

4

Bauphysik

Wärme · Feuchte · Schall · Brand · Licht · Energie · Klima

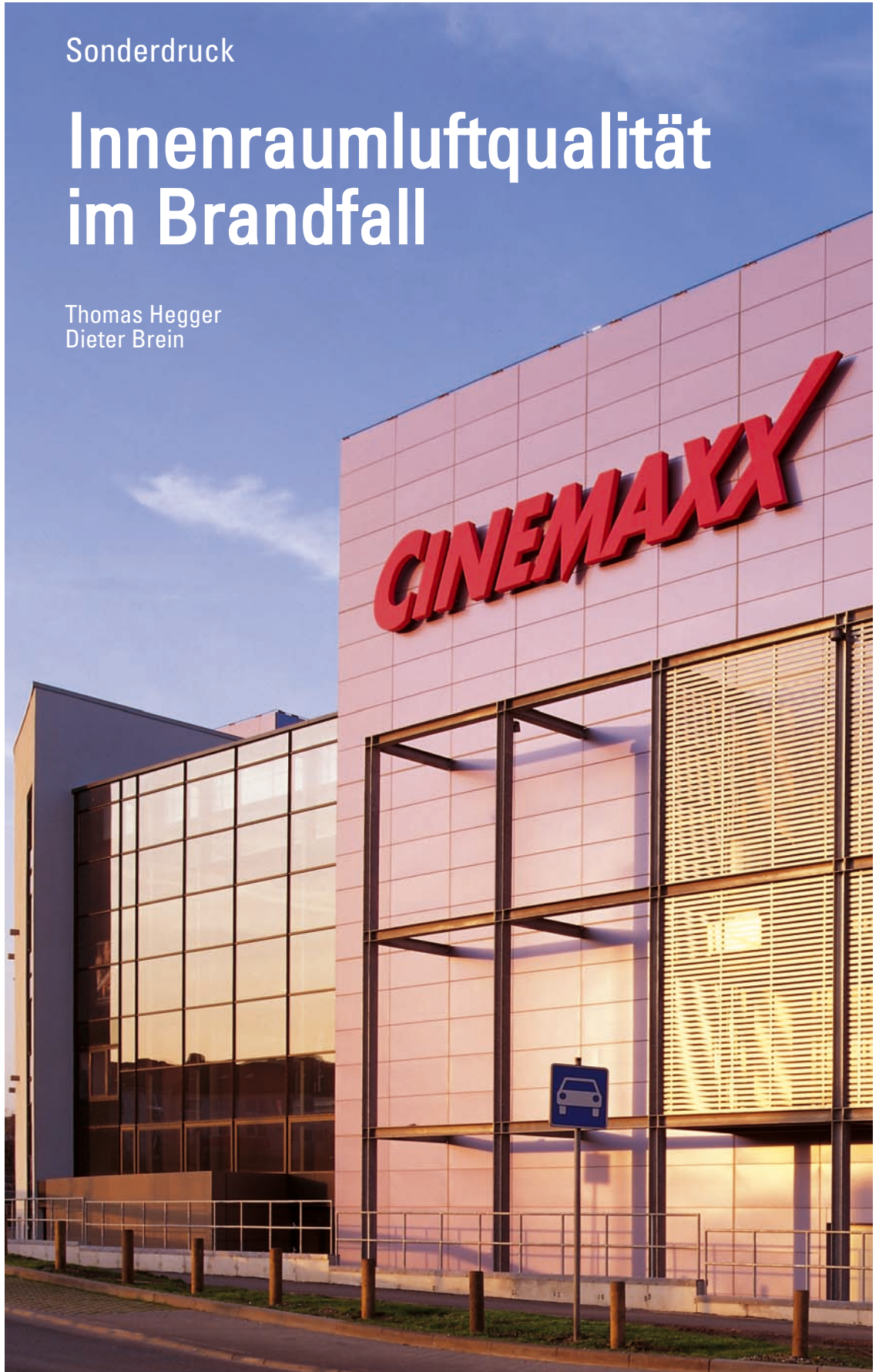
27. Jahrgang
August 2005
Heft 4
ISSN 0171-5445

A 1879

Sonderdruck

Innenraumluftqualität im Brandfall

Thomas Hegger
Dieter Brein



Dieter Brein
Thomas Hegger

Innenraumlufqualität im Brandfall

1 Einführung

Betrachtete man bis vor kurzem bei der Planung des baulichen und anlagentechnischen Brandschutzes zur Beurteilung des Personen- und Sachschutzes noch eine sog. rauchfreie Schicht, die mindestens die Hälfte der Raumhöhe [1, 2] betragen mußte, spricht man heute von sogenannten raucharmen Schichten [3, 4].

Bei der Bewertung solcher raucharmen Schichten sind in jüngster Vergangenheit Fälle aufgetreten, welche hier je nach Gebäudeart und Nutzung unterschiedliche Anforderungen stellen, die dann mit unterschiedlichem technischen Aufwand realisiert werden sollen.

Diese Veröffentlichung benennt nach der Beschreibung der wesentlichen relevanten Grundlagen und Rahmenbedingungen unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Bemessung und zur Bewertung der raucharmen Schicht. Dabei werden auch die Grenzen der Vorhersage von sich im Brandfall auch einstellenden Werten aufgezeigt.

2 Der Brand

Die Mehrzahl der Brände in Gebäuden entfällt auf Feststoffbrände, weshalb auch in dieser Veröffentlichung vom Brandverhalten der Feststoffe ausgegangen wird.

Die zeitliche Entwicklung eines natürlichen Brandes ist grundsätzlich durch verschiedene Phasen zu kennzeichnen, deren Dauer u. a. von der Zündquelle, der Brandlast, der Rauch- und der Wärmefreisetzungsrate, der Brandausbreitungsgeschwindigkeit, den Ventilationsbedingungen und dem Verhalten einer Löschung (z. B. Sprinkler) abhängt.

