

Bei Bränden in Gebäuden geht vom Brandrauch ein erhebliches Risiko für den Menschen aus: Die Sichtbehinderung führt bei eingeschlossenen Personen schnell zur Orientierungslosigkeit bis hin zur Panik und erschwert die Rettungs- und Löscharbeiten der Feuerwehr. Gleichzeitig stellt der Rauch aber auch selbst eine unmittelbare Gefahr dar, wenn er über die Haut oder die Atemwege in den menschlichen Körper gelangt. Über den wissenschaftlichen Forschungsstand zu den Gefahren des Brandrauchs für den Menschen und über technische Maßnahmen zum Schutz und zur Vorbeugung gegen diese Gefahren sprachen wir mit Dipl.-Ing. Dieter Brein, Leiter der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), und Thomas Hegger, Geschäftsführender Vorstand des FVLR.



Thomas Hegger, Geschäftsführender Vorstand des FVLR. Alle Fotos: FVLR



Dipl.-Ing. Dieter Brein, Leiter der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

EURO SECURITY: Herr Brein, welche Risiken gehen nach Ihren Forschungen vom Brandrauch für die menschliche Gesundheit aus?

Dieter Brein: Der beim Abbrand von Gegenständen, aber auch schon bei Vorstufen der Verbrennung frei werdende Rauch wirkt gleich in dreifacher Hinsicht auf den Menschen ein:

- durch die von ihm transportierte Energie (Verbrennungen),
- durch seinen Partikelgehalt (Orientierungsverlust) und
- durch seine Gaszusammensetzung (Be- oder Verhinderung der Atmung).

Die Wirkung der Energie auf den Menschen zeigt sich direkt bei Kontakt mit der Hautoberfläche oder über konvektiv übertragene fühlbare Wärme. Ebenso trägt die Wärmestrahlung vom eigentlichen Feuer oder aus den Rauchsichten zur Wärmeaufnahme des Körpers bei. Und gelangen Rauchgase in die Atemwege, so findet auch hier noch eine Wärmeabgabe statt. Die Intensität der Einwirkungen hängt von der Temperatur der Rauchgase ab, die in der Regel im Laufe des Brandgeschehens ansteigt.

Der Partikelgehalt des Rauches und die Zusammensetzung gasförmiger Bestandteile sind Folge sowohl der materialbezogenen Eigenschaften des in Brand geratenen oder der am Brand beteiligten Gegenstände als auch der geometrischen und Lüftungstechnischen Randbedingungen sowie der Umgebungsatmosphäre des Brandraumes. Der Partikelgehalt ist die wesent-

liche Größe für die optische Rauchdichte und damit die Sichtweite. Die Gaszusammensetzung wirkt auf die biologischen Abläufe. Aus der Summe aller genannten Faktoren resultieren der Zustand und damit auch die Reaktionen der betroffenen Menschen.

EURO SECURITY: Kann man diese Einflussgrößen eindeutig bestimmen bzw. dafür Grenzwerte festlegen?

Dieter Brein: Temperatur, Strahlung, Partikeldichte und Gaszusammensetzung lassen sich im Labor jeweils unabhängig von-

Gefahrenpotentiale wirken additiv

Interview zu den Auswirkungen des Brandrauchs

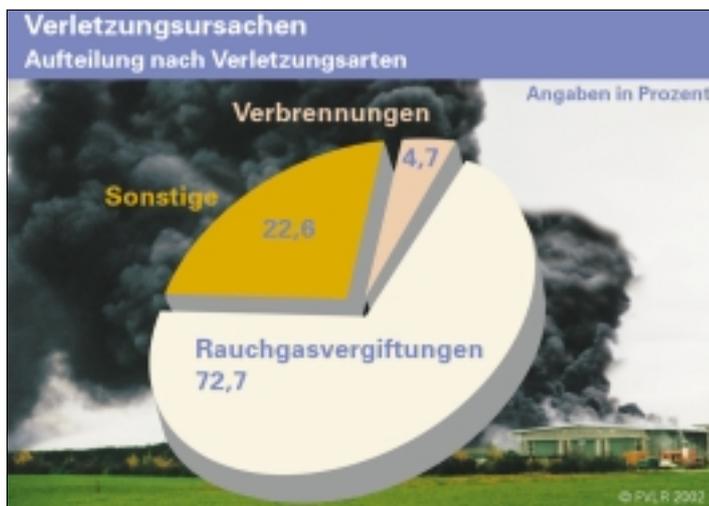


einander und weitgehend exakt messen. Die Auswirkungen dieser Größen auf den einzelnen Menschen sind jedoch nicht genau vorherbestimmbar, da die biologische Reaktion auch von der individuellen Konstitution abhängig ist. Die tendenzielle Wirkung der Größen ist freilich immer die gleiche und - sie wirken additiv.

Gesundheitsgefahren ergeben sich spätestens dann, wenn die für das betroffene Individuum zutreffenden Toleranzwerte überschritten werden. Ich hebe dies deshalb hervor, weil z.B. kranke oder ältere Menschen andere Toleranzwerte als gesunde Menschen haben.

So sind die Effekte von als Reizstoffe wirkenden Gasen (z.B. Chlorwasserstoff, Acrolein) bei Asthmatikern wesentlich früher nachteilig als beim Gesunden. Auch für die Beeinträchtigung durch Sauerstoffmangel bei Aufnahme des narkotisch wirkenden Kohlenmonoxids gibt es individuelle Toleranzschwellen für dieselbe Auswirkung.

