

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Einfluss der Zuluftzuführung auf die natürliche Entrauchung großer eingeschossiger Räume

Die treibende Kraft natürlicher Rauchabzugsanlagen (NRA) beruht auf dem sich im Brandraum entwickelnden thermischen Auftrieb. Seine Stärke sowie die damit verbundene Funktion des Rauchabzuges hängen entscheidend von der Druck- und Temperaturverteilung im Gebäude, dem Dichteunterschied – Zuluft / Rauchgas - sowie von der wirksamen Auftriebshöhe zwischen Zulufteintritt und Rauchgasaustritt ab. Durch die sich im Brandraum entwickelnde Thermik entsteht über dem Brandherd eine Auftriebsströmung, verbunden mit Druckdifferenzen, die vom Zulufteintritt bis zum Rauchgasaustritt wirken. Zu überwinden sind bei einem natürlich wirkenden Entrauchungsvorgang sowohl die statischen und dynamischen Druckverluste im Bereich der Gebäudeöffnungen als auch interne Widerstände im Brandraum selbst.

Die Strömungsenergie im Bereich der Rauchgassäule (Plume) baut sich mit zunehmender Höhe vor allem durch die Aufnahme von Raumluft ab. Volumen und Umfang nehmen infolge des Impulsaustausches am Rande der Rauchgassäule mit zunehmender Höhe zu, wie aus *Bild 1* (idealisierte Darstellung) ersichtlich ist. Für die angestrebte Rauchgasschichtung im oberen Teil des Brandraumes ist zunächst die aufwärts gerichtete Ausbildung der Rauchgassäule eine Voraussetzung. Um das sich dabei entwickelnde Strömungsverhalten sowie die Ausbildung einer raucharmen Schicht im unteren Teil des Brandraumes nicht zu beeinträchtigen, soll die Zuluft dem Brandherd bodennah und impulsarm zugeführt werden.

Sowohl die aus dem Brandraum aufgenommene Verbrennungsluft als auch die durch Induktion in die Rauchgassäule eintretende Raumluft sind zu ersetzen und bilden in Ihrer Gesamtheit die in den Brandraum einzuführende Zuluft. Die danach zu bemessenden bzw. festzulegenden Zuluftöffnungen sowie deren Anordnungen sind mitbestimmend für die Ausbildung der Rauchgassäule, der Stabilität der angestrebten Rauch - / Luftschichtung sowie der Wirksamkeit des Rauchabzuges im Brandraum während eines sich entwickelnden Brandes.

Bemessungsgrundlage der Öffnungsflächen sind die im zu beurteilenden Brandraum vorherrschenden Brandleistungen, die mögliche Brandausbreitungsgeschwindigkeit, die Auftriebshöhe sowie die Höhe der angestrebten raucharmen Schicht. Weitere, oft vernachlässigte jedoch mit entscheidende Einflußfaktoren auf die Funktion des Rauchabzuges, sind die Lage, die Gestaltung und die Bemessung der Zuluftöffnungen.

1.0 Normative Eckwerte

Die DIN 18232-2 [1] basiert hinsichtlich der im Brandfall freiwerdenden Rauchgasmengen und Rauchschichtdicken im Brandraum auf dem Plume - Modell nach THOMAS und HINKLEY. Der Modelcharakter nimmt für sich in Anspruch, den Brandraum gewissermaßen in drei Bereiche zu unterteilen. Es handelt sich dabei, um die über dem Brandherd aufsteigende Rauchgassäule, die sich bildende Rauchgasschicht unterhalb der Raumdecke sowie um die angestrebte raucharme Schicht im unteren Raumbereich. Dabei wird eine impulsarme und bodennahe Zuluftzuführung vorausgesetzt.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Zur Sicherstellung der Rauchgasableitung unter Berücksichtigung stabiler Schichtungen stellt [1] hinsichtlich Art, Lage und Bemessung der Zuluftzuführung eine Reihe von Eckwerten auf, die es bei der Planung bzw. Ausführung von NRA zu berücksichtigen gilt:

- Als Zuluftöffnungen kommen Tore, Türen, Fenster oder spezielle für die Luftzuführung geschaffene Einrichtungen in Betracht. Diese sollen sich an mindestens zwei gegenüberliegenden Gebäudeseiten befinden, gleichmäßig verteilt angeordnet sein und zerstörungsfrei geöffnet werden können.
- Die wirksamen Zuluftflächen müssen mindestens dem 1,5-fachen der für den Auslegungsfall festgelegten aerodynamisch wirksamen Öffnungsflächen aller NRA - Öffnungen der größten Rauchabschnittsfläche des betrachteten Raumes entsprechen. Eine Reduzierung der Zuluftflächen bis auf das 1-fache der festgelegten NRA - Öffnungsflächen ist zulässig, soweit die notwendigen Rauchabzugsflächen für alle infragekommenden Rauchabschnitte, um 50% vergrößert werden. Als notwendige Voraussetzung dafür, ist eine bodennahe, horizontal in den Raum einzuführende Zuluft.
- Um die angestrebte Rauchgasschicht im oberen Teil des Brandraumes nicht durch zuluftseitig wirkende Turbulenzen zu beeinträchtigen, ist die Zuluft möglichst bodennah in den Brandraum einzuführen. Der Abstand zwischen Oberkante Zuluftöffnung und unterer Begrenzung der Rauchgasschicht ist auf mindestens 1m festzulegen. Im Bereich von Türen oder Fenstern mit einer maximalen Breite von 1,25 m, ist eine Reduzierung des vorgenannten Abstandes auf 0,5 m zulässig. Bei Zuluftöffnungen, die zu einer aufwärts gerichteten Strömung führen, ist ein Abstand von 1,50 m erforderlich. Fällt das Verhältnis Zuluft – zu Entrauchungsöffnung $A_1/A_2 < 1,5$ aus, so ist der vorgenannte Abstand auf ≥ 2 m zu erhöhen.
- Eine Zuluftzuführung über geöffnete Rauchabzugsöffnungen im Dachbereich angrenzender Rauchabschnittsflächen wird ausdrücklich nicht empfohlen, da durch sie u.U. die Stabilität der Schichtung, z.B. durch Windeinfluß, gefährdet wird.

Bild 1 zeigt die schematische Darstellung eines mit NRA ausgestatteten, in zwei Rauchabschnitte unterteilten, Raumes unter Berücksichtigung der rauchgasseitigen Begrenzung. Zum Ausdruck kommen darin die o.g. normativ vorgegebenen Eckwerte.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

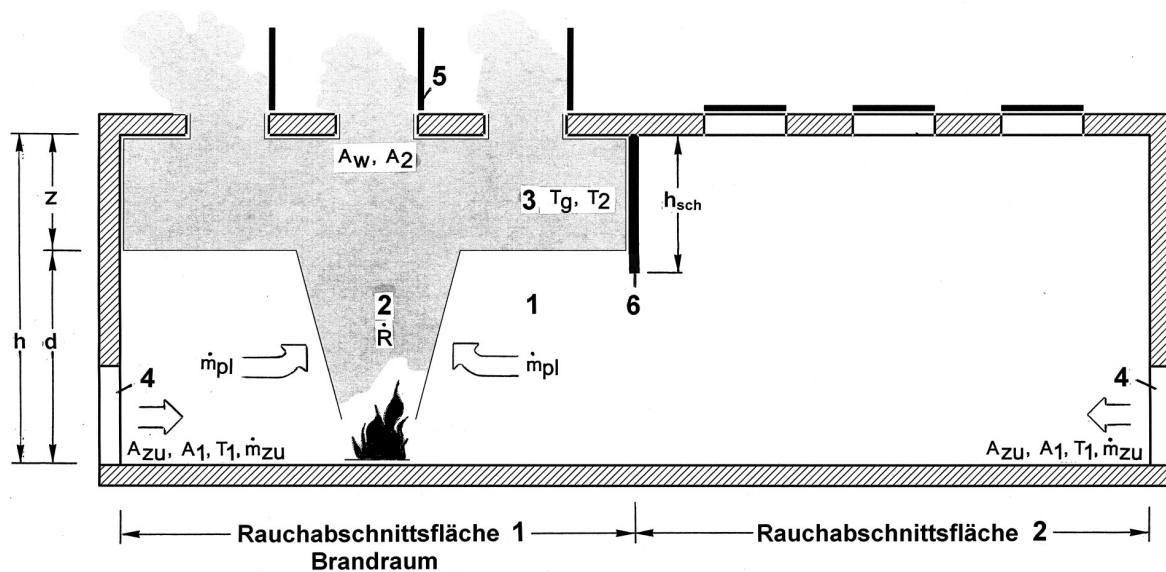


Bild 1: Schematische Darstellung der natürlichen Entrauchung eines großen eingeschossigen Raumes unter Berücksichtigung begrenzter Rauchausbreitung.

