

Belüftungsöffnungen & Feuer

Es bestehen höchst kontroverse Meinungen innerhalb der Feuerwehr, was das Schaffen von Öffnungen, beziehungsweise die Nutzung bestehender Öffnungen, zur Belüftung bei der Brandbekämpfung, betrifft. In Belgien wird in der Regel erst nachdem das Feuer gelöscht ist, mit der Überdruckbelüftung begonnen. In diesem Fall hat die Belüftung keinen Einfluss auf das Brandverhalten. In anderen Ländern ist es durchaus üblich, schon während der Löscharbeiten oder sogar noch vor dem Innenangriff zu belüften. Diese Vorgehensweise kann sehr wohl Einfluss auf das Brandverhalten nehmen. Das ist auch der Fall, wenn mit natürlicher Belüftung gearbeitet wird. Für die Feuerwehr ist es wichtig zu verstehen, dass mit natürlicher Belüftung auch das Öffnen der Eingangstüre gemeint ist. Dieser Denkprozess ist insofern von Bedeutung, weil er deutlich macht, dass auch die Herangehensweise ohne Überdruckventilation, so wie sie beispielsweise in Belgien angewandt wird, trotzdem zu Veränderungen im Brandverhalten führen kann.

1 Der Einfluss auf das Brandverhalten

Um den Einfluss von Belüftungsöffnungen auf das Brandverhalten zu verstehen, muss man erst ein gutes Verständnis für die Abläufe, welche in der Summe als Brandverhalten bezeichnet werden, erlangen. Es wird zwischen zwei Arten von Brandverhalten unterschieden. Dabei ist die Rede vom "belüfteten Brandverlauf" und vom "unterbelüfteten Brandverlauf". Um diese beiden Begriffe zu definieren muss allerdings erst über die Brandstadien gesprochen werden. Deren gibt es ebenfalls zwei: Das "ventilationskontrollierte Stadium" (oder auch "sauerstoffkontrolliertes Stadium") und das "brennstoffkontrollierte Brandstadium". Es gibt also zu Anfang drei Begriffe, deren Bedeutung verstanden werden muss. Es wird vom *Brandverhalten*, vom *Brandverlauf* und von den *Brandstadien* gesprochen. Der Brandverlauf und die Brandstadien charakterisieren, unter Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren das Brandverhalten. Außerdem wird später von *Brandphasen* die Rede sein, diese durchläuft ein Brand während seiner Entwicklung von der Entstehung bis zum Erlöschen.

1.1 Die Brandstadien

Bei der Entstehung eines Feuers nimmt eine bestimmte Menge Material an der Verbrennungsreaktion teil. In dieser Phase ist mehr als genug Sauerstoff anwesend, um das Feuer in Gang zu halten. Die Eigenschaften der Materialien (Brennstoff) und deren Verteilung im Raum werden den weiteren Ablauf der Reaktion bestimmen. Wichtige Merkmale sind hier der "flame spread" und die "heat release rate". Als "flame spread" (Flammenausbreitung) bezeichnet man die Geschwindigkeit, mit der die Flammen sich auf der Oberfläche des Brennstoffs ausbreiten, während mit "heat release rate" (Hitzeabgaberate) die Schnelligkeit, mit der der Brennstoff Energie produziert, gemeint ist. In der Entstehungsphase bestimmt der Brennstoff die weitere Entwicklung des Feuers. Aus diesem Grund spricht man hier von einem Brand im "brennstoffkontrollierten Stadium".

Nach einiger Zeit wird das Feuer an Größe zunehmen. Die Temperatur steigt an, während die Sauerstoffkonzentration abnimmt. Es bildet sich eine Rauchsicht, die sich später entzünden wird (Rollover). Dadurch nimmt die Strahlungswärme aus der Rauchdecke in Richtung des Brennstoffs unterhalb der Rauchsicht sehr stark zu.

Wenig später kommt es zur Raumdurchzündung (Flashover). Damit dieses Szenario stattfinden kann, bedarf es einer ausreichenden Zufuhr von Luftsauerstoff. Das setzt wiederum voraus, dass entweder eine Tür oder ein Fenster geöffnet ist oder dass während der Ausbreitungsphase ein Fenster mit Einfachglasscheibe zerbricht.

