

Impulse für den Brandschutz

Wirksame Entrauchungskonzepte sind heute ein wesentliches Element des Brand- und Personenschutzes in Gebäuden. In der Regel sind hierzu große Luftmengen aus dem Gebäude abzuführen, was durch mechanische oder natürliche Rauchabzüge realisiert werden kann. Erhebliche Probleme ergeben sich dabei bei der Zuluftnachströmung, die in vielen Fällen nicht sachgerecht realisiert werden kann. Dieser Artikel erläutert die Hintergründe und zeigt neue Lösungswege auf.



Dr.-Ing. Eckehard Fiedler,
M+W Zander Gebäudetechnik GmbH.

Die größte Gefahr für Personen geht im Brandfall vom Rauch aus. Rauch kann sich sehr schnell im Gebäude ausbreiten und auch weit entfernt vom Brandherd Personen schädigen. In erster Linie ist es der direkte Kontakt mit schädlichen Gasen wie Kohlenmonoxyd, der zur Vergiftung führt. Die Sichtbehinderung durch Rauch birgt ebenfalls große Gefahren, da sie Personen daran hindern kann, das Gebäude zu verlassen.

Entrauchung hat daher folgende Ziele:

1. Rauchausbreitung im Gebäude verhindern
2. Den Rauch von Personen und Einrichtung fernhalten
3. Sicht im Gebäude zumindest in Augenhöhe gewährleisten.

Der dritte Punkt ist auch für den Schutz des Gebäudes von Interesse, denn er erleichtert der Feuerwehr die Brandlokalisierung und erlaubt daher einen effektiven Löschangriff.

Die DIN 18232 definiert als Bemessungsgrundlage für Entrauchungseinrichtungen eine angestrebte Dicke der raucharmen Schicht von 2,50 m, die über einen längeren Zeitraum (ca. 15 - 30 Min.) aufrechterhalten werden soll.

Bemessungsgrundlagen

Für die Berechnung der zu erwartenden Rauchsichtdicke werden so genannte Plume-Modelle verwendet. Solche Modelle teilen den Raum gedanklich in drei Zonen ein, deren Volumen berechnet werden kann:

- a) die raucharme Zone im Bodenbereich
- b) eine Rauchsäule (Plume), die über der Brandquelle aufsteigt
- c) eine verrauchte Zone im Deckenbereich.

Plume-Modelle geben die Entwicklung der Rauchsicht in stark vereinfachter Form als Näherungsgleichung an. Es existieren unterschiedliche Plume-

Modelle. Die DIN 18232 verwendet das Modell nach Thomas und Hinkley, die neue VDI 6019 präzisiert die Anwendungsrandbedingungen und empfiehlt für den flammenfernen Bereich die Anwendung der Plume-Formel nach Heskestad.

Bei der praktischen Anwendung erweisen sich die Berechnungen mit Plume-Formeln als sehr kritisch, denn diese Formeln wurden unter Laborbedingungen ermittelt und gelten für eine impulsarme Nachströmung. Dass das in der Realität häufig ganz anders aussehen kann, zeigen die folgenden Beispiele.

Entrauchung eines Multifunktionsssaales

Gegenstand einer Untersuchung war ein Multifunktionsaal mit „historischem“ Ambiente. Die Grundfläche betrug 800 m², die maximale Höhe 9,5 m. Zur Prüfung des Entrauchungskonzeptes wurde im Strömungslabor der m+w-zander Gebäudetechnik



Bild 1: Begehbare Modell eines Ballsaales im Maßstab 1:4.

