durch Verwendung von einem bzw. zwei Mobilen Rauchverschlüssen eine Steigerung des Differenzdruckes von 50 bzw. von sogar 100 Prozent erreicht werden kann. Diese Beobachtung konnte sowohl bei geöffnetem als auch bei

geschlossenem Treppenraumfenster gemacht werden.

Bei geschlossenem Treppenraumfenster war es wichtig, dass der Abstand des Lüfters zur Zuluftfläche etwa der effektiven lichten Höhe der Zuluftfläche entspricht. Andernfalls haben sich bei den Versuchen deutliche Verluste bei den erreichbaren Differenzdrücken eingestellt. Bei geöffnetem Treppenraumfenster war dies nicht der Fall und der Lüfter konnte mit einem größeren Abstand zur Zuluftfläche aufgestellt werden. Sind bei einem Brandeinsatz im Geschosswohnungsbau Räumlichkeiten in einem oberen Geschoss zu entrauchen, dann muss die Luftströmung auf der Brandebene durch Räume und Türen und letztlich durch das Abluftfenster geführt werden. Der Strömungswiderstand, welcher sich in der Praxis einstellt, wird daher regelmäßig zwischen den beiden untersuchten Fällen liegen. Da bei weiteren Störeinflüssen (z. B. auch bereits bei leichtem Wind!) der Gegendruck zur gewollten Luftströmung in einem Gebäude ansteigen

kann, wird tendenziell für eine sichere Belüftung im Brandeinsatz eher der erste Fall (geschlossener Treppenraum) als relevante Konstellation zu betrachten sein.

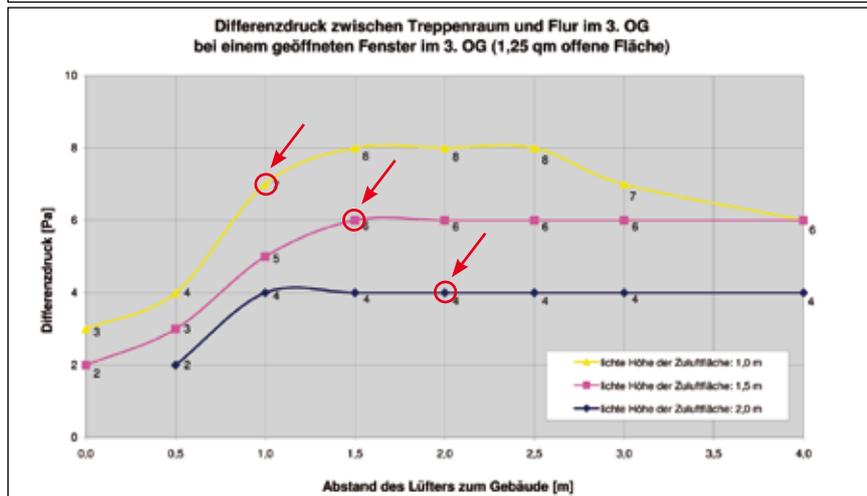
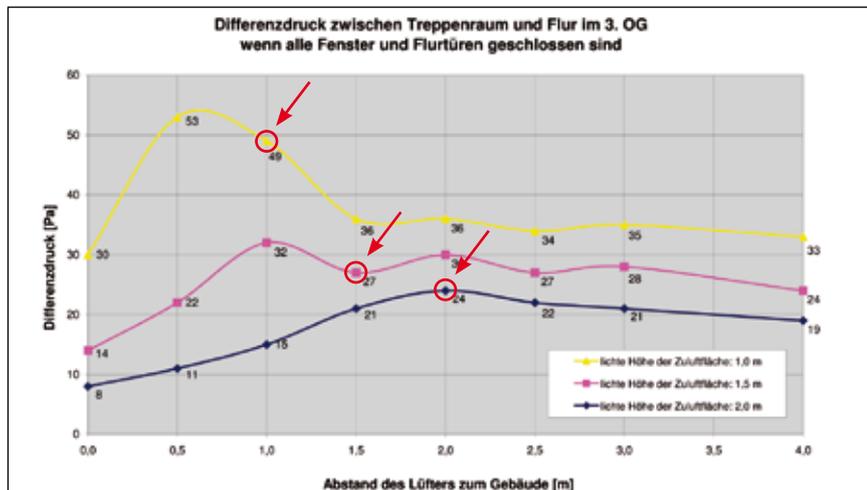
Obwohl die Untersuchungen nur mit einem einzigen Belüftungsgerät (elektrischer Antrieb, 1,5 Kilowatt Leistung, Lüfterdurchmesser 54 Zentimeter, Luftleistung nach AMCA 240 rund 15 500 m³/h) durchgeführt wurden, bestehen jedoch aufgrund der in [1] vorgestellten Versuchsergebnisse keine grundsätzlichen Bedenken gegen die nachstehenden Schlussfolgerungen.