Nach dem Flashover steht der komplette Raum in Vollbrand und alle anwesenden Gegenstände nehmen in irgendeiner Form an der Verbrennung teil. Das Feuer benötigt nun große Mengen Sauerstoff, den es nur zum Teil durch die vorhandenen Öffnungen beziehen kann. Eine der typischen Begleiterscheinungen bei einem Vollbrand sind daher die nach außen schlagenden Flammen. Diese entstehen dadurch, dass die Menge an Luftsauerstoff, den die Öffnungen liefern, für die Brandleistung nicht mehr ausreichend ist, was dazu führt, dass ein Teil der Brandgase unverbrannt nach draußen befördert wird, wo sie sich beim Austritt aus dem Brandobjekt mit Sauerstoff vermischen und entzünden. Beim Vollbrand wird die Intensität des Feuers nicht mehr länger durch die Menge und die Beschaffenheit des anwesenden Brennstoffs festgelegt, sondern durch die Belüftung (mit Luftsauerstoff). Die Ventilation ist nun der entscheidende Faktor für die weitere Entwicklung des Feuers. Per Kilogramm Sauerstoff, der in den Raum strömt, können ungefähr 13,1 Megajoule (MJ) Energie produziert werden. Praktisch gesehen, kann man davon ausgehen, dass per Kubikmeter Luft 3 MJ Energie freigesetzt werden. Wenn also Luftsauerstoff mit einer festgelegten Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s durch eine Türöffnung von 2 m² strömt, kann die, durch die Querschnittsfläche der Öffnung definierte Sauerstoffmenge, einen Brand von 6 MW speisen. Da die Belüftung jetzt ausschlaggebend für den weiteren Ablauf des Verbrennungsprozesses ist, spricht man vom Übergang in das "ventilationskontrollierte Stadium" beziehungsweise vom Übergang zu einem "ventilationskontrollierten Brand".

1.2 Zwei Arten von Brandverlauf

1.2.1 Der belüftete Brandverlauf

Der belüftete oder auch ventilierte Brandverlauf lässt sich in fünf Phasen unterteilen. Das Feuer beginnt in der Entstehungsphase mit einem Initialbrand, der sich meist wie ein Schwelbrand verhält. In der Ausbreitungsphase entwickelt dieser sich zu einem Brand, der zwar noch lokal begrenzt ist aber seine Umgebung und die Raumatmosphäre mit zunehmender Dauer immer weiter aufheizt und zur Bildung einer Rauchdecke führt. Während dieser beiden Phasen ist der Brand brennstoffkontrolliert. Anschließend tritt ein Flashover ein. Diese nur kurz andauernde Phase markiert den Übergang vom brennstoffkontrollierten in ein ventilationskontrolliertes Stadium. Bei der vierten Phase handelt es sich um den vollentwickelten Brand, auch Vollbrandphase genannt. Während dieser Phase bleibt der Brand belüftungskontrolliert. Abhängig von der Menge der anwesenden Brandlast und der Versorgung mit Luftsauerstoff kann die Vollbrandphase über einen unterschiedlichen Zeitraum anhalten. Wenn die Brandlast im Raum zur Neige geht, wird auch das Leistungsvermögen des Feuers abnehmen und als fünfte und letzte Phase setzt jetzt die Abklingphase ein. Damit einhergehend vermindert sich ebenfalls der Sauerstoffbedarf. Ab einem gewissen Zeitpunkt wechselt der Brand dann wieder zurück in ein brennstoffkontrolliertes Stadium.