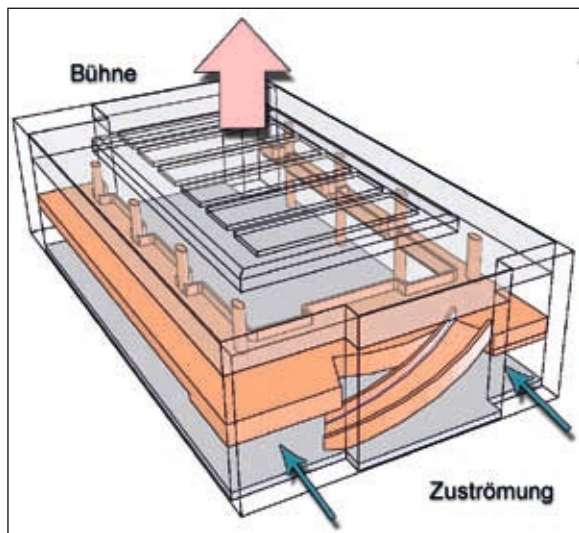


Bild 2: Schematischer Aufbau des Saales mit Zu- und Abströmung.



Bild 3: Verrauchung des Saales durch den Zuluftimpuls ($u = 1,54 \text{ m/s}$).

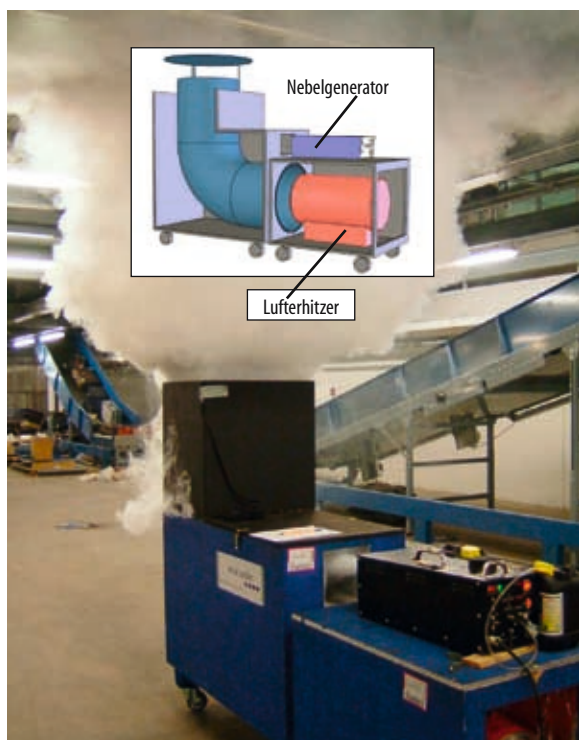


Bild 4: Brandsimulationsanlage mit $1 \text{ m}^3/\text{s}$ Prüfrauch.

nik das Modell im Maßstab 1:4 nachgebaut (Siehe Bild 1), wobei sich eine Modellhöhe von 2,4 m ergab. Der große Modellmaßstab des begehbaren Modells war notwendig, um Auftriebsströmungen realistisch nachbilden zu können.

Die Entrauchung des Ballsaales erfolgt über Abluftventilatoren (MRA), die durch Öffnungen in der Decke Luft aus dem Ballsaal absaugen (Siehe Bild 2). Im Brandfall wird ein Volumenstrom von $144000 \text{ m}^3/\text{h}$ abgeführt. Die Nachströmung wurde durch eine mechanische Öffnung der Saaltüren realisiert, die das Überströmen von Luft aus dem Foyer ermöglichen. Die Nachströmfläche betrug 26 m^2 , sodass sich eine Nachströmgeschwindigkeit von $1,54 \text{ m/s}$ ergab, ein Wert, der nach DIN 18232 zulässig ist.

Während der Versuche zeigte sich, dass Rauch von der einströmenden Zuluft angesaugt wurde und es hierdurch schnell zu einer Verrauchung des gesamten Saales kam (Bild 3). Dies trat insbesondere dann auf, wenn der Rauch sich unter Galerien ausbreitete, aber auch bei einer Rauchquelle im Bühnenbereich, die frei nach oben abströmen konnte, war deutlich ein Ansaugen von Rauch zu erkennen.

Die angestrebte rauchfreie Schicht von $2,5 \text{ m}$ konnte also mit diesem Konzept nicht realisiert werden. Schon nach wenigen Minuten hatte sich die gesamte Schichtung durch den Impuls der einströmenden Frischluft aufgelöst.