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1 raucharmer Bereich | 2 Rauchgassäule (Plume) |
| 3 Rauchgasschicht | 4 Zuluftöffnungen |
| 5 Rauchabzugsöffnungen | 6 Rauchschürze |

2.0 Praxisorientierte Ausführungen

Entrauchungskonzepte sind entsprechend den zu erwartenden Brandszenarien speziell für das jeweils zu beurteilende Gebäude bzw. dem Raum zu erstellen. Dieser Hinweis trifft besonders für Räume großer Flächenausdehnungen wie z.B. Verkaufsflächen, Lager oder Hallen jeglicher Art zu. Während dazu die unter 1.0 aufgezeigten Eckwerte gewissermaßen als Richtschnur in das Konzept einzubeziehen sind, lassen sich Engpässe und dadurch bedingte Abweichungen aufgrund baulicher Gegebenheiten in der Festlegung der Zuluftöffnungen mitunter nicht umgehen. Man denke dabei z.B. an große innenliegende Räume oder dicht aneinander gereihete Hallen. Abweichungen der Zuluftführung gegenüber den Festlegungen in [1] führen u.U. zum Verlust der vorgegebenen bodennahen und impulsarmen Luftzuführung. Der Planer muss sich darüber im Klaren sein, dass damit erhebliche Veränderungen im angestrebten Strömungsbild, Beeinträchtigungen der Luft- /Rauchschichtung und u.U. eine Verringerung der Rauchgasabführung gegenüber der Auslegung nach [1] die Folge sein können.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

3.0 Untersuchung der Einflussgrößen

Abweichungen von den unter 1.0 aufgeführten normativen Eckwerten beeinträchtigen in der Regel die beabsichtigte Entrauchungsfunktion. Um die dabei auftretenden unterschiedlichen Einflussgrößen zu verdeutlichen, geben Berechnungen des Auftriebsverhaltens sowie Modellversuche Einblicke in quantitative Veränderungen der Volumenströme und lassen Beeinträchtigungen der angestrebten Strömungsbilder erkennen.

3.1 Bemessung der Öffnungsflächen

Die Bemessung der Rauchabzugsflächen (A_w , A_2) für Räume mit vertikaler Rauchableitung über Dach erfolgt entsprechend den Angaben nach [1]. Daran orientiert, beträgt das Flächenverhältnis im Hinblick auf die Zuluftzuführung (A_{zu} , A_1) $A_1 / A_2 = 1,5$.

Für den sich auszubildenden Volumenstrom sind neben der Brandleistung die Zulufttemperatur T_1 , die mittlere Temperatur der Rauchgasschicht T_2 , die wirksame Höhendifferenz h_w sowie die Bemessung der Öffnungsflächen A_1 und A_2 die entscheidenden Einflussgrößen. Nach Festlegung der Öffnungsflächen und angenommenen Temperaturen T_1 , T_2 ist die wirksame Auftriebshöhe h_w für eine stationäre Betrachtung die den Auftrieb bestimmende Größe.

Mit der von HANSEN [2] für den Brandfall in Hallen aufgestellten Gleichung

$$w_2 / \sqrt{g * h_w} = \frac{(1 + \Delta t / T_1) * \sqrt{2 * \Delta t / T_1}}{\sqrt{(2 + \Delta t / T_1) * (1 + \Delta t / T_1 + A_2^2 / A_1^2)}} \quad 1)$$

lässt sich, da h_w für einen betrachteten Fall bekannt ist, unter Einsatz der vorgenannten Werte die Rauchgasaustrittsgeschwindigkeit w_2 in A_2 berechnen. Eine solche Berechnung ist dann sinnvoll, wenn z.B. ein verändertes Flächenverhältnis A_1 / A_2 oder ein Vergleich der Volumenströme zwischen bodennaher und erhöhter Zuluftzuführung in Betracht kommt. In *Bild 2* sind die nach Gleichung 1) berechneten Werte für

$w_2 / \sqrt{g * h_w}$ in Abhängigkeit des Flächenverhältnisses A_1 / A_2 sowie der mittleren Rauchgastemperatur T_2 (umgerechnet auf t_2 in °C) bei einer konstanten Zulufttemperatur von $t_1 = 20$ °C dargestellt. Die berechneten Werte beinhalten angenommene Korrekturfaktoren der Öffnungsflächen ($c_z = c_v = 0,65$).

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

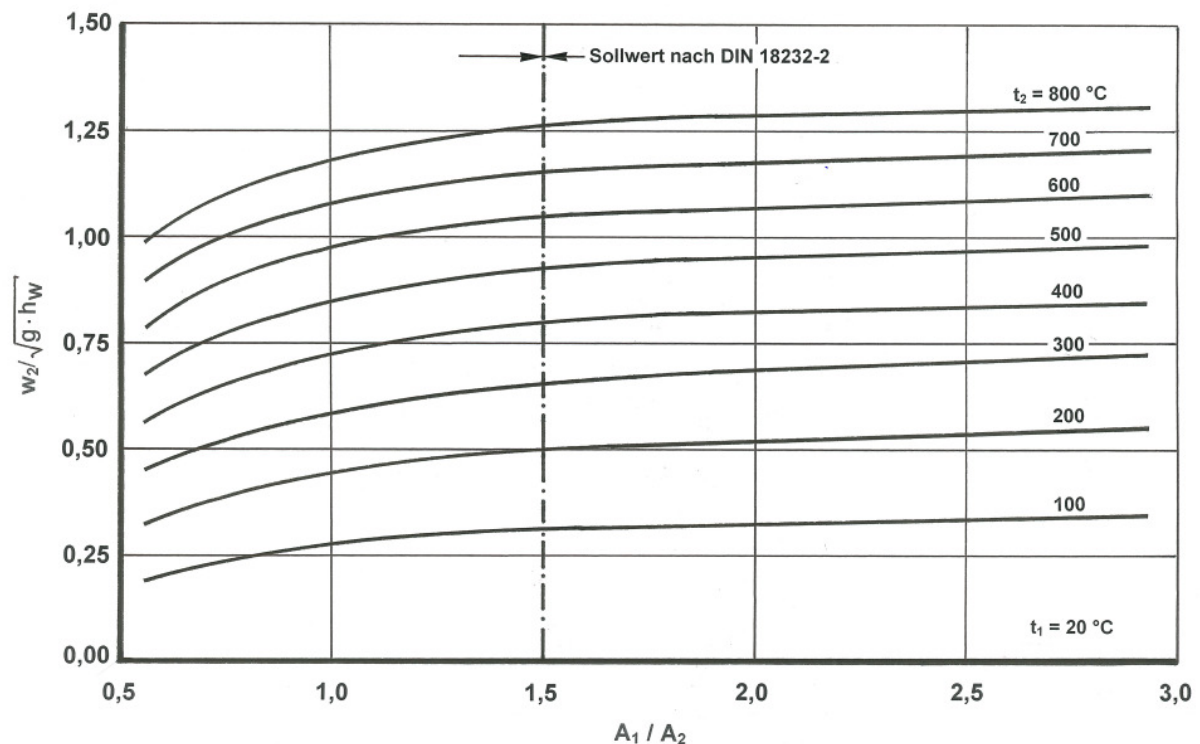


Bild 2: $w_2 / \sqrt{g \cdot h_w}$ in Abhängigkeit von A_1 / A_2 und t_2 , bei $t_1 = 20$ °C.