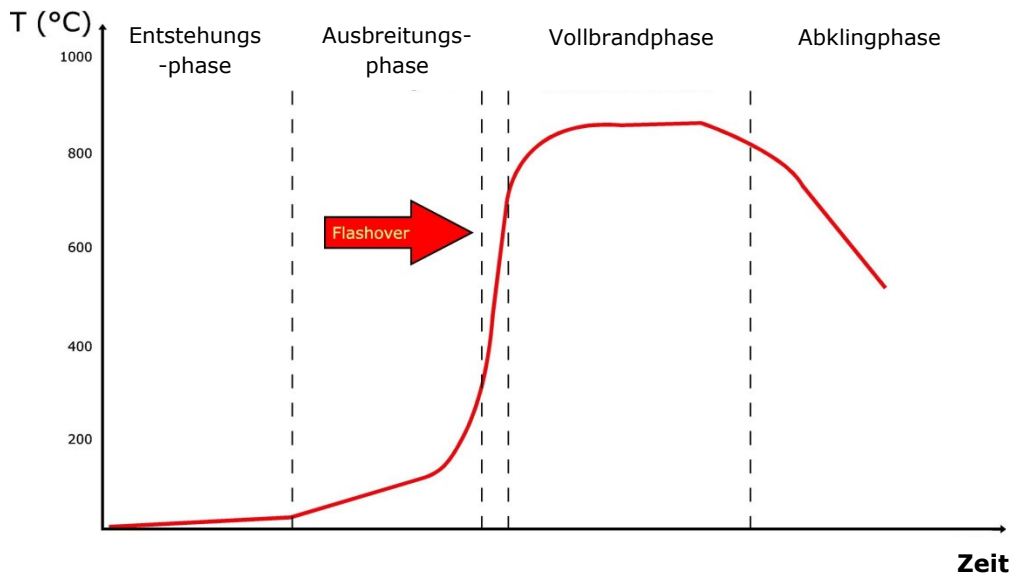


Bild 1: Der belüftete Brandverlauf (Grafik: Karel Lambert)

Der belüftete oder ventilerte Brandverlauf beginnt brennstoffkontrolliert und wechselt nach dem Flashover in ein belüftungs- oder sauerstoffkontrolliertes Stadium. Während der anschließenden Abklingphase findet erneut ein Wechsel zurück in ein brennstoffkontrolliertes Stadium statt.

1.2.2 Der unterbelüftete Brandverlauf

Der unterbelüftete oder unterventilierte Brandverlauf beginnt auf die gleiche Weise, wie der belüftete Brandverlauf. In der Entstehungsphase ist das Feuer brennstoffkontrolliert. Das bleibt auch in der Ausbreitungsphase der Fall. Der große Unterschied entsteht durch das Fehlen von Belüftungsöffnungen zur Frischluftzufuhr. Wenn nur sehr wenige oder gar keine Ventilationsöffnungen vorhanden sind, wird der Sauerstoffanteil der Raumluft sehr schnell absinken. In diesem Fall wechselt der Brand noch vor dem Eintreten der Flashoverphase in ein ventilationskontrolliertes Stadium. Von diesem Zeitpunkt an, bestimmt die Versorgung mit Luftsauerstoff das weitere Brandverhalten. Wenn keine Veränderung im Ventilationsprofil auftritt, verbleibt das Feuer im belüftungskontrollierten Stadium, bis entweder die Feuerwehr den Brand löscht oder bis dieser von alleine ausgeht.

"Ein unterbelüfteter Brand, ist ein Brand, der in ein belüftungskontrolliertes Stadium wechselt, noch bevor ein Flashover eintreten kann."

Der unterbelüftete Brandverlauf beginnt ebenfalls brennstoffkontrolliert aber der Übergang zum sauerstoffkontrollierten Stadium erfolgt bedeutend früher, noch vor dem Flashover. Bei unverändert bleibendem Ventilationsprofil verharrt das Feuer so lange im sauerstoffkontrollierten Stadium, bis es gelöscht wird oder von alleine erlischt.