2.1 Brandphasen

Nach [5] werden nach der Entzündungs- und Schwelbrandphase folgende Brandphasen unterschieden:

- Phase 1 Brandentstehung mit niedriger Wärmefreisetzungsrate
- Phase 2 fortentwickelter Brand mit (quadratischer) Zunahme der Wärmefreisetzungsrate und Brandfläche
- Phase 3 stetiger Brand mit konstanter Wärmefreisetzungsrate und Brandfläche (Vollbrand)
- Phase 4 kontrollierter Brand bei aktivierter Löschanlage
- Phase 5 Brandbekämpfung durch die Feuerwehr (abklingender Brand)

2.2 Rauchfreisetzung

Um im Einzelfall die freigegebenen Rauchgasmassenströme (Menge und räumliche Ausbreitung) vorhersagen zu können, sind u. a. verschiedene Brandverläufe unter in dem Objekt möglichen Randbedingungen zu untersuchen, z. B. nach [5]:

Niederenergetische Brände

Brandverlauf mit geringer Wärmefreisetzungsrate und kleiner Brandfläche zur Bestimmung der Wirksamkeit eines Entrauchungssystems und

Hochenergetische Brände

Brandverlauf mit der höchsten erwarteten Wärmefreisetzungsrate zur Bestimmung der max. Leistung einer Entrauchungsanlage

Darüber hinaus wird die jeweilige *Rauchgasfreisetzung* (Quellterm) einer Brandquelle im Objekt aber auch bestimmt von:

Brandgut

a) Stoff(e), Stoffzusammensetzung insbesondere auch flammhemmende Zusätze, Bindung der Komponenten (unter Laborbedingungen kontrolliert verbrannt kennt man die Rauchzusammensetzung und Rauchfreisetzung einiger weniger (reiner) Stoffe, siehe z. B. www.fire.nist.gov). Von den heute üblichen Stoffgemischen sind diese Daten im Regelfall nicht bekannt.

Es darf jedoch unterstellt werden, daß bei diesen Stoffen die

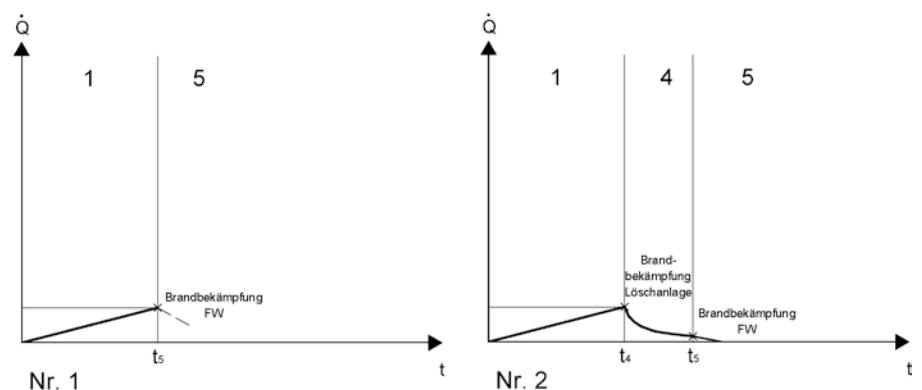


Bild 1. Brandphasen für niederenergetische Brandverläufe

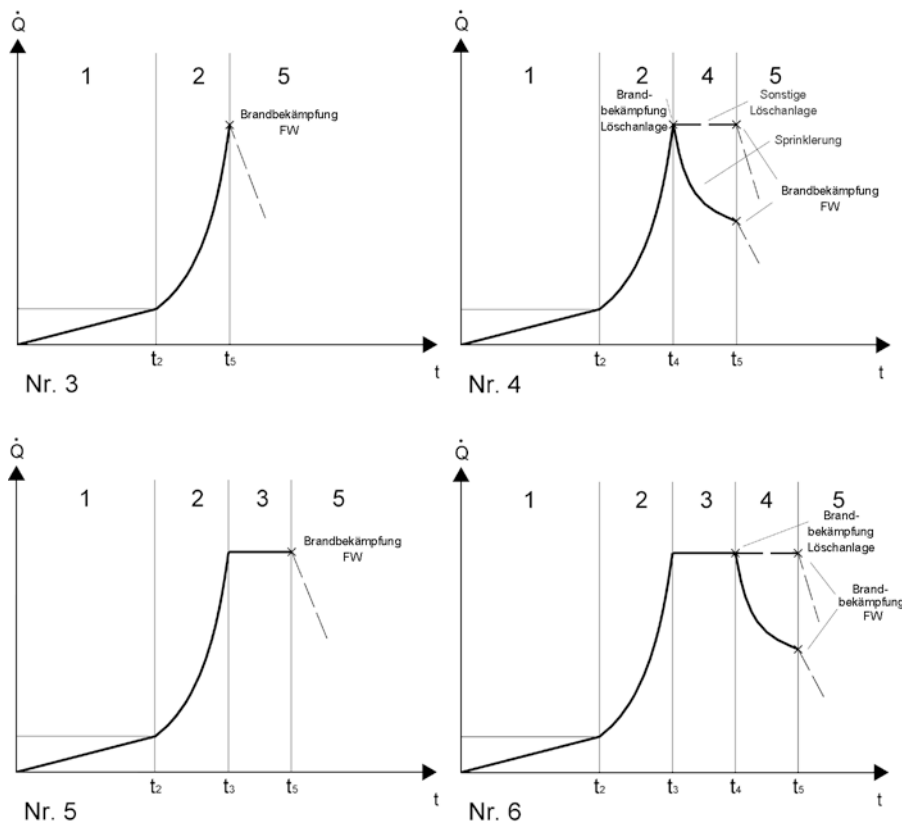


Bild 2. Brandphasen für hochenergetische Brandverläufe

Rauchgasfreisetzung und -Zusammensetzung um ein Vielfaches kritischer zu bewerten ist.