Eine Vergrößerung der Zuluftflächen auf 42 m^2 brachte eine Verbesserung, da hier die Zuströmgeschwindigkeiten nur noch bei $0,94 \text{ m/s}$ lagen und sich so die Thermik des Rauches stärker auswirken konnte. Für eine optimale Lösung wäre es im Falle des Ballsaales allerdings notwendig gewesen, die Luftgeschwindigkeit auf ca. $0,5 \text{ m/s}$ abzusenken. Dies hätte bedeutet, dass gegenüber der ursprünglichen Planung die Zuluftflächen hätten verdreifacht werden müssen, ein Wert, der sich aufgrund der Struktur des Saales nicht ohne wei-

teres realisieren ließ. In der Praxis wurde also ein Kompromiss zwischen den Anforderungen der Entrauchung und den baulichen Möglichkeiten gewählt.

Großversuch Gepäckverteilstation

Dass die Erfahrungen aus dem Modellversuch nicht unrealistisch sind, zeigt ein weiteres Beispiel. Diesmal ging es um die Entrauchung einer Gepäckverteilstation. Der Versuch wurde mit einer Brandsimulationsanlage durchgeführt, die ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ Rauch von ca. 50°C produziert (Bild 4). Die Brandquelle wurde mittig zwischen den Gepäckbändern positioniert.

Mit ca. $300000 \text{ m}^3/\text{h}$ waren die frei ansaugenden Entrauchungsventilatoren (Bild 5) reichlich dimensioniert. Bedingt durch die baulichen Möglichkeiten der Kanalführung wurde die Absaugung in einer Ecke des Raumes realisiert. Die Zuströmung erfolgte über ein Rolltor von ca. 30 m^2 , sodass die Zuluftgeschwindigkeiten knapp unter 3 m/s lagen.

Durch die Konstruktion der Gepäckhalle mit hohen Bindern im Deckenbereich sammelte sich der Rauch zunächst für 2-3 Minuten zwischen den Bindern, sodass zunächst keine Verrauchung festzustellen war. Mit steigender Rauchmenge und abnehmender Temperatur des Rauchpolsters stellte sich nach dieser Zeit ein Absinken der Rauchsicht ein.

Erwartungsgemäß setzte sich dieses Rauchpolster nun langsam in Bewegung, allerdings nicht in Richtung Absaugstelle, sondern in Richtung Rolltor. Der dort eintretende Frischluftstrom induziert große Mengen Umgebungsluft aus der Halle. Da der Zuluftstrahl eine große Tragweite besitzt, wirkt sich die Induktion über die gesamte Hallenstirnwand aus, sodass eine Art überdimensionale Strahlpumpe entsteht.

Der Kontakt des Rauchpolsters mit dem Zuluftstrahl führte schließlich zu einer sehr zügigen Verrauchung des gesamten Gepäckbereiches (Bild 6). Auch hier

war das Ergebnis wieder: keine rauchfreie Schicht.

Grundlagenstudie

In einer Grundlagenstudie wurden im m+w-zander-Labor die Einflüsse der Zuluftnachströmung auf die Entrauchung untersucht. Es wurden umfangreiche Parameterstudien in unterschiedlichen Raumgeometrien durchgeführt, die den Einfluss der Zuluftnachströmung auf das Rauchpolster untersuchten. Exemplarisch sind die Einflüsse an einem einfachen Modell nachvollziehbar.

In einem Gebäudemodell (1:10) befindet sich im Boden mittig eine Brandquelle. Die Zuluft strömt gleichförmig von allen Seiten über horizontale Öffnungen zu. Im Deckenbereich kann der Rauch durch Öffnungen entweichen. Es handelt sich hier um einen Natürlichen Rauchabzug (NRA).

Während sich bei voll geöffneten Zuluftöffnungen (**Bild 7**) eine deutliche Rauchsicht einstellt, ist schon bei einer Halbierung dieser Fläche (**Bild 8**) deutlich ein Ansaugen des Rauchpolsters zu beobachten, sodass Rauch direkt in die Zuluft eingemischt wird.