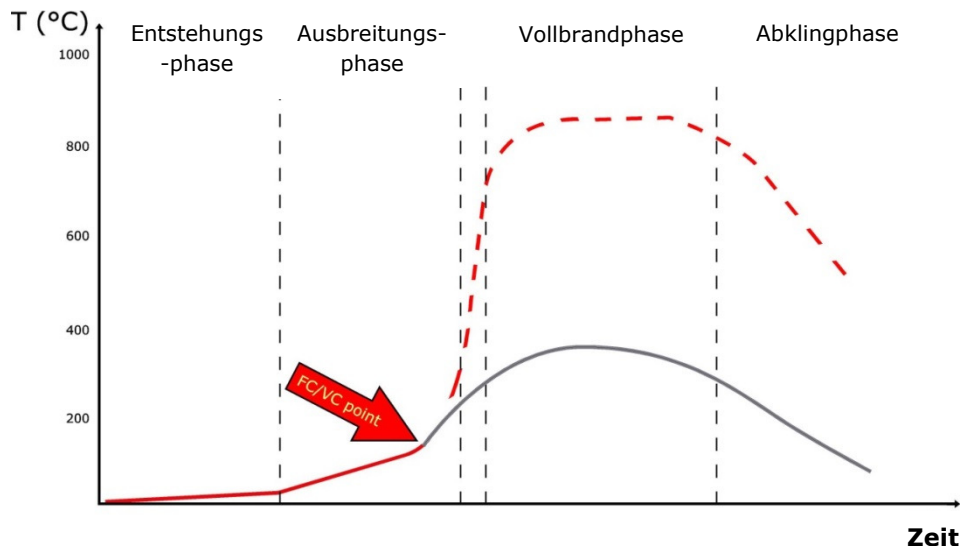


Bild 1 Der unterbelüftete Brandverlauf: Die rote Kurve markiert die Phasen, in denen sich beide Typen des Brandverlaufs gleich verhalten. Die gestrichelte rote Linie steht für den natürlichen oder belüfteten Brandverlauf, während die graue Linie die Kurve eines unterbelüfteten Brandverlaufs darstellt. (Grafik: Karel Lambert)

1.3 Der Einfluss von Belüftung

In den USA ist das Ventilieren in der Brandbekämpfung sehr stark verbreitet. Bei den meisten dortigen Feuerwehren sieht die Einsatztaktik das Anlegen zusätzlicher Belüftungsöffnungen vor. Das wird sowohl durch Einschlagen der Fenster (horizontale Ventilation), wie auch durch das Schaffen von Öffnungen im Dach (vertikale Ventilation) bewerkstelligt. Meistens wird hierbei mit so genannter natürlicher Ventilation gearbeitet, also ohne Überdruckventilatoren. In den digitalen Medien lassen sich allerdings zu diesem Thema zahlreiche Filme finden in denen zu sehen ist, wie durch Ventilation Situationen völlig außer Kontrolle geraten.

Trotzdem hat sich irgendwann jemand diese Taktik ausgedacht und für gut befunden. In den Vereinigten Staaten wird diese spezielle Vorgehensweise zur Brandbekämpfung auf Benjamin Franklin (1706-1790) zurückgeführt. Der Erfinder und Feuerwehrmann Franklin dachte über eine Taktik nach, mit der sich die heißen Brandgase aus dem Brandobjekt abführen ließen. Und tatsächlich hat die von ihm erfundene Vorgehensweise über Jahrhunderte hinweg gute Resultate bei der Brandbekämpfung abgeliefert. Das lag jedoch vor allem daran, dass Brände sich in der Vergangenheit anders verhielten, als sie es heute tun. Damals wurden vornehmlich Naturprodukte verbaut, während heutzutage die Einrichtungsgegenstände einer Wohnung hauptsächlich aus Materialien bestehen, die aus dem Rohstoff Erdöl abgeleitet wurden. Steve Kerber belegte, dass die Zeitspanne vom Entstehungsbrand zum Flashover stark geschrumpft ist. Diese Zeitspanne betrug noch in den 50er Jahren rund 30 Minuten und hat sich bei modernen Bränden auf ungefähr 3 bis 4 Minuten reduziert. Das bedeutet in der Konsequenz, dass Brände heutzutage im Vergleich zu früher nur sehr kurze Zeit in einem brennstoffkontrollierten Stadium verbleiben.

Bei einem brennstoffkontrollierten Feuer hat das Erzeugen von Ventilation nur eingeschränkte Auswirkungen auf das Brandverhalten an sich. Denn der weitere Ablauf der Verbrennung wird in dieser Situation einzig durch die Eigenschaften des Brennstoffs definiert. Das erklärt, warum die Anwendung von Ventilation in den USA so lange zur

Standardtaktik gehören konnte. Bis weit ins 20^{ste} Jahrhundert lieferte die Taktik gute Ergebnisse und galt als gute Vorgehensweise bei Bränden in geschlossenen Räumen.