- Oberfläche
- Feuchtegrad

Umgebungsbedingungen

- Luftdruck, Luftfeuchte
- Sauerstoffkonzentration (ein sauerstoffunterversorgter Brand weist in der Regel eine hohe Rauchfreisetzung aber eine geringe Wärmefreisetzung auf)

Anordnung der Brandlast im Raum

(z. B.: Papierrollen waagrecht oder senkrecht) boden- oder deckennah eingelagert.

Während für die „hochenergetischen“ Brandphasen der Massenstrom an frei aufsteigendem Rauchgas in einer bestimmten Aufstieghöhe z und oberhalb der leuchtenden Flamme bekanntlich in der 3. Wurzel proportional zur Wärmefreisetzung mit

$$\dot{m} = f(\dot{Q}^{1/3}, z^{5/3})$$

unterstellt werden darf, gilt dies für die Bemessung der Brandentwicklungsphase und für Brände mit niedriger Wärmefreisetzungsrates nicht ge-

nerell. Denn hier kann je nach Stoff und Randbedingungen der freigesetzte Rauchgasmassenstrom erheblich sein. Das Verhältnis der unverbrannten Bestandteile zum Ausgangsprodukt kann hierbei sehr viel größer werden als bei einem gut ventilerten, weiterentwickelten Brandstadium, d. h. die Ruß- und Partikelkonzentration ist dann deutlich höher.

Dies wird u. a. sehr anschaulich in [6] mit Untersuchungsergebnissen der Verrauchung einer 4.800 m² großen Verkaufsstätte mit unterschiedlichen Entrauchungskonzepten beschrieben. Als Brandlast und Brandleistung wurde jeweils lediglich eine brennende Tastatur einer Computerkassette zugrundegelegt [7].

In der Zusammensetzung des Rauches findet man (siehe auch [8]) bei Produkten, die Kohlenstoff im Molekül enthalten, generell auf Grund ihres häufigen Vorkommens und der hohen Konzentrationen meist

- Kohlenmonoxid (CO) (z. B. bei Kabeln),
- Chlorwasserstoff (Salzsäure HCl), dann (z. B. Holz, bestimmte Kunststoffe),
- Cyanwasserstoff (Blausäure HCN) und

– Aldehyde (besonders Formaldehyd HCHO).

Diese Stoffe werden auch als „Leit-substanzen“ verwendet.

Sind in der Brandlast auch sonstige Chemikalien, Düngemittel oder Kunststoffe enthalten, können die Brandgase auch folgende Stoffe in höheren Konzentrationen enthalten:

- Ammoniak (NH₃)
- Schwefeloxide (SO_x)
- Stickoxide (NO_x)
- Isocyanate
- Phosgen (COCl₂), sowie organische Verbindungen wie:
 - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK),
 - Polychlorierte Dibenzol-Dioxine und -Furane (PCDD bzw. PCDF),
 wobei letztgenannte überwiegend an den Brandruß gebunden sind und bei der kalten Brandstelle zu Problemen führen können.

Das im Brandfall auftretende Rauchgasvolumen wird aus dem Quellterm gebildet und über Beimischung von Umgebungsluft durch Induktion in den Plume erheblich vermehrt. Diese Strömungsvorgänge in Gebäuden werden geprägt durch den sich oberhalb der Brandquelle entwickelnden Thermikstrahl, der als anisothermer Luftfreistrahler im Raum wirkt. Im Gegensatz zu isothermen Freistrahler, bei denen die Volumenzunahme durch Induktion proportional zur Lauflänge stattfindet, wächst beim gegenüber der Umgebung wärmeren Strahl das Volumen überproportional zur Strahllauflänge an. In grober Annäherung kann davon ausgegangen werden, daß der Exponent der Massenzunahme im Rauchvolumenstrom mit der Aufstieghöhe der Rauchs z oberhalb des Brandherdes entsprechend $z^{5/3}$ zunimmt.

Dabei muß bei der Abschätzung des im Brandfall entstehenden Rauchvolumens also auch die mögliche Höhenlage des Brandherdes im Raum in Betracht gezogen werden.

Eine durch die Beimischung von sauberer Raumluft sich ergebende Verdünnung des Rauches findet hierdurch zwar statt, das Ergebnis ist aber im Regelfall zu gering, um daraus eine nutzbare Verbesserung ableiten zu können. Ausnahmen wären z. B. kleine Brände in sehr großen Räumen.

Die erforderlichen Verdünnungsverhältnisse von Brandrauch mit

Frischluff, mit denen ein zulässiger Maximalwert der optischen Dichte [9] eines Brandrauch/Luft-Gemisches unterschritten wird, wurde bereits vor 20 Jahren an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der TH Karlsruhe [10, 11] ermittelt. Danach muß im ungünstigsten Fall (Öl- oder Holzbrände mit starker Abkühlung der Flammen an kalten Wänden) die Rauchgasfreisetzung mit ca. 1.400 m³ Frischluft je m³ unverdünntem Rauchgas verdünnt werden. Dies bedeutet, daß im Brandfall pro m³ Rauchgas bis zu 1.400 m³ Frischluft zugeführt werden muß – eine gewaltige Menge.