Auch diese Studie kommt zu dem Schluss, dass die kritische Grenze für Zuluftgeschwindigkeiten bei ca. 0,5 m/s liegt, was sich gut mit den obigen Ergebnissen deckt. Im Einzelfall ist es natürlich von den örtlichen Gegebenheiten abhängig, wie stark sich die Zuluftgeschwindigkeit auswirken kann.

Normen und der „technische Sachverstand“

Nach DIN 18232 – Teil 5 wird für mechanische Rauchabzüge empfohlen, die Nachströmflächen so zu dimensionieren, dass die Zuluftgeschwindigkeiten < 3 m/s gewährleistet sind. Nach den vorliegenden Erfahrungen ist dies zwar nicht falsch (0,5 m/s ist schließlich auch kleiner als 3 m/s), aber in der Regel auch nicht hinreichend. Es mag Einzelfälle geben, in denen auch mit hohen Nachströmgeschwin-

digkeiten gute Ergebnisse erzielt werden. Viel häufiger sind aber angesichts der großen notwendigen Luftmengen bei solchen Geschwindigkeiten Probleme wie oben beschrieben zu erwarten.

Besonders kritisch sind hohe Zuluftgeschwindigkeiten dann zu bewerten, wenn die Zuluft den Brandherd direkt trifft. Dieser Fall ist nicht unwahrscheinlich, da ein durch eine Öffnung eintretender Strahl seinen Impuls nur sehr langsam abbaut. Erst nach 5-7 Öffnungsdurchmessern beginnt die Luftgeschwindigkeit im Strahlkern überhaupt damit, abzusinken. Bei einem Tor von 3 m Breite sind also noch nach 15 m Lauflänge die vollen Eintrittsgeschwindigkeiten zu erwarten. Allgemein gilt (angenähert):

$$U_m = U_0 \cdot \frac{5 \cdot D}{x}$$

wobei x der Strahlweg ist und D der Öffnungsdurchmesser. Nach 30 m hat der eintretende Strahl im obigen Beispiel also noch 50 % seiner Anfangsgeschwindigkeit und erst nach 150 m ist die Geschwindigkeit auf 10 % abgefallen.

Bei üblichen Raumgeometrien ist also zu erwarten, dass der Lufteintritt durch ein Tor eine erhebliche Luftverwirbelung im Raum bewirken muss.

Trifft ein Zuluftstrahl mit 3 m/s nun direkt die Brandquelle, dann wird der Rauch sofort horizontal abgelenkt und mit der Zuluft vermischt. In diesem Fall bildet sich gar kein Auftriebsstrahl (Plume) über dem Brandherd, sodass die Plumeformeln unsinnige Ergebnisse liefern.

Wir haben im Moment die Situation, dass sowohl die DIN 18232 als auch die VDI 6019 die Anwendung von Plume-Formeln empfehlen, ohne genau deren Anwendungsgrenzen zu definieren. Mit dem empfohlenen Wert von 3 m/s für die Zuluftgeschwindigkeit sind nach den vorliegenden Erkenntnissen die Grenzen weit überschritten. Die VDI 6019 gibt hier lediglich Empfehlungen, ohne genaue Grenzen zu definieren.

Für die Praxis kann man diese Situation wie folgt zusammenfassen: Man kann Zuluftgeschwindigkeiten von 3 m/s zulassen **oder** Plume-Formeln anwenden. Beides zusammen führt zu einem Widerspruch.

- Werden hohe Zuluftgeschwindigkeiten gewählt, dann sind Plume-Formeln nicht anwend-



Bild 5: Abluftventilatoren mit 3 x 100 000 m³/h = 84 m³/s.



Bild 6: Verrauchung der Zuluft durch Ansaugen von Brandrauch.