Das nach [1] vorgegebene Flächenverhältnis $A_1/A_2 = 1,5$ stellt in *Bild 2* den Sollwert dar.

Aus dem Verlauf der Temperaturparameter im *Bild 2* wird deutlich, dass mit einer Vergrößerung von A_1 ($A_1/A_2 > 1,5$) nur eine bescheidene Erhöhung von w_2 bzw. des Volumenstromes zu erwarten ist. Im Gegensatz dazu nimmt w_2 deutlicher mit einer Verringerung von A_1 ($A_1/A_2 < 1,5$) unterhalb des Sollwertes ab. Reduziert man die Zuluftfläche, auf den nach [1] zulässigen Wert $A_1/A_2 = 1,0$, so ist danach die notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche für alle Rauchabschnittsflächen des Raumes um 50% zu erhöhen. Mit dieser Erhöhung von A_2 soll die Aufrechterhaltung des Volumenstromes bei bodennaher Zuluftzuführung bezogen auf das ursprünglich festgelegte Flächenverhältnis $A_1/A_2 = 1,5$ erzielt werden.

3.2 Einflussgröße Höhenlage der Zuluftzuführung

Nach [1] soll die Zuluftzuführung in den Brandraum möglichst bodennah erfolgen. Darauf basiert die Auslegung der Rauchabzugsflächen. Die praktischen Gegebenheiten lassen die Anordnung von Zuluftöffnungen in Bodennähe jedoch nicht immer zu. So kommen Fenster oder spezielle Wandöffnungen in höher gelegenen Außenwandbereichen zum Einsatz, die mit zunehmender Höhenlage die wirksame Auftriebshöhe h_w reduzieren und damit den thermischen Auftrieb verringern. Des Weiteren besteht die Gefahr, daß mit zunehmender Höhenlage der Zuluftzuführung die Stabilität der angestrebten Luft- / Rauchgasschichtung beeinträchtigt wird.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Aus *Bild 2* lässt sich der Wert $w_2 / \sqrt{g \cdot h_w}$ in Abhängigkeit der in ansatzgebrachten Flächen –und Temperaturverhältnisse ablesen. Bezogen auf den Sollwert von A_1/A_2 steht beispielweise für $t_2 = 400 \text{ °C}$ der Wert $w_2 / \sqrt{g \cdot h_w} = 0,80$ an. Daraus ergibt sich für eine 10m hohe Halle mit bodennahem Zuluftseintritt eine wirksame Auftriebshöhe h_w von ca. 9 m, woraus sich ein Volumenstrom mit einer mittleren Rauchgasgeschwindigkeit in den NRA -Geräten von $w_2 \sim 7,5 \text{ m/s}$ ableiten lässt. Mit zunehmender Höhenlage der Zuluftöffnungen verringert sich zunächst w_2 entsprechend dem Wert $\sqrt{h_w}$. So stellt sich bei gleicher Brandleistung eine Abnahme von w_2 verbunden mit einem reduzierten Volumenstrom ein, der eine Zunahme der Rauchgasschicht z sowie eine Erhöhung der Temperatur t_2 zur Folge hat. Mit der Abnahme von w_2 verringert sich auch die Druckdifferenz in den NRA - Geräten zwischen Brandraum und Umgebung. Durch die Veränderungen von t_2 (+) und Δp_2 (-) tritt eine gewisse Kompensation im Hinblick auf den sich einstellenden Volumenstrom bzw. der Austrittsgeschwindigkeit w_2 ein. So lässt sich mit Hilfe von *Bild 2* unter Einbeziehung ansteigender Rauchgastemperaturen und abnehmender Druckverluste die sich angleichende Austrittsgeschwindigkeit w_2 ermitteln. Für den hier geschilderten konkreten Fall ergeben sich durch die Verringerung von h_w und unter Berücksichtigung der genannten Kompensationsgrößen rein rechnerisch etwa folgende relativen Veränderungen von w_2 :

h_w	=	9	7	5	3	m
w_2	=	100	95	87	82	%

Als Konsequenz des vorgenannten reduzierten Rauchgasabflusses ist dann ein Ausgleich im Sinne vergrößerter Entrauchungsöffnungen notwendig. Entfällt dieser Ausgleich so verstärkt sich die Rauchgasansammlung im oberen Raumbereich bei gleichzeitiger Abnahme der raucharmen Schicht.

Hoch angeordnete Zuluftzuführungen oder solche mit aufwärts gerichteter Luftzuführung, wie Wetterschutzgitter, Klappflügel auswärts, Kippflügel einwärts, führen in der Regel zur induktionsbedingten Erfassung der sich bildenden Rauchgasschicht. Die Folge ist nicht nur die Mitnahme des Rauches in den unteren Bereich des Brandraumes, sondern das sich danach einstellende Strömungsbild führt zu einer Art Rotation von Teilen der Rauchgasschicht, die den gesamten Brandraum erfassen kann. Darüber hinaus ist nicht auszuschließen, dass im Verhältnis zur Raumhöhe sehr hoch gelegene Zuluftöffnungen, im oberen Teil durch Rauchgase beaufschlagt und als Rauchabzug in Anspruch genommen werden. In diesen Fällen kann von einer funktionsgerechten Entrauchung des Brandraumes keine Rede mehr sein. Um diese negativen Auswirkungen zu vermeiden, müssen die Zuluftöffnungen im Bereich der angestrebten raucharmen Schicht platziert und mit horizontaler oder abwärts gerichteter Luftzuführung versehen sein.

3.3 Einfluss Zuluft Eintrittsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit mit der die Zuluft in den Brandraum eintritt, beeinflusst den Entrauchungsprozess insgesamt. Niedrige Zuluftgeschwindigkeiten begünstigen bei bodennaher Zuführung die Ausbildung der

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Rauchgassäule, ihre Stabilität und Luftaufnahme aus der räumlichen Umgebung. Unter der Voraussetzung ausreichend groß bemessener Zuluftöffnungen führt dieser Vorgang bei einem sich entwickelnden Brand zu einer eindeutigen Luft-/ Rauchgasschichtung.

Zu berücksichtigen ist in diesen Zusammenhang allerdings die Gefahr des Windeinflusses. Besonders bei freistehenden Gebäuden wird die angestrebte niedrige Zuluftgeschwindigkeit – verbunden mit relativ großen Öffnungsflächen - oft durch Windanfall auf das Gebäude erheblich erhöht. Dieser Einfluss wirkt sich besonders dann gravierender aus, wenn gegenüberliegende Zuluftöffnungen zu einer Luv-Lee-Situation führen. Eine dadurch bedingte Querlüftung im Brandraum beeinflusst, vor allen während des Entstehungsbrandes, sowohl die sich ausbildende Rauchgassäule als auch die Stabilität der Schichtung.

Die Ausführungen zu [1] lassen die Frage nach einer zulässigen Lufteintrittsgeschwindigkeit offen. Dagegen ist für maschinelle Rauchabzüge MRA nach DIN 18232-5 [3] eine Zuluft Eintrittsgeschwindigkeit < 3 m/s zu gewährleisten. Ein Brand stellt sich unabhängig von der Art der Rauchabzugseinrichtung (NRA oder MRA) ein. Da die Lage des Brandherdes im Raum nicht vorhersehbar festzulegen ist, muss ein Brandherd auch im Bereich nahe der Zuluftöffnungen in Betracht gezogen werden. Je näher sich dieser an der Lufteintrittsstelle befindet, um so größer ist die Gefahr, dass der Eintrittsstrahl der Zuluft den Brandherd erfasst und demzufolge weder eine aufwärts gerichtete Ausbildung der Rauchgassäule noch eine Schichtenbildung zu erwarten ist.