Mit einer solchen Verdünnung erhält man dann Sichtweiten, die durch einen Extinktionskoeffizient mit dem Wert 0,15 1/m beschrieben werden. Das bedeutet, daß sich in einem Rauch mit der hierdurch bestimmten Sichtweite Personen noch nahezu ungehindert bewegen und orientieren können. Eine weitere Voraussetzung hierbei ist allerdings, daß die Verdünnung ebenfalls ausreichend hoch ist, damit Reizung der Atmung durch Reizgase nicht zur Behinderung des Bewegungsablaufes führt, wie im Folgenden beschrieben.

Zur Beurteilung von *Sichtweiten* ist neben einer ausreichenden Verdünnung auch eine ausreichende allgemeine Raumbelichtung und hier besonders deren möglichst großer Kontrast, Farbe und Leuchtdichte zu den Fluchtwegen und -ausgängen und zu deren entsprechenden Kennzeichnungen wichtig.

Die Raumbelichtungsstärke hat bei kleinen Abständen (bis 5,5 m) vom Flüchtenden zu einem selbstleuchtenden Hinweisschild keinen Einfluss auf das Kontrastempfinden [12]. Mit zunehmendem Abstand wird dieses Kontrastempfinden bei steigender Raumbelichtung aber deutlich schlechter. Steigt die Raumbelichtung von z. B. 30 auf 150 Lux, verringert sich das Kontrastempfinden auf ein Drittel.

Aber auch das Alter und der Gesundheitszustand des Raumnutzers bestimmen die generelle Sichtweite und Erkennbarkeit.

Zur Bestimmung von zulässigen Fluchtweglängen und erlaubter Personenanzahl wird heute auch zunehmend über computergestützte Simulation das Fluchtverhalten von

Menschenansammlungen untersucht, z. B. [13]. Bei der Nutzung solcher Methoden ist es aber unverzichtbar, daß die Menschen die bauliche Anlage geordnet verlassen. Damit dies erfolgen kann, sind neben einer ungehinderten Sicht (das Einsickern von Rauch in den Aufenthaltsbereich oder die Trübung der Luft mit Rauchgasen sind hier nicht zulässig) auf den Fluchtwegen und auf die Ausgangstüren auch entsprechende organisatorische Maßnahmen zu ergreifen.

- Nimmt im Laufe eines Brandes die Rauchdichte in einem nicht oder nicht sachgemäß entrauchten Raum zu, werden sehr schnell [14]
- die Sehschärfe durch Reizstoffe und durch Temperatureinwirkungen verringert,
 - die (wahrnehmbare) Raumbelichtungsstärke absinken
 - die Streulichtunschärfe zunehmen,
 - die Gehgeschwindigkeit abnehmen,
 - die Umkehrwahrscheinlichkeit unter Umständen zunehmen und
 - auch durch Gasbestandteile des Brandrauches Störungen der Körperfunktionen einsetzen.

Jeder Brandrauch enthält auch reizende Bestandteile [15]. Dieser *reizende Rauch* (z. B. Stickoxide, Schwefeloxide, Halogenwasserstoffe, organische Säuren) ist generell schwierig zu bestimmen und vorherzusagen. Er belastet Augen (Sehver-

mögen), die oberen Atemwege (Behinderung der Atmung), die inneren Atmungstrakte (Spätfolgen wie Lungenödeme, Bronchitis, Pneumonie) und die Haut erheblich.

Man kann von reizendem Rauch dann sprechen, wenn – als Anhaltswert für eine Abschätzung der Gefährdung durch Bestandteile des Rauchgases – die Konzentration von *Kohlendioxid* (CO₂ als Indikatorgas) mehr als 0,5 Vol.-% beträgt (Bild 3).

Überschreitet die CO₂-Konzentration einen Wert von 2 %, beginnt die *Hyperventilation*. Diese Erhöhung der Atemfrequenz führt zwar zu einer erhöhten Luftsauerstoff- aber damit auch zu einer vermehrten Schadstoffaufnahme.

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei der (unvollständigen) Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe, also bei fast jedem Brand. CO ist farb- und geruchlos, brennbar und sehr giftig. Es führt im Wesentlichen zu einer Störung des Sauerstofftransportpotentials in das organische Gewebe. CO führt in der Atemluft ab 1.000 ppm nach ca. 1 Stunde, ab 3.000 ppm nach ca. 30 Minuten und ab 8.000 ppm zum sofortigen Tod.

CO wirkt im Blut als Hämoglobinblockierer, indem es sich 300mal stärker an Hämoglobin bindet als dies Sauerstoff vermag. Neben solchen kurzfristig feststellbaren Auswirkungen, kann CO auch langfristig zu irre-

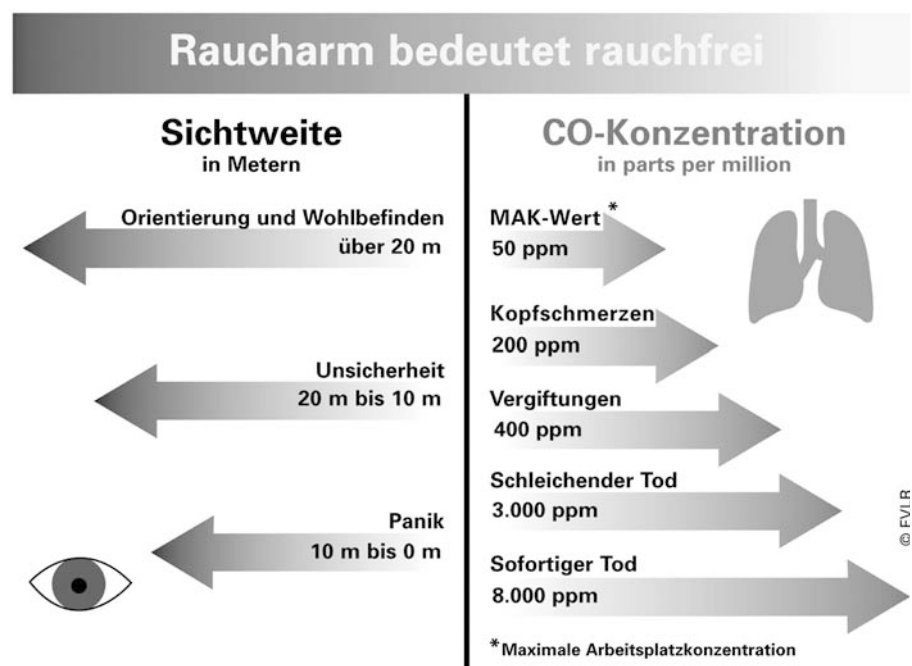


Bild 3. Verschiedene Luft-Qualitäten (1 ‰ entspricht 1000 ppm)

versiblen Schädigungen des Nervengewebes, Herz- und der Nieren führen.