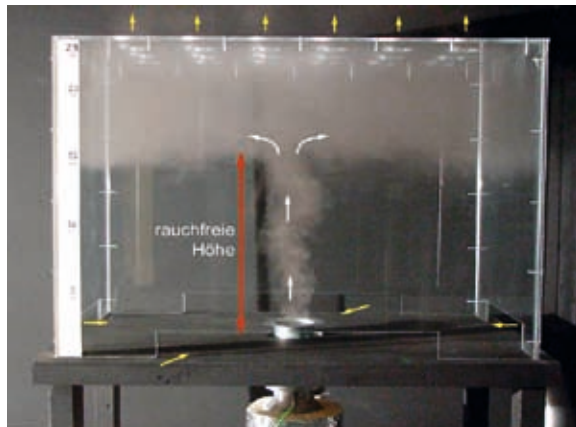
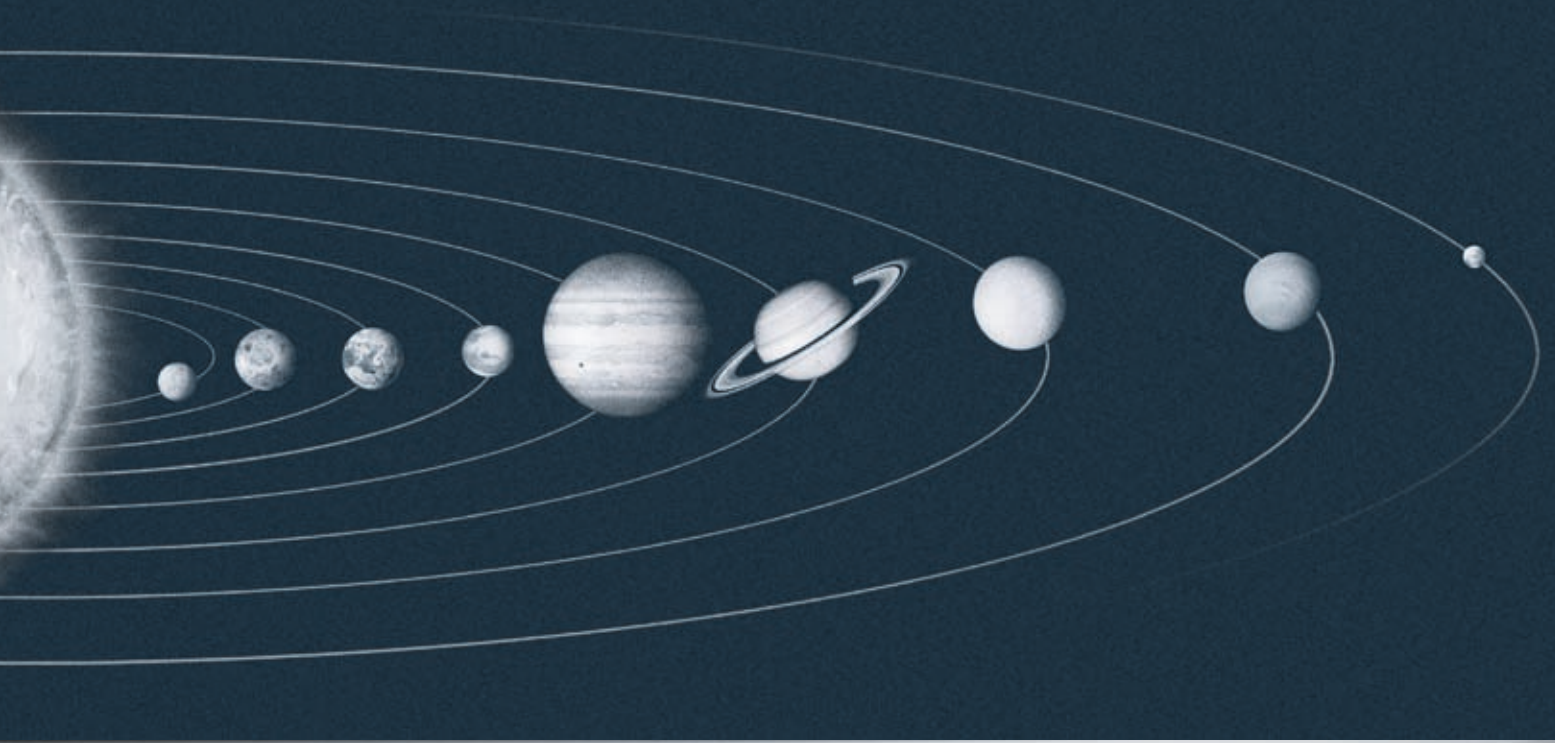


Bild 7: Laborversuch, voll geöffnete Zuluftflächen.