In diesen Zusammenhang stellt sich zunächst die Frage, mit welchen Zuluftmengen ist bei der Auslegung von Entrauchungseinrichtungen bzw. einen sich entwickelnden Brand zu rechnen? Ausgehend von einem sich voll entwickelten Brand lässt sich nach [1] der normative Massenstrom, der in die Rauchgasschicht eintritt und nach außen abzuführen ist, berechnen. Dieser setzt sich zusammen aus der Abbrandrate $\dot{R}$ und der von der Rauchgassäule aufgenommenen Umgebungsluft $\dot{m}_{pl}$. Der sich daraus ergebende Massenstrom ist abhängig vom Brandflächenumfang (brandleistungsbezogen) sowie von der Höhe der angestrebten raucharmen Schicht. Je höher die raucharme Schicht ausfällt, umso größer ist die Luftaufnahme aus der räumlichen Umgebung. Für eine stationäre, praxisorientierte Betrachtung kann davon ausgegangen werden, dass sich der über die Zuluftöffnungen in den Brandraum nachströmende Massenstrom durch

$$\dot{m}_{zu} \approx \dot{m}_{pl} + \dot{R} \quad \text{in kg/s} \quad \dots 2)$$

ermitteln lässt. Als Beispiel sei eine 10 m hohe Halle, Bemessungsgruppe 3, eine raucharme Schicht $d = 5$ m sowie Brandleistung und Umfang des Brandes entsprechen [1] angenommen. Unter Verwendung der Gleichung nach THOMAS + HINKLEY ergibt sich daraus ein abzuführender Massenstrom von ~ 34 kg/s. Daraus lässt sich unter Berücksichtigung einer Außentemperatur von 20°C ein Zuluftstrom von etwa $28 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnen. Bei Einhaltung des Öffnungsverhältnisses $A_1/A_2 = 1,5$ ($14,0 / 9,3 \text{ m}^2$) stellt sich im genannten Beispiel eine Zuluft Eintrittsgeschwindigkeit von $w_1 \sim 2$ m/s ein. Stellt man im aufgeführten Beispiel die Bemessungsgruppe 4 in Rechnung, so würde sich die Eintrittsgeschwindigkeit um ca. 10% erhöhen. Die Zuluft Eintrittsgeschwindigkeit wird neben den brandabhängigen Faktoren sowie von der angestrebten Höhe der raucharmen Schicht auch von der Raumhöhe h selbst beeinflusst. Mit hinreichender Näherung kann unter Einhaltung des Öffnungsverhältnisses $A_1 / A_2 = 1,5$ für praktische Belange im entwickelten Brand von $w_1 \sim 1,5 \dots 2,5$ m/s ausgegangen werden.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Wie bereits geschildert, kann sich der hinter der Zuluftöffnung entstehende Luftstrahl sowohl auf die Ausbildung der Rauchgassäule als auch auf die Stabilität der Rauchgas-/ Luftschtichtung negativ auswirken. Es handelt sich in den betrachteten Fällen in der Regel um rechteckige Öffnungsquerschnitte (Fenster, Tore, Türen usw.) hinter denen sich ebene Frei- oder Bodenstrahlen ausbilden. Eine Beeinflussung der Rauchgassäule oder -schichtung durch die Strahlenausbildung hängt von deren Wurfweite bzw. dem vertikalen Abstand zur Rauchgasschicht ab.

Mit zunehmendem horizontalem Abstand verliert der Eintrittsstrahl an Geschwindigkeit. Dabei baut der Freistrah (Öffnung oberhalb der Bodenebene) schneller ab, als der bodennahe Strahl (Coanda-Effekt). Bei einer mittleren Zulufteintrittsgeschwindigkeit im Öffnungsquerschnitt von 2,5 m/s wird distanzabhängig etwa folgende Abnahme der Strahlengeschwindigkeit wirksam [4]:

Distanz	5	10	15	20	m
Freistrah	2,3	1,9	1,5	1,2	m/s
Bodenstrahl	2,4	2,2	2,0	1,6	m/s

Inwieweit die Rauchgassäule durch die sich einstellende Luftbewegung beeinträchtigt wird, hängt von der Distanz zwischen Zuluftöffnung und Brandherd sowie von der Heftigkeit des Feuers ab. Besonders im Anfangsstadium eines Brandes dürften Luftbewegungen < 1 m/s die sich bildende Rauchgassäule beeinflussen. Allerdings nimmt der Luftdurchsatz durch den Brandraum zwischen einen Entstehungs- und sich vollentwickelten Brand erst allmählich zu, was der Rauchgassäulenformierung im Anfangsstadium eines Brandes wiederum entgegen kommt. Die eigentliche bzw. die in der hier behandelten Betrachtung wirkungsvolle Zunahme der Zuluftmenge stellt sich erst nach überschreiten des "flash over" ein. Dies bedeutet, dass erst mit zunehmender Entwicklung des Brandes die Stärke der aufsteigenden Rauchgassäule zunimmt. Parallel dazu erfolgt die Anpassung bzw. Zunahme der nachströmenden Zuluft. Dann dürften auch horizontale Luftbewegungen > 1 m/s ihren Einfluss auf die Rauchgassäule weitgehend verloren haben.

Gravierender kann sich dagegen der Einfluss des oberen zuluftseitigen Strahlenbereiches auf die Stabilität der sich bildenden Rauchgasschicht auswirken. Die volle Ausbildung der angestrebten Rauchgasschicht erfolgt während des sich vollentwickelten Brandes, d.h. in einem Zeitraum, in der die Zuluftnachströmung bzw. deren Eintrittsgeschwindigkeit ihren Höchstwert erreicht. Dieser Einfluss tritt vor allem bei Zuluftöffnungen auf, bei denen die sich nach oben hin ausbreitenden Zuluftstrahlen die Rauchgasschicht direkt oder durch Induktionseinfluss erfassen. Im extremen Fall gerät die Rauchgasschicht in Bewegung und beeinflusst gleichzeitig die Aufwärtsbewegung der Rauchgassäule. Als Folge ist ein Rückströmen der Rauchgase zum Boden des Brandraumes unter Verlust der raucharmen Schicht nicht auszuschließen.

3.4 Zulufteinführung über NRA-Gerät im Dachbereich

Die Zulufteinführung über geöffnete NRA - Geräte im Dachbereich benachbarter Rauchabschnittsflächen wird nach [1] nicht empfohlen, da unter Berücksichtigung des Windeinflusses mit einer Rückströmung des Rauches

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

über Dach aus der angrenzenden Rauchabschnittsfläche (Brandraum) nicht auszuschließen ist. Dennoch werden in Fällen fehlender bodennahe Zulufteinführungen NRA - Geräte zur Deckung des Zuluftbedarfes genutzt.

Vorraussetzung für ein solides Entrauchungskonzept ist die vorgegebene "Trennung" der Rauchabschnittsflächen 1+2 mittels Rauchschürzen (*Bild 1*). Diese stellt zunächst die horizontale Begrenzung der sich bildenden Rauchgasschicht im Brandraum dar. Im Funktionsfall (geöffnete NRA-Geräte beider Rauchabschnittsflächen) fällt die kalte Zuluft in der benachbarten Rauchabschnittsfläche 2 (*Bild 1*) bis zum Boden hin durch. Ausreichend bemessene Rauchschürzen zwischen beiden Abschnittsflächen verhindert dabei das Eintreten der Zuluft in die sich ausbildende Rauchgasschicht des Brandraumes.

Um eine quantitative Vorstellung zu erhalten, wurde die über Dach eingeführte Zuluftmenge im Modellversuch gemessen und mit den Messergebnissen der bodennahen Zulufteinführung über die "kalte" Rauchabschnittsfläche 2 verglichen. Dabei stellt die Rauchschürze, je nach ausgeführter Höhe einen intern zu überwindenden Widerstand dar, der die Zuluftströme in beiden Fällen unterschiedlich stark beeinflusst. *Bild 3* zeigt die relativen Veränderungen der Zuluftströme in Abhängigkeit des Verhältnisses; Höhe der Rauchschürze h_{sch} zur Raumhöhe h (h_{sch}/h), ohne Seitenwindeinfluss. Der Einfluss der Rauchschürze wirkt sich in Fall B (siehe *Bild 3*) gravierender aus als im Fall A, da bei der Lufteinführung über Dach ein zusätzlicher Umlenkungswiderstand zu überwinden ist. Der Kurvenverlauf von C macht die Abweichungen der Volumenströme im Verhältnis der Fälle B/A deutlich.