In modernen Gebäuden wird ein Feuer jedoch sehr schnell belüftungskontrolliert. Wenn ein Brand in ein belüftungskontrolliertes Stadium wechselt, bevor es zum Flashover kommen kann, spricht man vom unterbelüfteten Brandverlauf. Diese Art Brände kommt heutzutage immer öfter vor. Wenn eine neue Belüftungsöffnung zu einem Raum geschaffen wird, in dem ein unterbelüftetes Feuer wütet, wird die Brandleistung des Feuers sofort zunehmen. Bei dieser Art von Bränden bestimmen Art und Volumen der Ventilation das weitere Geschehen. In jedem Fall steht dem Brand durch die neue Öffnung zusätzliche Luft zur Verfügung. Es bestehen verschiedene Formeln, mit denen sich die maximale Entwicklung der Brandleistung in Bezug auf die Querschnittsfläche der neuen Öffnung ausrechnen lässt. Das Öffnen einer durchschnittlichen Türe, mit einer Höhe von 2 Meter und einer Breite von 0,9 Meter, sorgt dafür, dass die Brandleistung im Raum auf 3 bis 4 MW ansteigt. Das Zerbersten eines 2 Meter breiten und 1,5 Meter hohen Fensters erzeugt eine Belüftung, die ausreichend ist, um ein Feuer mit einer Brandleistung von 4,7 bis 5,5 MW zu speisen.

Bei unterbelüfteten Bränden ist also höchste Vorsicht im Umgang mit der Belüftung angebracht. Die Brandleistung wird *immer* zunehmen, nachdem eine Öffnung geschaffen wurde. Auch in den USA beginnt man mehr und mehr zu erkennen, welche fatalen Auswirkungen die Ventilation haben kann. Das hat u.a. dazu geführt, dass die Rolle des „door man“ in die Einsatzprozedur aufgenommen wurde. Hierbei handelt es sich um einen Feuerwehrmann, dessen Aufgabe es ist, während des Innenangriffs, die Eingangstüre so dicht wie möglich geschlossen zu halten. Durch diese Maßnahme wird der rapide Anstieg der Brandleistung verlangsamt.

2 Effizienz von Belüftungsmaßnahmen

Eine andere wichtige Frage, die sich stellt, bezieht sich auf die Größe der Belüftungsöffnungen. In der Feuerwehrliteratur wird viel darüber geschrieben. Der Blick hinüber in die USA zeigt, dass dort für die Öffnungen lange Zeit eine Fläche von 4 auf 4 Fuß (1,2 m x 1,2 m) als Standardmaß galt. Das entspricht einem Durchlass von 1,44 m². Seit kurzem wird davon ausgegangen, dass dies nicht mehr ausreichend ist. Immer öfter wird nun eine Öffnung von 4 auf 8 Fuß angelegt, das entspricht einem Durchlass von 2,88 m².

In Europa ist das Aufbrechen von Löchern im Dach nicht die gängige Praxis. Hier beschränkt sich die Feuerwehr meistens auf das Öffnen oder Einschlagen der Fenster. In diesen Fällen wird die Größe der Belüftungsöffnung durch die Maße der Fenster definiert. Das Öffnen der Fenster erhält immer den Vorzug gegenüber dem Einschlagen. Ein geöffnetes Fenster, das einen ungewünschten Luftstrom auslöst, kann meistens durch eine simple Aktion wieder geschlossen werden. Bei einem zerbrochenen Fenster ist dies nicht mehr möglich.

Indem darauf geachtet wird, ein bestimmtes Verhältnis zwischen Einlass- und Auslassöffnung einzuhalten, kann die Wirksamkeit der Belüftung auf ein Maximum erhöht werden. Das bedeutet, dass, bei einer bestimmten Querschnittsfläche der Öffnungen, der maximal mögliche Durchstrom erreicht wird.

Um das ideale Verhältnis zu bestimmen, muss unterschieden werden, zwischen natürlicher und Überdruckventilation. Die untenstehenden Erklärungen wurden für Situationen ausgearbeitet, bei denen eine Öffnung vollständig als Einlass genutzt und eine zweite Öffnung als Auslass verwendet wird. Das ist meistens der Fall bei vertikaler Ventilation. In der Praxis wird es bei horizontaler Ventilation sehr schnell komplexer. Vielfach werden dann Öffnungen doppelt verwendet, wobei in jeder Öffnung eine bidirektionale Strömung erzeugt wird. Das ist jedoch nicht mehr einfach zu erklären und würde weit über die Zielsetzung dieses Artikels hinausgehen. Von daher die Entscheidung, es in den nachfolgenden Zeilen auf einfache Weise zu erläutern.