Wenn man genauer hinsieht, dreht sich das ganze Leben um die richtige Heizung



Gas-Brennwertgerät ecoTEC exclusiv



CO-Sensor



vrnetDIALOG



design
award
2005

Empfehlen Sie Ihren Kunden doch einfach das universell einsetzbare Gas-Brennwertgerät ecoTEC exclusiv. Dank Multi-Sensorik-System reguliert es seine Verbrennung erstmalig vollständig selbst. Das garantiert eine optimale Nutzung der Brennwerttechnik. Und Sie garantieren optimalen Service: über das Internet-Kommunikationssystem vrnetDIALOG. So fühlen sich Ihre Kunden zu Hause rundum wohl. www.vaillant.de/Fachpartner oder Profi Hotline 0180 5 999 120 (12 Cent/Min.) dtms



bar und es muss durch andere Methoden (Versuch oder Simulation) geprüft werden, ob die Rauchsichtdicke eingehalten werden kann.

- Werden auf der anderen Seite Plume-Formeln verwendet, dann kann dies lediglich bei Zuluftgeschwindigkeiten bis 0,5 m/s zuverlässig getan werden. Bei höheren Geschwindigkeiten ist durch Versuch oder Simulation zu prüfen, ob die Plume-Formeln anwendbar sind. Ist dies nachgewiesen, dann bringt die Berechnung nach Norm allerdings erhebliche Vorteile, da die Zahl der notwendigen Simulations- oder Versuchsvarianten sehr gering ist.

Innovative Nachströmtechnik: Der Airbag fürs Gebäude

Da das Problem der Nachströmung in vielen Projekten erhebliche Sorgen bereitete, wurden Methoden gesucht, mit denen sich das Problem grundlegend lösen lässt. Hierbei stößt man vor allem auf das Problem, dass großflächige Zuluftöffnungen in der Regel mit den Anforderungen von Architekten und Raumgestaltern hart kollidieren.

Eine trickreiche und vollständige neue Lösung wurde nun im m+w-Zander-Labor ausgebrütet: Der Airbag fürs Gebäude. Was hat es damit auf sich?

Beim „Brandschutz-Airbag“ handelt es sich um einen handelsüblichen Textil-Luftauslass, wie er in Küchen, Schwimmbädern und Produktionshallen häufiger eingesetzt wird (**Bild 9**). Textilauslässe sind einfache Stoffschläuche, aus denen durch das textile Material Luft ausquellen kann. Sie erfüllen also gleichzeitig die Funktion, die Luft zu führen und zu verteilen. Textilauslässe erfüllen die Anforderungen der zugfreien Lufteinbringung in idealer Weise. Die Luftaustrittsgeschwindigkeiten liegen typisch bei 0,2 m/s, sodass sich keinerlei Vermischung ergibt. Die Luft tritt vollkommen laminar aus dem Material aus, sodass sie sogar in

der Lage ist, den Rauch aktiv zu verdrängen.

Der Schönheitsfehler dieser Auslässe ist ihr Aussehen, das wohl in einem Ballsaal kein Architekt akzeptieren würde. Genau hier setzt das neue Verfahren an: anders als starre Auslässe lassen sich Textilauslässe zusammenfalten. Erst im Brandfall ist es notwendig, sie zu ihrer vollen Größe zu entfalten. Im Normalbetrieb können sie also hinter einer Klappe verborgen liegen, die erst im Brandfall mechanisch geöffnet wird. Die Funktion ist also ganz analog zum Airbag im Auto, der erst aktiv wird, wenn er benötigt wird.