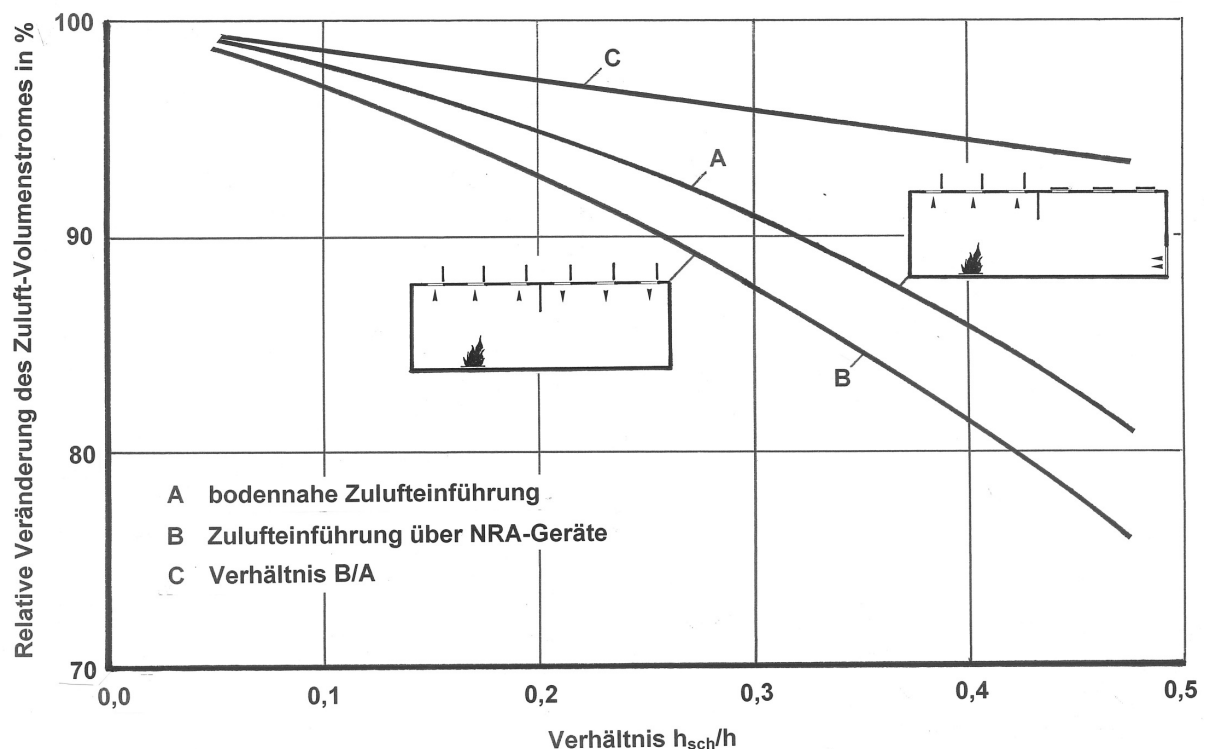


Bild 3: Relative Veränderungen der Zuluft-Volumenströme durch den Einfluss der Rauchschürze

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Sowohl die Modellversuche als auch die Darstellung im *Bild 3* machen deutlich, daß die Zulufteinführung über benachbarte Rauchabschnittsflächen, abgesehen von möglichen Seitenwindeinflüssen, wirksam ist. Dabei ist der Widerstand der Rauchschräge in jedem Fall bei der Auslegung der Öffnungsflächen zu berücksichtigen. Der Wert $h_{sch} / h = 0$ (ohne Rauchschräge), der in der Praxis zur Unterleitung der Rauchabschnittsflächen nicht in Frage kommt, stellt in *Bild 3* lediglich eine Ausgangsgröße dar. Er ist jedoch vergleichbar mit der unmittelbaren, bodennahen Zulufteinführung in den Brandraum.

3.5 Maschinell unterstützte Zulufteinführung

In den Fällen, in denen eine natürliche Zulufteinführung aus baulichen Gegebenheiten nicht in Betracht kommt, muss die Zuluft auf maschinellm Wege in den Brandraum eingeführt werden. Diese Variante der Zulufteinführung ist in [1] nicht aufgeführt, mitunter ergeben sich jedoch keine Alternativen. Zuluftmengen, deren Einführungen und Verteilungen müssen den unter 3.3 und 3.4 angesprochenen Kriterien entsprechen. Danach setzt die relativ große einzuführende Luftmenge verteilt angeordnete Zuluftauslässe voraus, die in ihrer Gesamtauslegung, unter Beachtung der begrenzten Eintrittsgeschwindigkeit, der Größenordnung natürlicher Lufteinführungen entsprechen müssen. Zur Lufteinführung bieten sich zunächst Öffnungen in den Randflächen des Bodens oder in Bodennähe der Wände des betrachteten Raumes an. Bei vorgelagerten Fluren und ausreichend bemessenen Durchgängen wie Türen, Tore, Vorhänge (alle ohne Feuerwiderstandseigenschaft) kann die Zuluft auch vom Flurbereich in den Brandraum eingeführt werden. Dies setzt allerdings voraus, dass es sich um Räume handelt, deren raucharme Schicht mit mindestens 1m über den Stürzen der Durchgangsöffnungen angesetzt wurde. Schon bei 2m hohen Durchgangsöffnungen und Festlegung der raucharmen Schicht auf $d = 2,5$ m besteht die Gefahr der direkten oder induktiven Erfassung der Rauchgasschicht und Verrauchung des unteren Raumbereiches.

In weiteren Vorschlägen zur impulsarmen Zulufteinführungen [5] werden großflächige Quellaftauslässe und Textilauslässe ins Gespräch gebracht. Beide Vorschläge stellen im Hinblick auf die Lufteinführung und Verteilung im Sinne niedriger Eintrittsgeschwindigkeiten den Idealfall dar. Jedoch stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob der damit verbundene Aufwand, bezogen auf die relativ großen Luftmengen, zu verkraften ist.

Bei der Gegenüberstellung der natürlichen zur maschinellen Zulufteinführung wird folgendes deutlich:

- Die natürliche Zulufteinführung über Außenwandöffnungen passt sich quantitativ den Brandgeschehen an, d.h. es strömt nur die Luftmenge nach, um den Bedarf des Brandes zu decken. Diese steigert sich mit der Brandentwicklung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des angestrebten Unterdruckes im unteren Raumbereich.
- Anders bei der maschinellen Zulufteinführung, bei der sich von vornherein die Frage nach der Bemessung stellt. Da die Brandentwicklung im Auslegungsfall nicht einzuschätzen ist und eine modulierende, dem Brandgeschehen angepasste Luftversorgung ausscheidet, muß sich die Festlegung der Zuluftmenge an der Massenstromauslegung nach Gleichung 2) orientieren. Insofern ist die beabsichtigte Druckverteilung im Brandraum schon in der Anfangsphase des

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Brandes in Frage gestellt. Damit verbunden besteht sowohl die Gefahr der Beeinträchtigung der Rauchgassäule im Entwicklungsstadium des Brandes als auch der angestrebten Rauchgas- / Luftschichtung beim fortgeschrittenen Brandgeschehen. Rauchübertritte in Nachbarbereiche sind durch die sich aufbauende Überdrucksituation nicht auszuschließen.