2.1 Natürliche Ventilation

Belüftung im Brandeinsatz bedeutet eigentlich nichts anders, als das Verlagern einer Masse Rauch von drinnen nach draußen. Da es nicht möglich ist, ein Vakuum zu erschaffen, muss die Rauchmasse durch ein gleich großes Luftvolumen ersetzt werden. Bei der natürlichen Ventilation wird der Rauch durch die Archimedeskraft („buoyancy“) den Raum verlassen. Diese aufwärts gerichtete Kraft entsteht durch die unterschiedliche Dichte (\sim Temperatur) von Luft und Rauchgase. Damit die Ventilation korrekt arbeitet, muss also genügend Frischluft nach innen strömen. Untersuchungen haben ergeben, dass bei einem festgelegten Querschnitt der Austrittsöffnung, ein Nutzeffekt von etwa 90% erreicht wurde, wenn die Einlassöffnung den doppelten Querschnitt der Austrittsöffnung aufwies. Der Wert sinkt auf etwa 80%, wenn Austritts- und Einlassöffnung die gleiche Querschnittsfläche aufweisen (Bild 3).

Ein Rechenbeispiel verdeutlicht das Ganze. Man stelle sich vor, dass ein Raum belüftet werden soll, der über eine Türe (b x h: 1 x 2 m) und über vier Fenster von jeweils 1 m² verfügt. Wir gehen davon aus, dass die Rauchgase eine Temperatur von 300 °C haben und die Außentemperatur 20 °C beträgt. Wenn ein Fenster als Austrittsöffnung geöffnet wurde und die Türe als Einlassöffnung dient, ergibt sich der Faktor 2 für das Verhältnis der Querschnittsflächen von Ein- und Austrittsöffnungen. Mit anderen Worten, die Einlassöffnung ist doppelt so groß, wie die Austrittsöffnung. Das führt zu einer Effizienzrate von 94% Massenstrom durch die Austrittsöffnung (verglichen mit der maximalen theoretischen Kapazität). Das bedeutet, dass per Sekunde 2,67 kg Rauch aus dem Raum entfernt werden. Wenn das zweite Fenster ebenfalls geöffnet wird, sinkt das Verhältnis Eintritt/Austritt auf den Faktor 1. Die Effizienz pro Fenster sinkt auf 81%, wobei jedoch die Summe der Querschnittsfläche verdoppelt wird. Das hat zur Folge, dass 1,62 Mal die maximale theoretische Kapazität eines einzelnen Fensters erreicht wird (0,94 bei nur einem Fenster). Konkret werden dadurch 4,81 kg/s abgeführt. Wenn alle vier Fenster geöffnet werden, vermindert sich das Verhältnis zwischen Ein- und Austrittsöffnung auf den Faktor 0,5. Die Effizienz per Fenster liegt jetzt bei nur noch 57% aber die Querschnittsfläche hat sich vervierfacht. Die theoretische Gesamtkapazität eines einzelnen Fensters wird 2,28 Mal erreicht. Für dieses Beispiel bedeutet das einen Austritt von 7,26 kg/s. Sobald weitere Fenster geöffnet werden, wird die Gesamtleistung der Fenster weiter absinken. Wenn die Fläche der Austrittsöffnung dreimal größer ist, als die Einlassöffnung, macht es keinen Sinn mehr weitere Fenster zu öffnen.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass ein Faktor von 2/1 für das Verhältnis von Eintritts- und Austrittsöffnung bei nur einer Austrittsöffnung das beste Ergebnis liefert. Das Öffnen mehrerer Fenster führt zu einem niedrigeren Nutzeffekt der einzelnen Fenster aber, aufgrund der größeren Querschnittsfläche, auch zu einem höheren Massenstrom, der wiederum für einen schnelleren Abtransport der Gase sorgt. Bei einem Verhältnis von 1 zu

3 macht es keinen Sinn mehr, weitere Fenster zu öffnen. An dieser Stelle ist es wichtig, noch einmal darauf aufmerksam zu machen, dass es sich hierbei um vertikale Ventilation handelt. Die Tür befindet sich vollständig unter der Rauchschicht und die Fenster liegen oberhalb der neutralen Schicht. Auf diese Weise werden die Fenster vollständig als Austrittsöffnung genutzt.