Der Platzgewinn ist erheblich. Im Falle des oben erwähnten Ballsaales wären für eine ideale Nachströmung mit 0,5 m/s Zuluftflächen von 80 m² notwendig, also etwa das Dreifache dessen, wie hier durch Türen im Erdgeschoss realisiert werden konnte. Ein Airbag mit einem Durchmesser von 0,6 m, der umlaufend unter den Galerien und an der Bühnenvorderkante eingesetzt werden kann, hätte diese Aufgabe mit einer Lauflänge von ca. 90 m ebenso erfüllt, ohne dass hierfür eine Mechanik zur automatischen Türöffnung notwendig ist. Da der Airbag die Fluchtwege unter den Galerien freispült, hätte sich hierdurch sogar eine gesteigerte Sicherheit für die Zuschauer ergeben. Durch Farbgebung und Beleuchtung haben die Airbags darüber hinaus eine starke Signalwirkung, die im Brandfall ebenfalls sehr positive Einflüsse auf das Fluchtverhalten haben kann.

Im Normalzustand kann ein Airbag in einer Abdeckung von ca. 150 mm Breite in der Holraumdecke der Galerie untergebracht werden. Optisch lässt sich die Abdeckung so gestalten, dass sie sich vollkommen in die Wandverkleidung integriert und daher praktisch unsichtbar ist.

Laborversuche mit dem „Airbag“

Im Strömungslabor wurden zahlreiche Versuche mit einem 10 m langen Airbag-Element

durchgeführt. Dabei zeigten sich weitere erstaunliche Eigenschaften dieses Konzeptes.

Wie in **Bild 10 und 11** deutlich sichtbar ist, kann der Textilauslass Luft nicht nur impulsarm einbringen. Schon bei geringen Untertemperaturen sinkt die Quellluft nach unten ab. Sie bildet dabei eine Art großflächigen Luftscheiter, der den Rauch insbesondere in der gefährlichen

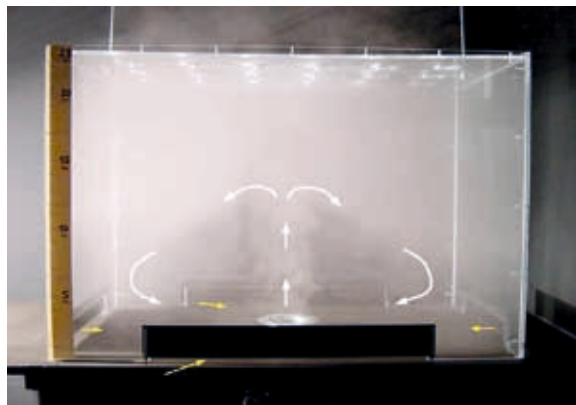


Bild 8: Laborversuch, reduzierte Zuluftflächen.



Bild 9: Textilauslass in einer Großküche.



Bild 10: Versuche mit dem „Brandschutz-Airbag“ – sichtbare Sperrwirkung bei Untertemperaturen.



Bild 11: Sichtbare Sperrwirkung der Luftwand unter einem "Brandschutz-Airbag".

Brandentstehungsphase (Kaltrauch!) wirksam „einsperren“ kann. Es bildet sich eine breite laminare Luftströmung aus, für die der Name „Luftwand“ durchaus zutreffend ist. Das Airbag-Konzept eignet sich also nicht nur zur Luftzuführung, es kann auch die Funktion der Zonentrennung sehr wirksam erfüllen.

Wird diese „Luftwand“ gestört, etwa durch schnell laufende Personen, dann können kleine Rauchmengen durchtreten. Auch hier zeigt sich eine positive Eigenschaft. Denn schon nach kurzer Zeit wird der durchgetretene Rauch jenseits der Luftwand wieder von Frischluft verdrängt, sodass sich keine bleibende Ver Rauchung ergibt.