4.0 Strömungssimulationen im Modell

Bei Modelluntersuchungen mit Strömungssimulationen handelt es sich um Ingenieurmethoden zur Beobachtung des Rauchverhaltens im Brandraum. Sie vermitteln raumbezogen vor allem in der Entstehungsphase eines Brandes wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf die Auslegung bzw. Ausführung entrauchungstechnischer Einrichtungen. Die in der Entstehungsphase noch instationären Strömungszustände lassen sich im Modell aufschlussreich darstellen und sie charakterisieren bereits die gegebenen baulichen und betriebstechnischen (Zuluftzuführung, Rauchgasableitung) Einflussgrößen im zu untersuchenden Raum. Dagegen lassen sich weitergehende stationäre Vorgänge, wie sie sich auf die Dauer vollentwickelter Brände einstellen, wegen ihrer Komplexität im Modell nur schwer nachweisen. Die Einflussgrößen während eines Brandes, wie Verhalten des Brandgutes, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Temperaturentwicklung, Temperaturen der Raumumfassungsflächen, Windausfall usw. sind in diesem Zeitraum nur schwer erfassbar, was zu Diskrepanzen zwischen den Modellerkenntnissen und der Realität führen würde.

Im vorliegenden Fall beschränken sich die nachfolgend dargestellten Modellversuche auf das Strömungsverhalten des Rauches in der Entstehungsphase eines Brandes unter Berücksichtigung der Lage bzw. Art der Zuluftzuführung. Der Modellaufbau entspricht der Darstellung in *Bild 1* unter Berücksichtigung des Flächenverhältnisses $A_1 / A_2 = 1,5$.

4.1 Bodennahe Zuluftzuführung

In der Schwelbrandphase genügen kleinste horizontale Luftbewegungen, um eine Rauchausbreitung in Bodennähe zu bewirken. *Bild 4* zeigt das Rauchverhalten bei gegenüberliegenden Zuluftöffnungen in Bodennähe ohne Seitenwindeinfluss. Die niedrigen Temperaturen führen nicht zur Entwicklung einer Rauchgassäule sowie einer Rauchgasschichtung unter der Decke des Brandraumes.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

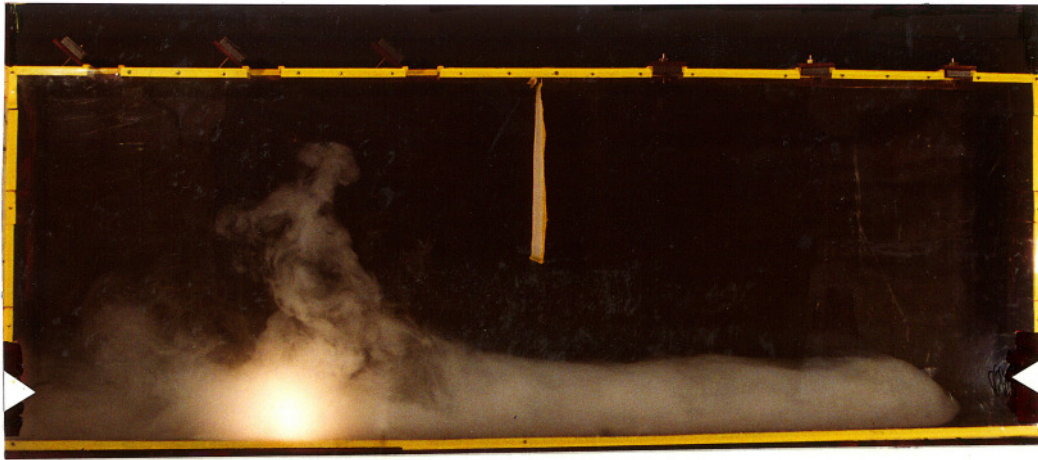


Bild 4: Rauchausbreitung im Schmelbrand bei beidseitig geöffneten bodennahen Zuluftöffnungen

Einen sich entwickelnden Brand zeigt *Bild 5*. Die Zuluft gelangt ohne Seitenwindeinfluss bis zum Brandherd, was zur Ausbildung der Rauchgassäule führt. Unbeeinflusst bildet sich die Rauchgasschicht im oberen Teil des Brandraumes. Mit Hilfe der Rauchschräge verbleibt die Rauchgasschicht in der brandbeaufschlagten Rauchabschnittsfläche.

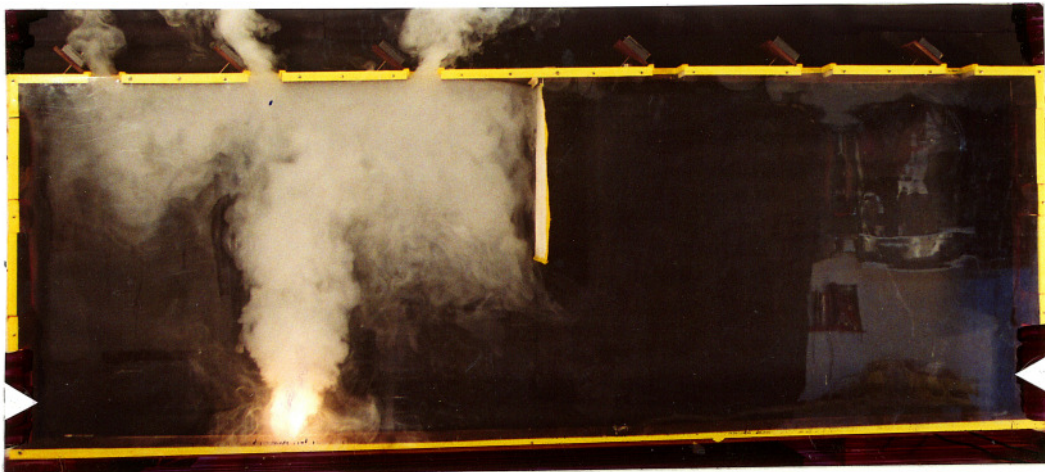


Bild 5: Ausbildung der Rauchgassäule und Rauchgasansammlung im oberen Teil des Brandbereiches bei beidseitiger Zulufteinführung ohne Seitenwindeinfluss

Bereits leichter Seitenwindeinfluss auf das Gebäude beeinträchtigen sowohl die Ausbildung der Rauchgassäule als auch die Rauchgasschichtung. Der Rauch bewegt sich mit dem Wind, staut sich vor der Rauchschräge und gleitet unter ihr in die benachbarte Rauchabschnittsfläche über. Die angestrebte Rauchgasschichtung bleibt aus.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

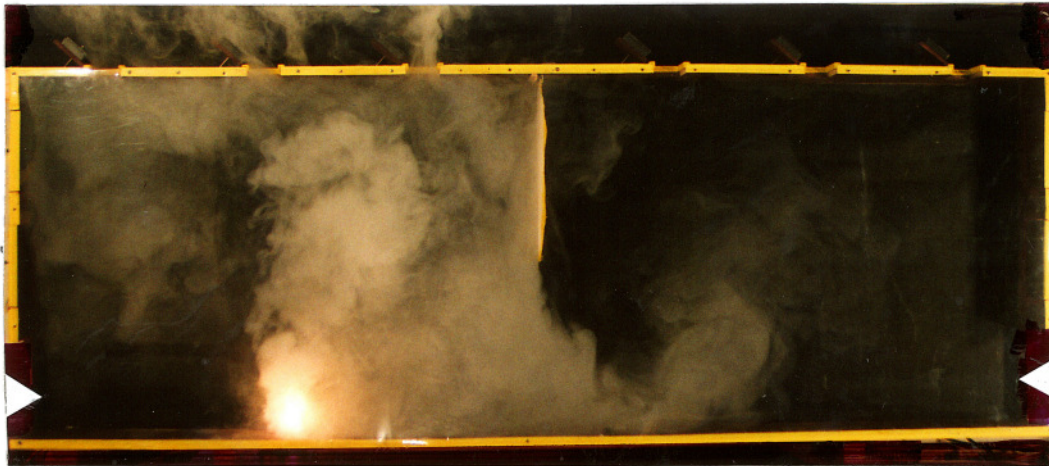


Bild 6: Rauchbewegung im Brandraum durch Seitenwindeinfluss von links

4.2 Zulufteinführung auf oberer Raumhöhe

So bald die bodennahen Zuluftöffnungen durch solche im höheren Außenwandbereich ersetzt werden, hat die kalte Zuluft zunächst das bestreben zum Boden des Raumes hin durchzufallen. Von einer impulsarmen Lufteinführung kann dann keine Rede mehr sein. Die Folge davon ist ,die Erfassung des Rauches und Mitnahme in den unteren Raumbereich verbunden mit der Gefahr des Rauchübertrittes in die benachbarte Rauchabschnittsfläche. Der von Zuluftstrom erfasste Rauch kühlt sich dabei ab und verbleibt im unteren Raumbereich. Erst mit zunehmender Brandleistung ist eine Wiedererwärmung und Aufstieg des Rauches möglich. *Bild 7* verdeutlicht das Rauchverhalten beim einseitigen Zulufteintritt (von links). Im Falle beidseitiger Zuluftöffnungen auf gleicher Höhe würde sich der Rauchübertritt unterhalb der Rauchschürze ohne Seitenwindeinfluss verringern, d.h. ein entgegen gesetztes Kaltluftpolster wirkt gewissermaßen als Puffer.