Blausäure (HCN) entsteht bei der Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe (z. B. tierische Wolle, Bettfedern). HCN blockiert die Zellatmung, es kommt zur Schädigung des Zentralnervensystems bis hin zur inneren Erstickung. Blausäure kann aber nicht nur direkt durch den Brandrauch wirken. Blausäure durchdringt auch die Kleidung und kann auch über die Haut absorbiert werden. Aus belasteter Kleidung können auch noch lange nach dem Brandende Blausäuregase austreten.

Die einzelnen den Brandrauch bestimmenden Parameter wie Temperatur, Strahlung, Partikeldichte, Gaszusammensetzung und Rauchfarbe usw. lassen sich heute im Prüflabor von den unterschiedlichsten Stoffen zwar unabhängig voneinander meist mit ausreichender Genauigkeit feststellen. Wirkungen der unterschiedlichen Stoffe zueinander, die eventuell dadurch stattfindende Bildung neuer Stoffe und deren zusammenhängende Wirkung auf den Menschen ist aber erst in ersten Ansätzen erforscht. Es ist noch völlig unklar, wie sich unterschiedliche Stoffgemische auf den einzelnen Menschen in der individuellen Brandsituation auswirken. Hier stehen wir erst am Anfang einer langen Strecke.

Tendenziell abgesichert erscheint aber die Erkenntnis, daß die unterschiedlichen Einflußgrößen nicht einzeln und isoliert nacheinander oder nebeneinander zu betrachten sind, nein – sie wirken additiv auf den Menschen.

Es existieren zwar einige Modelle, mit denen der Einfluß von Reizgasen (überwiegende konzentrationsabhängige Reizwirkung) als auch von narkotisch wirkenden Gasen (Dosiswirkung) gewichtet bewertet werden, jedoch sind sie bis heute nur als Hilfsmittel für eine näherungsweise Bewertung anzusehen.

Die Festlegung von noch gerade akzeptablen differenzierten Mengen und Konzentrationen ist also in genereller Form bis jetzt nicht möglich.

3 Strömungsprozesse

Die Ausbreitung der Rauch- und Brandgase in geschlossenen und

nicht entrauchten Räumen wird bestimmt durch die Brandquelle, die einen nach oben gerichteten Thermikstrom (Plume) erzeugt. Die im unteren Raumbereich durch den Verbrennungsprozeß entstehende Wärme strömt als Konvektionsstrahl nach oben; die auf der Lauflänge des Plume dem Thermikstrahl durch Induktion beigemischte Raumluft muß aus dem unteren Raumbereich ersetzt werden. Dieser grundsätzliche Prozeß führt schließlich zu einer Zirkulation der Strömung im Brandraum, bei denen Rückströmungen der Brandgase vom Decken- in den unteren Aufenthaltsbereich stattfinden. Dies geschieht somit in gleicher Weise wie bei beheizten Räumen mit Konvektionsströmungen, jedoch gegebenenfalls mit höherer Geschwindigkeit infolge höherer Energieleistung des Brandes als einer Heizung.

Da der Induktionsprozeß im Bereich des voll ausgebildeten Thermikstrahls die höchsten Werte erreicht, wird zu Beginn der Deckenbereich verraucht, die Verrauchung der unteren Raumbereiche verläuft etwas langsamer. Trotzdem beträgt die Zeitspanne, bis der Brandrauch die untere Aufenthaltszone erreicht, nur wenige Minuten. Dies wurde u. a. in [16] nachgewiesen, worin für Räume unterschiedlicher Höhe belegt wurde, daß in geschlossenen Räumen mit 5 m, aber auch mit 20 m Höhe die Verrauchungszeit des unteren Aufenthaltsbereichs im Bereich von nur 3 Minuten lag (Bild 4).

Die in der Literatur beschriebenen auf einfachen Modellen beruhenden Rechenverfahren unter Berücksichtigung nur der Kopplung von Massen- und Energiebilanz für den Füllvorgang eines Rauchvolumens mit Rauch unter der Annahme einer sich nach unten ausbildenden Rauchsichtung mit quasi horizontal ver-

laufender Rauchsichtunterseite können nur bis zu dem Zeitpunkt funktionieren, bei dem die Rückströmung von Rauchgasen in den unteren Raumbereich noch nicht das Geschehen dominiert.

Neben der reinen berechenbaren Laufzeit muß zur Bestimmung der Gesamtevakuiierungsdauer noch die Branderkennungszeit (in der Regel mindestens 2 Minuten) und die Reaktionszeit (ebenfalls mindestens 2 Minuten) berücksichtigt werden. Weiter ist es zur Vorhersage von Fluchtzeiten unabdingbar, daß die Betroffenen geordnet den Raum verlassen können. Das bedeutet: Organisatorische Maßnahmen sind ebenso unverzichtbar, wie Entrauchungssysteme. Eine Untersuchung [13] zur Evakuierungsqualität von Verkaufsstätten kommt zu dem Ergebnis, daß sich die je nach Objekt relevanten Laufzeiten von etwa 2 bis 7 Minuten (zzgl. Branderkennungs- und Reaktionszeit) fast verdreifachen können, wenn von mehreren Ausgängen auch nur einer blockiert ist.