Schlussfolgerungen

Es mag zunächst unverständlich wirken, bei einem Brandeinsatz die Eingangstür eines Gebäudes teilweise zu verschließen. Sind in der ersten Einsatzphase noch eine größere Anzahl von Menschen aus dem Gebäude zu retten oder es sollen die Einsatzkräfte der Feuerwehr in keinsten Weise behindert werden, ist ein derartiges Vorgehen mit einem Teilverschluss der Eingangstür kritisch zu betrachten. Auch kann die reduzierte Belichtung des Eingangsbereiches ein Gegenargument sein. Allerdings konnte bei Übungen und Einsätzen, bei denen dieses Vorgehen schon angewendet wurde, festgestellt werden, dass diese Behinderung als absolut vernachlässigbar bezeichnet werden kann. Für Einsatzkräfte der Feuerwehr ist das einmalige Hindurchgehen durch ein »Hindernis« mit einer lichten Höhe von 1,0 Meter (in jedem Fall jedoch bei einer lichten Höhe von 1,5 Meter) kein Problem. Indessen wurde sogar als positiver Nebeneffekt beobachtet, dass dieses Vorgehen ein Hemmnis für Nicht-Einsatzkräfte darstellt, ein Gebäu-



links: Bei einer lichten Höhe der Zuluftöffnung von rund 1,5 Meter sollte der Abstand des Belüftungsgerätes ebenfalls 1,5 Meter betragen. **rechts:** Bei einer geringeren Höhe ist auch der Abstand zwischen der Zuluftöffnung und dem Belüftungsgerät entsprechend zu verringern.



oben: Darstellung der gemessenen Differenzdrücke in Abhängigkeit des Lüfterabstandes bei geschlossenem Treppenraumfenster und a) keinem, b) einem und c) zwei eingesetzten Mobilten Rauchverschlüssen in der Zuluftöffnung

unten: Darstellung der gemessenen Differenzdrücke in Abhängigkeit des Lüfterabstandes bei geöffnetem Treppenraumfenster bei a) keinem, b) einem und c) zwei eingesetzten Mobilten Rauchverschlüssen in der Zuluftöffnung

de während eines laufenden Brandeinsatzes zu betreten. Im Einsatzfall kann die Feuerwehr dadurch auch ein Gebäude als »Gefahrenbereich« kennzeichnen, was den Vorteil haben kann, dass andere Einsatzkräfte bzw. Zivilisten das Hineingehen in das Gebäude mit der Feuerwehr absprechen. Stehen jedoch keine der vorgenannten Überlegungen der Reduzierung der lichten Höhe der Zuluftöffnung entgegen, kann durch diese Maßnahme die Wirkung einer Überdruckventilation erheblich gesteigert werden. Im Hinblick auf die Effektivität einer maschinellen Belüftung durch die Feuerwehr zeigt sich:

- Durch den Einbau eines Mobilten Rauchverschlusses in einer Zuluftöffnung kann die erzeugbare Druckdifferenz im Gebäude um rund 50 Prozent gesteigert

werden. Die lichte Höhe der Zuluftfläche beträgt dann in der Regel rund 1,5 Meter und der Abstand des Lüfters zur Eingangstür sollte (bei Aufstellfläche auf dem Niveau der Eingangsöffnung) ebenfalls rund 1,5 Meter betragen.

- Durch den Einbau von zwei Mobilten Rauchverschlüssen in einer Zuluftöffnung kann die erzeugbare Druckdifferenz im Gebäude um rund 100 Prozent gesteigert werden. Die lichte Höhe der Zuluftfläche beträgt dann in der Regel rund ein Meter und der Abstand des Lüfters zur Eingangstür sollte (bei Aufstellfläche auf dem Niveau der Eingangsöffnung) ebenfalls rund ein Meter betragen.

Zum besseren Verständnis wurden in den Grafiken auf dieser Seite die Werte gekenn-

zeichnet, die sich bei Einhaltung dieser »Abstandsregel« ergeben. Verkürzt gesagt können folgende Merksätze gelten:

- Eine Reduzierung der lichten Höhe der Zuluftöffnung kann bei gleichzeitig reduziertem Lüfterabstand eine deutliche Steigerung der Belüftungsmaßnahmen bewirken.
- Ein Belüftungsgerät sollte mit einem Abstand von etwa der lichten Höhe der Belüftungsöffnung vor dieser aufgestellt werden.

Literatur/Quellen

- [1] Kerber S., Madrzykowski D., Stroup D. W.: NISTIR 7412 – Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD 20899, 2007.
- [2] Lessig R., Teske J., Wilk E.: Die Belastung des Menschen durch Brandrauch. In: Tagungsband der Jahrestagung 2002 des vdfb, Vereinigung zur Förderung des Brandschutzes e. V., Druckerei und Verlagshaus Mainz, Aachen, S. 103-131.
- [3] Decicco P. R., Cresci R. J., Correalo W. H.: Fire Tests, Analysis and Evaluation of Stair Pressurization and Exhaust in High-Rise Office Buildings. New York: Polytechnic Institute of Brooklyn, 1972.
- [4] NFPA 92A: Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences. o. O., 2006.
- [5] Lebey M. M., Vidor R.: Development of a free jet generated by an axial turbine in an open space. Application to Ventilation in Fire Fighting (VFF). Université du Havre – Faculté des Sciences et Techniques. Le Havre, France.
- [6] Schmidt G., Schlusche E.: Überdruckbelüftung, Die Roten Hefte/Ausbildung kompakt 203. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2005.
- [7] Kerber S.: NISTIR 7315 – Evaluation of the Ability of Fire Dynamics Simulator to Simulate Positive Pressure Ventilation in the Laboratory and Practical Scenarios. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD 20899-8661, 2006.
- [8] Reick M.: Mobilten Rauchverschluss, Die Roten Hefte/Ausbildung kompakt 212, 2. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2010.
- [9] Müller F.: Ventilation im Brandeinsatz, experimentelle und numerische Untersuchungen zur Belüftung von Räumen durch mobile Belüftungsgeräte der Feuerwehr, Masterarbeit, 2011. III

AUTOREN

FABIAN MÜLLER

Fachhochschule Köln,
Masterstudiengang Rettungs-
ingenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. MICHAEL REICK
Kreisoberbrandrat

Landkreis Göppingen

Bilder: Verfasser