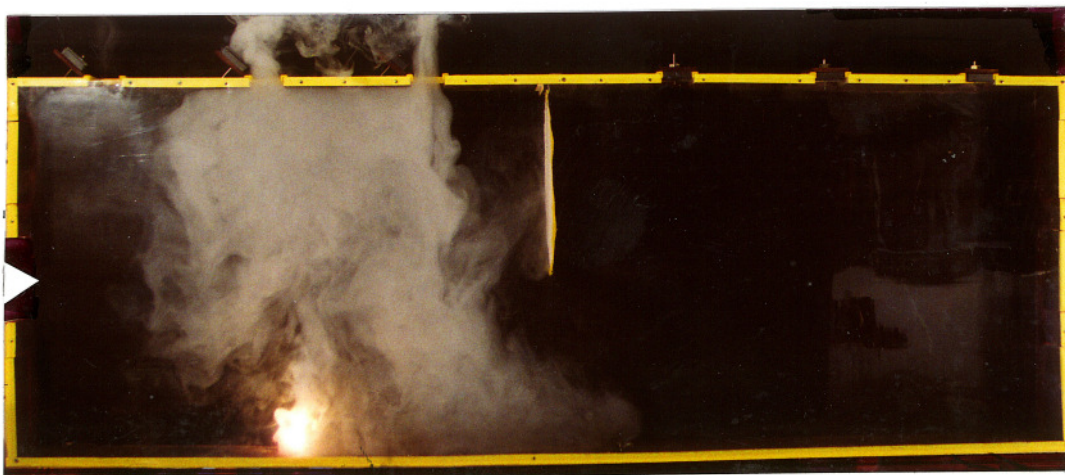


Bild 7: Rauchverhalten bei einseitiger Zuluftöffnung auf mittlerer Raumhöhe

Noch gravierender stellt sich die Rauchverschleppung mit zunehmender Höhenlage der Zuluftöffnungen in den Außenwänden des Gebäudes ein. Die oben geschilderte Wirkung des Kaltlufteinfalles gewinnt mit

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

zunehmender Höhenlage an Dynamik und verstärkt somit den Druck auf die Rauchgassäule, deren Aufwärtsbewegung dadurch nicht zur Ausbildung kommt. Der Zulufteneinfall verbunden mit dem dadurch bedingten seitlichen Druck führen zu einer Art rotierenden Bewegung des Rauches im Brandraum. Trotz geöffneter NRA-Geräte nimmt der Rauch bei fortschreitender Entwicklung den oberen Teil der Zuluftöffnung für sich als Abzug in Anspruch. Darüber hinaus führt die einseitige Belastung zum Rauchübertritt in den benachbarten Rauchabschnitt. Mit dieser Anordnung der Zuluftöffnung ist weder eine Rauchgasschichtung noch eine Begrenzung des Rauches auf die brandbelastete Rauchabschnittsfläche zu erzielen.

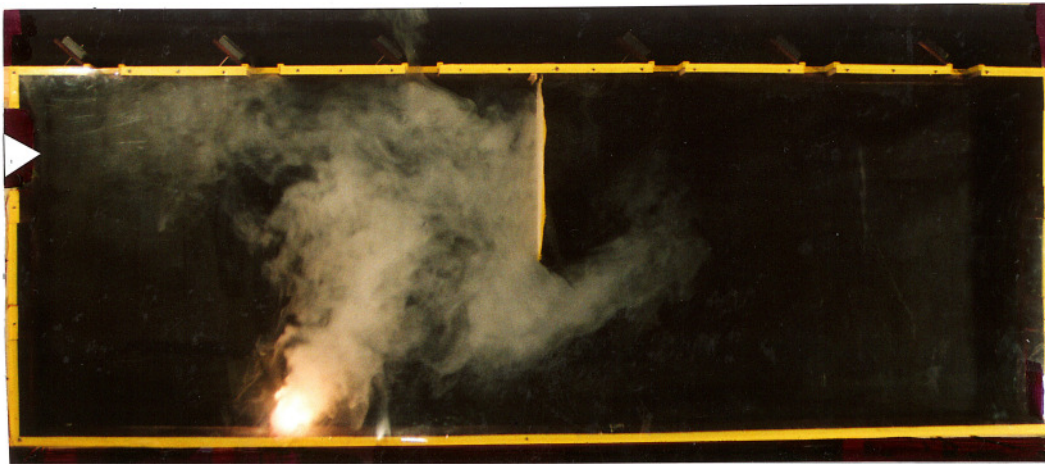


Bild 8: Rauchverhalten bei einseitiger Zuluftzuführung auf oberer Raumhöhe

4.3 Zuluftzuführung über NRA-Geräte

Wie bereits unter 3.4 zum Ausdruck gebracht, fällt die kalte Zuluft bei Öffnung der NRA-Geräte im benachbarten brandfreien Rauchabschnitt bis zum Boden durch. Damit stellt sich in diesem Bereich eine leichte Überdrucksituation ein, die ähnlich der bodennahen Zuluftzuführung zur Ausbildung der Rauchgassäule als auch zur allmählichen Schichtenbildung beiträgt. Der großflächige, unterhalb der Rauchschräge erfolgte Zuluftübertritt in den Brandraum verhindert gleichzeitig einen Rauchübertritt in den brandfreien Rauchabschnitt.

Diese scheinbar idealen Eigenschaften in der Anfangsphase des Brandes – aufsteigende Rauchgassäule, Bildung der Rauchgasschicht im oberen Brandraumbereich sowie rauchfreier benachbarter Rauchabschnitt – sind nur dann gegeben, soweit keine durch Wendeinfluss bedingten Überströmungen des Rauches über die NRA-Geräte erfolgen.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