4 Entrauchungsverfahren

Es gibt drei grundlegend verschiedene Verfahren, um im Brandfall Räume oder Bereiche raucharm zu halten: die Schichtenbildung, die Rauchverdünnung und die Differenzdruckbelüftung.

4.1 Schichtenbildung

In Räumen mit funktionierender Entrauchung werden sich zwei Schichten (oben die Rauchsicht und unten die raucharme Schicht) bilden. Durch ausreichend dimensionierte Ableitung von Rauch- und Brandgasen aus der oberen Schicht durch (natürliche oder maschinelle) Rauchabzüge und Zuführung von Außenluft

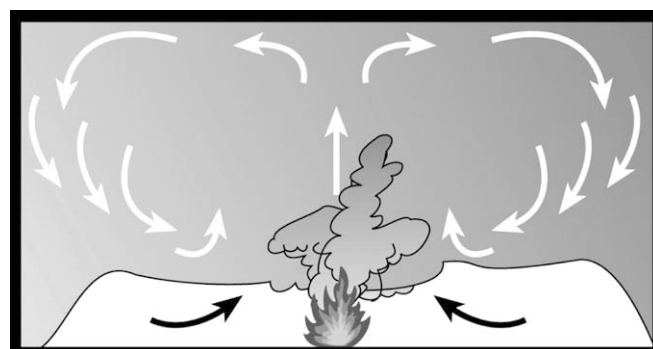


Bild 4. Schematische Darstellung des Strömungsprozesses in einem Raum ohne gezielte Entrauchung

über (möglichst bodennahe) Nachströmöffnungen stellt sich ein Strömungsgleichgewicht ein.

Dieses Strömungsgleichgewicht aufrechtzuerhalten ist besonders in der Brandentstehungs- und in der Brandentwicklungsphase ein Prozeß, bei dem wegen der meist noch geringen Temperatur- und Druckdifferenzen zwischen den Schichten selbst und auch zur äußeren Umgebungsluft sowohl die inneren als auch die äußeren Strömungen (z. B. Wind, Lüftungsanlagen usw.) beachtliche Auswirkungen haben.

An über 90 % des Jahres beträgt in Deutschland die Windgeschwindigkeit mehr als 1 m/s. Damit ist der Windeinfluß auf die natürliche Entrauchung der Regelfall, also ebenfalls immer zu beachten.

Aber auch bauliche Voraussetzungen, wie z. B. die Höhe der Nachströmöffnung im Verhältnis zur Höhe der Rauchschichtgrenze, die Größe der Rauchabschnitte und realisierbare Höhen der Rauchschürze haben ähnlich große Bedeutung.

Erst im Vollbrand werden solche Einflüsse geringer. Da aber grundsätzlich jeder Brand mit der Brandentstehungs- und -entwicklungsphase beginnt, sind diese strömungstechnischen Einflüsse grundsätzlich zu beachten, siehe z. B. [3].

Berechnungsmethoden

Für die Brandschutzplanung wesentlich ist die Erkenntnis, in welcher Höhe sich die Grenze zwischen der Rauchschicht und den raucharmen Bereichen einstellen soll.

Die Entrauchung normaler Raumkubaturen (z. B. größere eingeschossige Räume) kann mit vereinfachten Handberechnungsverfahren nach DIN 18232-2 [3] oder VdS CEA 4020 [4] mit ausreichender Sicherheit projiziert werden. Interessant ist, daß diese beiden Berechnungsverfahren, die unabhängig voneinander entwickelt wurden, zu vergleichbaren Lösungen führen.

Die in diesen beiden Regelwerken benannten Randbedingungen (z. B. Rauchabschnittsbildung, Abstand der Rauchschichtgrenze zu den Rauchabzugs- bzw. Nachströmöffnungen, die Notwendigkeit der gleichmäßigen NRA Aufteilung von mindestens 1 RWG pro 200 m² Grundfläche usw.) sollten auch beachtet werden, wenn

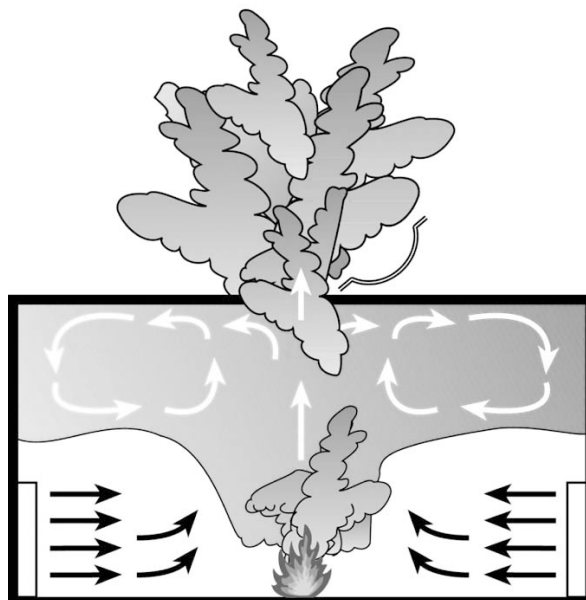


Bild 5. Schematische Darstellung des Strömungsprozesses in einem Raum mit gezielter Entrauchung

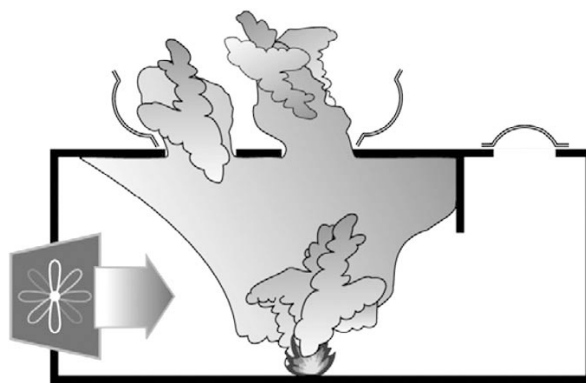


Bild 6. Der Einsatz von Hochleistungslüftern sollte immer in Verbindung mit Rauchabzügen und bei größeren Räumen in Verbindung mit Rauchschürzen verbunden sein.

andere Nachweismethoden eingesetzt werden.