In der Summe stellt sich das Airbag-Konzept als sehr viel versprechende Alternative für die Zuluft einbringung dar, weshalb für das Verfahren Patentschutz beantragt wurde.

Sicherheitsaspekte

Da es sich um ein vollständig neues Konzept handelt, sind einige rechtliche Fragen noch zu klären. Da wäre zum einen die Anforderung an eine mögliche Zulassung. Da es sich um eine Zuluft einrichtung handelt, sind brandschutztechnische Anforderungen, wie sie an Abluftleitungen gestellt werden, hier nicht zutreffend. Gleichzeitig sind auch die Prüfvorschriften für sonstige brandschutztechnische Einrichtungen nicht sinnvoll anwend-

bar. Denn obwohl das übliche Textilmaterial schwer entflammbar ist, würde es doch keine Temperaturprüfung mit 600 °C für längere Zeit überstehen.

Ob und welchen Temperaturanforderungen das Material im Brandfall tatsächlich standhalten muss, wird noch Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Erste Versuche deuten darauf hin, dass auch bei direkter Nähe zum Feuer keine Schäden an den „Airbags“ zu erwarten sind. Denn die durchtretende Frischluft kühlt das Textilmaterial äußerst effektiv und hält gleichzeitig heiße Brandgase fern. Es ist also auch bei direkter Nähe zum Brandherd nicht zu erwarten, dass die Einrichtung funktionslos wird.

Aber auch für erhöhte Temperaturen gibt es heute textile Materialien, die hierfür geeignet sind. Standardmäßig können Materialien der Brandklassen B1-B3 und Brandklasse A1 eingesetzt werden, in Sonderfällen lässt sich durch Gewebe mit Aramidfasern sicherstellen, dass erst oberhalb von 400 °C Löcher im Material entstehen.

Aus technischer Sicht wäre allerdings auch die Frage zu stellen, ob eine Frischlufteinbringung direkt am Brandherd überhaupt sinnvoll ist. Eher wäre hier die Anforderung zu stellen, dass ein Airbag über dem Brandherd gar nicht aktiviert werden sollte. Die Frischlufteinbringung und Zonenabtrennung ist sicher erst mit einigen Metern Abstand vom Brandherd sinnvoll.

Solange keine normativen oder gesetzlichen Vorschriften für den Airbag bestehen, ist ein Einsatz immer in Abstimmung mit dem Brandschutzsachverständigen zu vereinbaren. Hier muss dann durch technischen Sachverstand und ggfs. durch eine Prüfung der beabsichtigten Eigenschaften im Einzelfall sichergestellt werden, dass das Konzept im Notfall zuverlässig arbeitet.

Zusammenfassung

Für die zuverlässige Entrauchung von Gebäuden muss gewährleistet sein, dass es durch die Luftnachströmung nicht zu einer

Verwirbelung der Rauchschicht kommt. Praktische Erfahrungen zeigen, dass dies in vielen Fällen nur sichergestellt ist, wenn die Luftgeschwindigkeiten in der Nachströmung unter 0,5 m/s liegen. Nur in diesem Fall können auch Plume-Modelle zur Berechnung der Rauchschichtdicke zuverlässig angewendet werden.

Höhere Zuluftgeschwindigkeiten bis 3 m/s können zugelassen werden, wenn durch Versuche oder Simulationsrechnungen nachgewiesen wird, dass die Nachströmung weder die Rauchschicht noch den Brandherd beeinflussen kann.

Für die impulsfreie mechanische Zuluft nachführung müssen großflächige Quellaftauslässe bereitgestellt werden. In Bereichen, in denen dies aus optischen Gründen nicht möglich ist, können faltbare Textilauslässe (Airbags) eingesetzt werden, die sich erst im Brandfall aus einer Wand- oder Deckenöffnung entfalten. Das Airbag-Verfahren befindet sich zur Zeit noch in der Entwicklung, kann aber in Sonderfällen in Abstimmung mit dem Brandschutzsachverständigen bereits eingesetzt werden. ◀