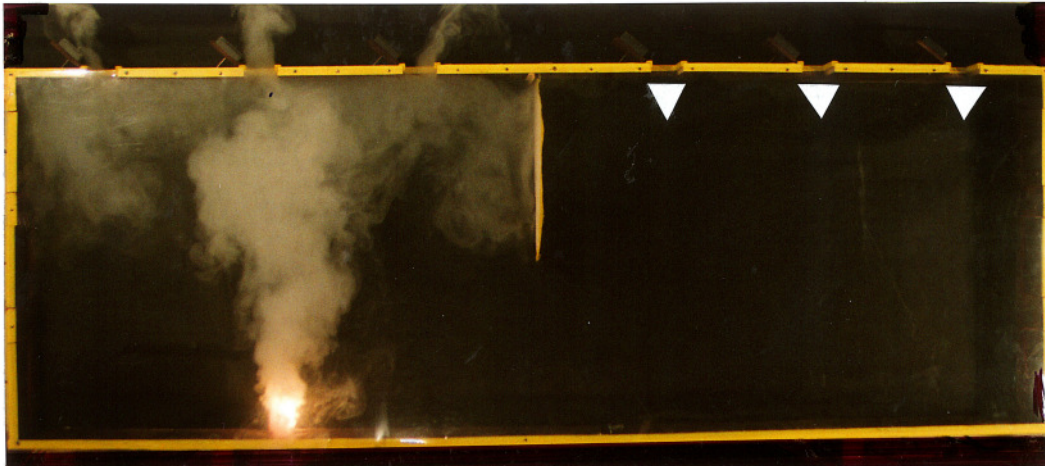


Bild 9: Zuluftzuführung über NRA-Geräte des benachbarten Rauchabschnittes

4.4 Maschinelle Zuluftzuführung

Bild 10 zeigt die Rauchbewegung bei bodennahe horizontaler, maschineller Zuluftzuführung. Dabei handelt es sich um beidseitig eingeführte, gleich bemessene Zuluftmengen. Aufgrund der unterschiedlichen Distanzen zwischen Zuluftmündung und Brandherd, wirkt sich der linksseitig eingeführte Zuluftstrom sichtbar auf die Ausbildung der Rauchgassäule aus. Dieser negative Einfluss sowie die Beeinträchtigung der Rauchgasschicht, würde sich bei einseitiger Zuluftzuführung in den Brandraum verstärken. Darüber hinaus wäre ein Rauchübertritt in den benachbarten Rauchabschnitt nicht auszuschließen.

Da die maschinell eingeführte Zuluft von Beginn des Entrauchungsvorgangs an in voller auslegungsbedingter Menge eingebracht wird, ist als wichtiger Planungshinweis auf niedrige Lufteintrittsgeschwindigkeiten sowie zweiseitige gegenüberliegende Lufteinführung in den Brandraum zu achten.

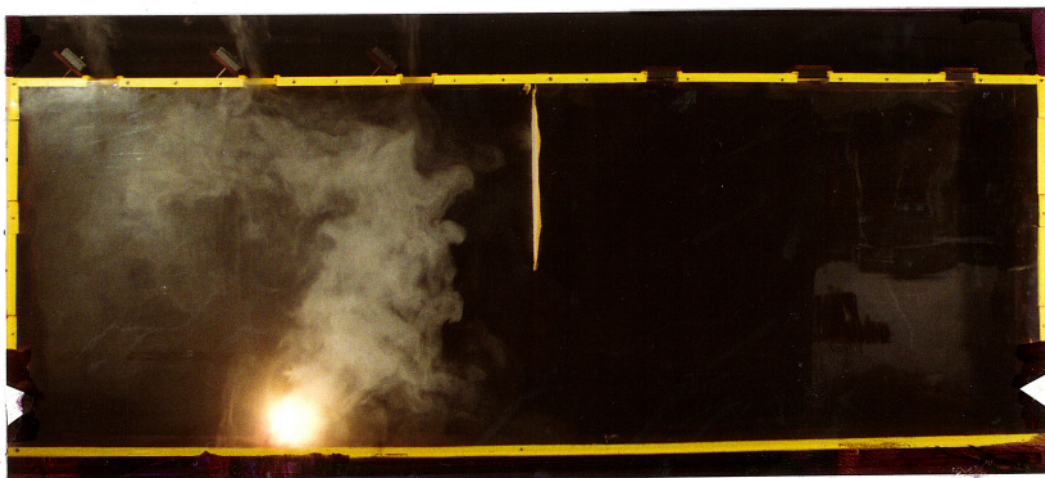


Bild 10: Beidseitige, bodennahe maschinell eingeführte Zuluft

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

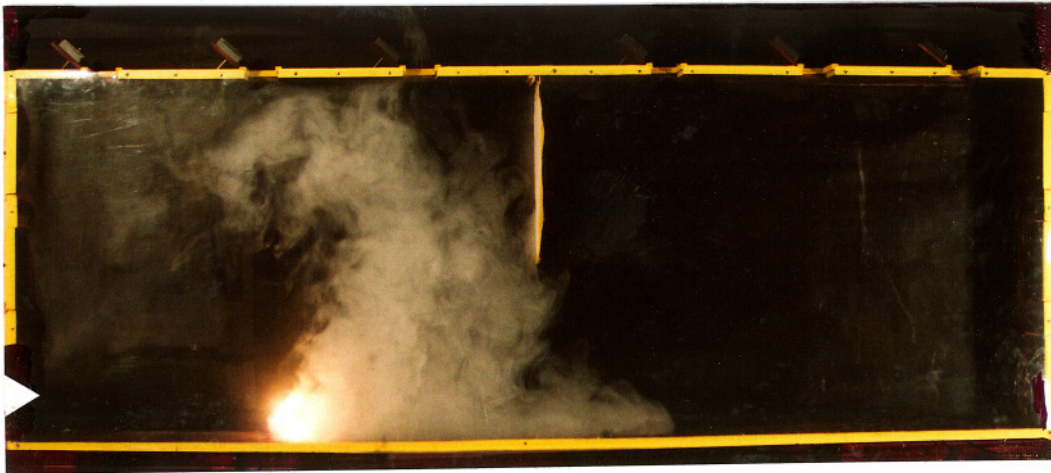


Bild 11: Einseitige, bodennahe maschinell eingeführte Zuluft

5.0 Fazit

Die Ausführungen haben gezeigt, dass bei Einhaltung der unter 1.0 beschriebenen normativen Eckwerte die beabsichtigte Funktion des natürlich wirkenden Rauchabzuges in vollem Umfang gewährleistet ist. Beim Verlassen dieser Vorgaben muss sich der Planer darüber im Klaren sein, dass damit nicht nur die funktionelle Wirkung eines NRA beeinträchtigt wird, er ignoriert damit gewissermaßen auch die öffentlich-rechtlichen Belange.

Der Aufgabenstellung dieses Beitrages ging die Überlegung voraus, welche Veränderungen des Volumenstromes sowie des Rauchverhaltens bei praxisbedingten Abweichungen gegenüber den normativen Eckwerten zu erwarten sind. Dabei zeigte sich, daß mit einer restriktiven Auslegung der Zuluftöffnungen oder Abweichung von der bodennahen Lufteinführung Beeinträchtigungen des Rauchgasvolumens sowie des Rauchverhaltens im Brandraum verbunden sind. Ausgleichende Maßnahmen – wie Anpassung der Öffnungsflächenauslegung oder positive Angleichung der Zuluftzuführungen werden dabei oft übersehen.

Ausgehend von der im *Bild 1* schematisch veranschaulichten Idealdarstellung, lassen die Modellversuche (*Bild 4 bis 11*) bei Abweichungen der Zuluftzuführung gegenüber den Eckwerten nach [1] teils erhebliche Veränderungen erkennen. Dabei führten die untersuchten Strömungssimulationen teilweise zu einem Rauchverhalten, die zu keinen angestrebten bzw. wirksamen Entrauchungsfunktionen führen. Wenn auch die im Modell durchgeführten Versuche nur das Verhalten des Rauches während der Anfangsphase eines Brandes aufzeigen, so lassen sich daraus Erkenntnisse im Hinblick auf oft praxisbedingte, von der Norm abweichende Zuluftöffnungen ableiten.

**Zusatzinformationen zum Beitrag „Zuluftöffnungen für NRA richtig planen“
von Dipl.-Ing. Karl-Heinz Quenzel
FeuerTRUTZ Magazin Ausgabe 3/2008**

Literatur

- [1] DIN 18232-2: 2007-11 „Rauch- und Wärmefreihaltung Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA)“
- [2] Hansen, M. „Theorie der natürlichen Lüftung unter besonderer Berücksichtigung der Brandbekämpfung“, VFDB – Zeitschrift Heft 1 / 1969
- [3] DIN V 18232-5: 2003-04 „Maschinelle Rauchabzüge (MRA)“
- [4] Regenscheit, B. „Berechnung von isothermen Rechteckstrahlen“, TROX, Technische Information
- [5] Fiedler, E. „Sicherheit durch impulsarme Nachströmung“, BS Brandschutz, Bauverlag 1/2007