Die Entrauchung komplexer Raumkubaturen sollte dagegen nur durch Feldmodellberechnungen (CFD) oder strömungstechnische Modellstudien projiziert werden. Für diese beiden Methoden sind aber sowohl hohe Anforderungen an die Qualifikation und Sorgfalt des Ausführenden, als auch solche an die vorhandene Ausstattung zu beachten. So ist z. B. ein Feldmodell mit zu wenigen Knotenpunkten oder zu großen Teillängen des Raumgitters blind für kleinere Strömungsprozesse.

Mit Zonenmodellen sind komplexere Strömungsprozesse nicht nachzuvollziehen.

4.2 Rauchverdünnung

Das Prinzip der Rauchverdünnung wird u. a. in Räumen eingesetzt, in denen sich keine Schichten ausbilden können bzw. sollen (z. B. bei Spülung von Treppenträumen).

Hier müssen die Rauchgasmenen mit (erheblichen Mengen) rauchfreier Luft verdünnt werden. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, sind so bis zu 1.400 m³ Frischluft erforderlich, um 1 m³ Rauchgas so zu verdünnen, daß eine Sichtweite von > 10 m und eine kurzzeitig atembare Luftqualität erreicht wird.

Der technische Aufwand für solche Anlagen kann sehr hoch sein; die Vorgaben aus dem Baurecht und den technischen Regelwerken, die im Regelfall raucharme Schichten fordern, führen dazu, daß in der Regel das Prinzip der Schichtenbildung nach Abschnitt 4.1 anzustreben ist.

Werden von der Feuerwehr in der Nachlösch- oder Aufräumphase sog. Hochleistungslüfter eingesetzt, ist darauf zu achten, daß die durch diese Lüfter erzeugten Luftmengen aus dem Gebäude z. B. durch geöffnete NRA austreten können und bei größeren Räumen durch Rauchschürzen (siehe Bild 6) so gelenkt werden, daß die Rauchgase nicht in bisher noch nicht vom Brand betrof-

fene Raumbereiche gelangen können. Das Gelingen bei der praktischen Umsetzung ist jedoch von vielen Parametern abhängig, die im Vorfeld kaum vollständig in der Planung berücksichtigt werden können.

4.3 Differenzdruckbelüftung

Nicht zur eigentlichen Rauchableitung sondern zur Verhinderung von Raucheintritt in den geschützten Raum selbst dienen Differenzdrucksysteme. Der zu schützende Raum erhält zu seinen benachbarten Räumen einen höheren Druck. Dabei kann der Abbau dieses Überdrucks und gleichzeitig das Abströmen von Luft durch Schleusen verringert werden.

Anzutreffen sind solche Systeme z. B. in Sicherheitstreppe nräumen. Die praktische Umsetzung von Differenzdruckanlagen ist oft im Einzelfall nicht einfach, da es im zu schützenden Raum selbst keine Brandlasten geben darf (deren Rauch würde ja nicht abzuführen sein), der Überdruck hoch genug sein muß um z. B. Leckagen auszugleichen, aber andererseits auch nicht so hoch sein darf, um die erlaubten Türöffnungskräfte („100 N am Türkopf-Regel“) einhalten zu können. Damit ist dieses Ent Rauchungsprinzip, wie das der Rauchverdünnung, auf spezielle Anwendungen beschränkt.

4.4 Mischsysteme

Auch wenn es im Einzelfall als sinnvoll angesehen werden kann, z. B. das Schichtprinzip mit dem der Verdünnung zu mischen, so muß festgestellt werden, daß dies aus strömungstechnischer Sicht keine generell geeignete Verfahrensweise darstellen kann.

So werden Zuluftöffnungen, deren oberer Teil in die projektierte Rauchsicht hineinragen, schon bei geringem Seitenwind dafür sorgen, daß der Rauch aus der Rauchsicht im kompletten Raum verwirbelt wird. Deshalb ist sowohl in DIN 18232-2 als auch in der Richtlinie VdS CEA 4020 verlangt, daß die Zuluftöffnungen komplett in der raucharmen Schicht liegen und deren Oberkante noch einen strömungstechnisch erforderlichen Abstand zur Rauchsichtgrenze einhalten muß.

Schon bei der Konzepterstellung muß deshalb klar sein, ob man nach dem Schichtenprinzip (dies wird wohl der Regelfall sein) entrauchen will. Dann muß man allerdings die z. B. in DIN 18232 oder den VdS-Richtlinien genannten Randbedingungen beachten und die Randparameter einhalten.

5 Zusammenfassung

Um im Brandfall die erforderliche Luftqualität für die Flucht, Selbst- und Fremddrettung und für die Erkundung oder die Löscharbeiten der Feuerwehr sicherzustellen, sind im Regelfall raucharme Schichten erforderlich. Um eine ausreichend stabile Rauchsichtgrenze einzuhalten, sind die in DIN 18232-2 bzw. den Richtlinien VdS CEA 4020 genannten Randparameter einzuhalten.