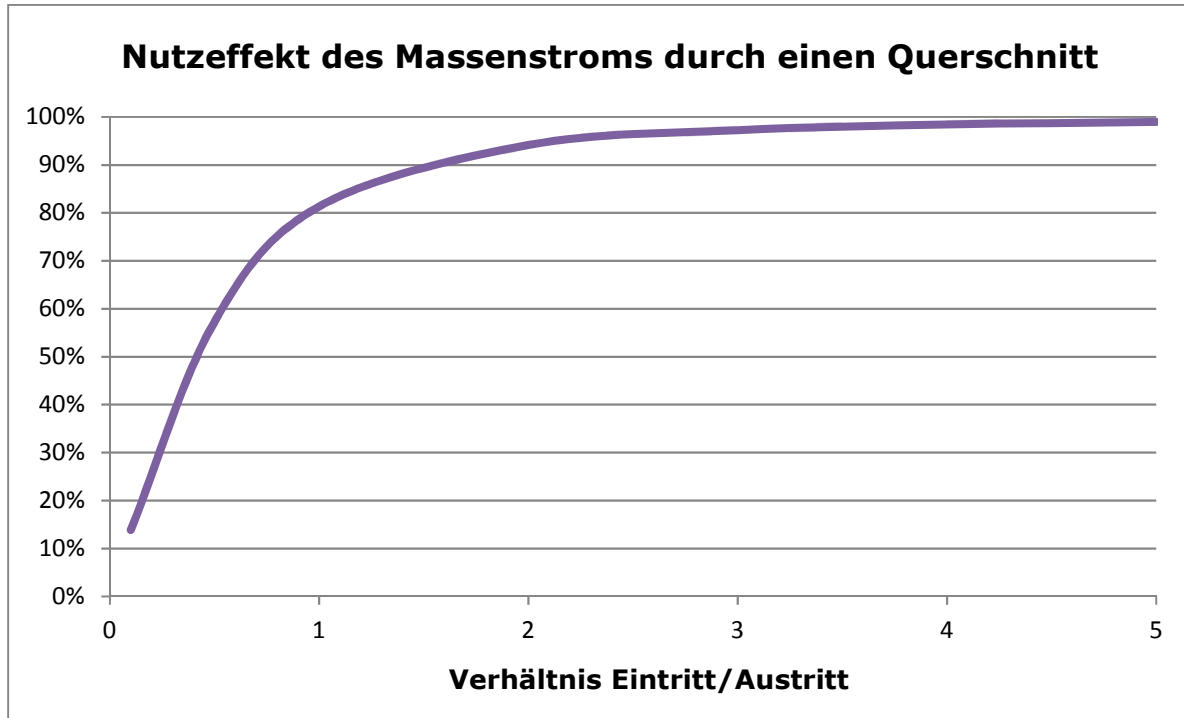


Bild 2 Effizienzrate unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen Eintritt- und Austrittsöffnung für Rauchgase mit einer Temperatur von 300 °C. Wenn der Querschnitt der Eintrittsöffnung zwei Mal so groß ist, wie die Austrittsöffnung beträgt die Effizienzrate 94%. Wenn Eintritts- und Austrittsöffnung gleich groß sind, wird die Wirksamkeit der Maßnahme auf 81% begrenzt.

2.2 Überdruckventilation

Bei dem Einsatz von Überdruckventilation muss dieses Zusammenspiel zwischen Einlass- und Austrittsöffnung ganz anders vorgesehen werden, damit sich ein optimaler Nutzeffekt einstellt. Die Verhältnisse sind in diesem Fall nämlich umgekehrt, als bei der natürlichen Belüftung. Mit anderen Worten, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen, muss demnach die Querschnittsfläche der Austrittsöffnung doppelt so groß sein, wie die



Bild 3 Aufstellung von 2 Überdruckventilatoren in V-Formation (Foto: Frank Meurisse)

Einlassöffnung. Auf das im vorherigen Kapitel zitierte Rechenbeispiel angewandt hieße das, dass ein optimales Resultat erreicht wird, wenn alle vier Fenster geöffnet werden. Das Verhältnis zwischen Eintritt und Austritt wäre dann 1 zu 2. Der Massenstrom kommt in dieser Situation nicht durch den Temperaturunterschied zwischen Rauchgase und Umluft zustande, sondern durch Einwirkung des Ventilators. Hier ist es ebenfalls möglich den Effekt der Belüftung etwas zu erhöhen, indem mehrere Fenster geöffnet werden. Allerdings macht es auch hier wenig Sinn, nach einem Verhältnis zu streben, das kleiner ist als 1 zu 3.

3 Wind

Im obenstehenden Abschnitt wurde der Nutzeffekt einer einzelnen Öffnung ohne Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten untersucht. In der Praxis ist dies nicht unbedingt die richtige Vorgehensweise. Bevor eine Belüftungsöffnung hergestellt wird, muss festgestellt werden, ob Wind herrscht und aus welcher Richtung er weht.

Bei der natürlichen Ventilation übt der Wind einen äußerst großen Einfluss auf die Situation aus. Daher ist es wichtig, immer zu versuchen „mit dem Wind“ zu belüften. Das erfordert das Anlegen der Eintrittsöffnung in der dem Wind zugewandten Fassade (Luv). Die Austrittsöffnung wird dann vorzugsweise auf der gegenüberliegenden, windabgewandten, Seite (Lee) geschaffen. Auch wenn die Austrittsöffnung in einem abgeschrägten Dach vorgesehen wird, ist es besser sich an diese Regel zu halten. Falls dies nicht möglich ist, kann nur versucht werden, eine möglichst hohe Effizienzrate für die Belüftungsöffnung zu erreichen (siehe oben).

Bei der Überdruckventilation ist die Situation weniger anfällig für Windeinflüsse. Bis zu einer gewissen Windstärke kann man gegen den Wind ventilieren. In solchen Situationen sollte man sich, wenn möglich, für eine kleinere Austrittsöffnung entscheiden. Diese Maßnahme wird einen höheren Überdruck im Rauminnen bewirken. Bei geringer Windstärke ist das ausreichend um die Windströmung zu überwinden.

Diese Verfahrensweise kann sich als nützlich erweisen, wenn es nicht möglich ist die Austrittsöffnung an der Leeseite des Hauses herzustellen. Es ist allerdings wichtig zu erwähnen, dass diese Möglichkeiten stark begrenzt sind. Untersuchungen haben ergeben, dass Überdruckventilatoren, wie sie in den Tanklöschfahrzeugen vorhanden sind, einen Überdruck von 26 Pascal aufbauen können. Das entspricht in etwa dem Winddruck bei einer Windgeschwindigkeit von 20 km/h. Es ist also möglich gegen den Wind zu ventilieren, dies jedoch nur bei einer niedrigen Windgeschwindigkeit. Verschiedene Quellen bezeichnen sogar 10 km/h als Grenzwert. Bei Windgeschwindigkeiten unterhalb dieser Werte ist das Ventilieren gegen die Windrichtung effizient. Oberhalb dieser Geschwindigkeiten wird sich die Wirkung sehr schnell vermindern.

4 Quellennachweis

- [1] Lambert Karel, *Nieuwe inzichten omtrent ventilatie, De brandweerman, mei 2011*
- [2] Hartin Ed, www.cfbt-us.com
- [3] Kerber Steve, *Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [4] Kerber Steve, *Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes, Fire Technology, vol. 48, p 865-891, 2012*

- [5] *Merci Bart, Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent, 2010*
- [6] *Svensson Stefan, Fire Ventilation, Swedish Rescue Services Agency, 2000*
- [7] *Christian Gryspeert, persoonlijke communicatie, 2014*
- [8] *Kerber Steve, Madrzykowski Dan & Stroup David, Evaluating positive pressure ventilation in large structures: high-rise pressure experiments, NISTIR 7412, Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2007*

Karel Lambert