Der Mindestzeitraum, über den man diese Kondition nach der Alarmierung der Betroffenen aufrechterhalten sollte, ist zwar vom Einzelfall abhängig, sollte jedoch 30 Minuten nicht unterschreiten. Dies ist bei einer ausreichend projektierten Schichtentrauchung

- mit natürlichen Rauchabzugsanlagen grundsätzlich sichergestellt,
- bei maschinellen Rauchabzugsanlagen u. a. abhängig von der gewählten Schutzklasse.

Die im Brandfall freigesetzten Rauchgase können infolge der Variationsbreite des Partikelausstoßes (Volumen, Farbe) zu völlig unterschiedlichen Sichtweiten führen. Je nach verbrennendem Stoff und den herrschenden Bedingungen entstehen in Menge, Art oder Zusammensetzung heute noch nicht abschätzbare Reizstoffe und giftige Bestandteile. Auch wenn wir von einigen (wenigen reinen) Stoffen die Verbrennungsprodukte, die unter speziellen Bedingungen entstehen können, kennen, ist die Rauchzusammensetzung von Stoffgemischen unter realen Verhältnissen noch so unbekannt, daß man seriös kaum differenzierende Abschätzungen auf gesicherter Grundlage vornehmen kann. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Aus diesen Gründen halten die Autoren es für bedenklich, Differenzierungsmodelle von verschiedenartigen raucharmen Schichten zu fordern oder zu projektieren, auch wenn

z. B. bei der Projektierung mit Feldmodellen mit einer (scheinbar sicheren) Gaskonzentration gerechnet werden könnte. In diesem Zusammenhang wird auf die im Text dieses Beitrags vorgenannte Feststellung verwiesen, daß je nach Brandbedingungen und Brandgut Verdünnungsgrade von bis zu 1400 erforderlich sein können. Brände sind in dieser Hinsicht nur bedingt „planbar“.

Es sollte daher nur mit raucharmen Schichten gerechnet werden, die im Sinne von DIN 18232 bzw. VdS CEA-Richtlinien und auch der Europäischen Guideline nahezu rauchfrei sind. Nur solche raucharmen Schichten sind aber nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik planbar, nachweisbar und umsetzbar.

Literatur

- [1] DIN 18232-2:1989-11; Baulicher Brandschutz im Industriebau, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen Teil 2: Rauchabzüge, Bemessung, Anforderungen und Einbau. Berlin: Beuth-Verlag 1989.
- [2] VdS 2098: Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, Richtlinien für Planung und Einbau, 1990.
- [3] DIN 18232-2:2003-06; Rauch- und Wärmefreihaltung Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau. Berlin: Beuth-Verlag 2003.
- [4] VdS CEA 4040: Natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA), Richtlinien für Planung und Einbau, 2003.
- [5] Entwurf VDI 6019 Blatt 1: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden; Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit, 2004.
- [6] *Klingsch, W., Detzer, R., Lehnhäuser, F.*: Rauchausbreitung in Räumen während der Initialbrandphase, vfdB-Zeitschrift Heft 3 / 2004 -S. 149–154.
- [7] *Klingsch, W.*: Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung brandspezifischer Parameter von Büroobjekten, 2002
- [8] *Otto, A., Schaller, K. H., Drexler, H.*: Gesundheitliches Gefährdungspotential von Brandrauch und Expositionsnachweis. vfdB-Jahresfachtagung 2002 in Dresden, Tagungsband. Köln: VdS-Verlag 2002.
- [9] *Jin, T.*: Studies of emotional instability in smoke from fires. Journal of Fire and Flammability 12 (1981), pp. 130–142.
- [10] *John, R.*: Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdün-

nung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Maß. Teil 2: Optische Brandrauchdichte. Brandschutzforschung der Bundesländer; Karlsruhe: Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1983) Nr. 50, 57 S.

[11] *John, R.*: Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdünnung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Mass. Teil 3: Optische Brandrauchdichte; Brandschutzforschung der Bundesländer; Karlsruhe: Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1987) Nr. 59, 33 S.

[12] *Jin, T.*: Visibility through fire smoke; Part 2: Visibility of monochromatic signs through fire smoke. Report of Fire Research Institut of Japan (1971) Nr. 33, S. 31–48.

[13] *Klingsch, W.*: Untersuchungen zur Evakuierungsqualität von Verkaufsstätten mittels dynamischer Evakuierungssimulation. Bezug über www.fvlr.de

[14] *Hegger, T.*: Beurteilung und Wertung der raucharmen Schicht, Sichtweite und optischen Dichte. VdS-Fachtagung am 26.06.03: Ingenieurmäßige Verfahren im Brandschutz; Rauchausbreitung im Gebäude. VdS-Schadenverhütung (VdS 2798), Köln 2003.

[15] *Lessig, R., Teske, J., Wilk, E.*: Die Belastung des Menschen durch Brandrauch. vfdb-Jahresfachtagung 2002 in Dresden, Tagungsband; Köln: VdS-Verlag 2002.

[16] *Detzer, R., Jung, G.*: Rauchausbreitung in Gebäuden. Bezug über www.fvlr.de

Die Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Dieter Brein, Leiter der Forschungsstelle für Brandschutz an der Universität Karlsruhe, Obmann der DIN 18234 und in weiteren nationalen und europäischen Gremien, besonders innerhalb des vorbeugenden Brandschutzes tätig.

Dipl.-Ing. Thomas Hegger, Geschäftsführer des Fachverbandes Lichtkuppel, Lichtband und RWA in Detmold, Obmann der DIN 18232 und in weiteren nationalen und europäischen Gremien, besonders innerhalb des anlagentechnischen Brandschutzes tätig.



Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V.

Ernst-Hilker-Straße 2

32758 Detmold

Telefon 0 52 31/3 09 59-0

Telefax 0 52 31/3 09 59-29

www.fvlr.de

info@fvlr.de