Aus den genannten Gründen ist es schwierig, allgemeingültige Grenzwerte anzugeben; diese müssen sich jedoch daran orientieren, dass man damit einen breiten Bereich sicher abdeckt. Auch die bewussten Reaktionen des Einzelnen auf den Rauch sind übrigens individuell unterschiedlich. Deshalb wird etwa der Erhalt der Fähigkeit, zielgerichtete Entscheidungen z. B. für eine Flucht vom Brandort zu treffen, vom Zusammenwirken der



objektiven und subjektiven Einflüsse bestimmt.

Thomas Fr. Hegger: Eben weil man keine genauen Aussagen zu den Wirkungen des Brandrauchs auf einen Einzelnen treffen kann, hat sich der FVLR um statistisches Material zu den Gefahrenpotenzialen bemüht. Eine von uns in Auftrag gegebene Brandschadensstatistik basiert beispielsweise auf Pressemeldungen über Brände in Deutschland von Juli 2000 bis Juni 2001. In diesem Zeitraum gingen 73 % aller Verletzungen bei Bränden auf Rauchgase zurück, Verbrennungen hatten nur einen Anteil von 5 % und bei den übrigen Verletzungen war die Ursache zum Zeitpunkt der Meldung noch nicht bekannt. An den Todesfällen waren Verbrennungen und Rauchgasvergiftungen zu jeweils rund 30 % beteiligt, bei 39 %

war die Ursache zunächst unbekannt. Andere Untersuchungen sprechen sogar von bis zu 80 % aller Brandopfer, die letztlich am Rauch und nicht durch das Feuer sterben. Die Gefahr, die vom Rauch ausgeht, wird in vielen Fällen leider immer noch unterschätzt. Auch vom Gesetzgeber!

EURO SECURITY: Wie muss man sich die Entstehung und Ausbreitung von Brandrauch konkret vorstellen und vor allem: Wie kann man seine gesundheitsgefährdenden Folgen verhindern?

Dieter Brein: Brandversuche an möblierten (Wohn-)Räumen, die an der Forschungsstelle durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass bereits drei bis vier Minuten nach Brandentstehung die tolerierbaren Grenzen, etwa bei Kohlenmonoxid, überschritten sein können. In Verbindung mit der

Absenkung der Sauerstoffkonzentration und der Anhebung der Kohlendioxidkonzentration sowie unter Berücksichtigung sonstiger toxisch wirkender Gase, Wärme und Sichtweitenreduktion infolge der Brandrauchpartikel werden schnell Zustände erreicht, die Handlungsunfähigkeit zur Folge haben (siehe Tabelle 1 - Red.).

Dies gilt qualitativ freilich auch bei anderen Brandszenarien und für andere Räume. Die nachteiligen Auswirkungen der genannten drei Einflüsse sind dann weitestgehend vermeidbar, wenn eine rasche Brandmeldung, z.B. durch Rauchmelder, so frühzeitig erfolgt, dass Personen noch bei vollem Bewusstsein auf die Situation aufmerksam gemacht werden und sich selbst in sichere Bereiche retten können, oder wenn durch geeignete Maßnahmen zur Rauchabführung dafür gesorgt wird, dass die für den Menschen schädliche Atmosphäre an seinem Aufenthaltsort - zumindest in der Flucht- und Rettungszeit - nicht auftritt.

Thomas Fr. Hegger: In Industriehallen oder vergleichbar großen Gebäuden, etwa Einkaufszentren, steigt der Brandrauch zunächst mit dem thermischen Auftrieb in einer Säule, Plüm genannt, nach oben. Wenn an der Decke keine Abzugsmöglichkeiten vorhanden sind, schichtet sich der Rauch und strömt an den Außenwänden beginnend innerhalb kurzer Zeit als Rauchwalze wieder zurück nach unten.

Nach wenigen Minuten können dadurch die Rettungs- und Fluchtwege völlig verraucht und damit die Möglichkeiten zur Selbstrettung und erst recht zur Fremdrettung stark eingeschränkt sein.

Selbsttätig öffnende Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) in der Gebäudedecke führen hingegen die enormen Rauch- und Brandgasmengen nach außen ab und reduzieren auch die thermische Belastung des Menschen und der Gebäude. RWA lassen sich sehr wirtschaftlich mit Lichtkuppeln oder Lichtbändern ausführen, die gleichzeitig der Belichtung und Belüftung des Gebäudes im normalen Betrieb dienen können. Die Kosten für eine RWA betragen in der Regel weniger als fünf EURO pro Quadratmeter Bodenfläche.

EURO SECURITY: Welchen Stellenwert sollte die Entrauchung in modernen ganzheitlichen Brandschutzkonzepten einnehmen?

Tabelle 1
Gefährdungen durch Brandgase und Sauerstoffmangel bei Bränden

Gas	Beeinträchtigungen und Gefährdungen für die menschliche Gesundheit	Messwerte aus einem Wohnzimmerbrand im Labor
Sauerstoff	<ul style="list-style-type: none"> unter 12 Vol-%: Sauerstoffmangelkrankheit; unter 3 Vol-%: baldiger Erstickungstod 	<ul style="list-style-type: none"> 12 Vol-% nach 2 min 40 sec unterschritten; 3 Vol-% nach 4 min 42 sec unterschritten
Kohlendioxid	<ul style="list-style-type: none"> MAK-Wert: 5.000 ppm Kurzzeiteinwirkung von 30.000 ppm: 300 %ige Erhöhung der Atmung; 120.000 bis 150.000 ppm: nach wenigen Minuten bewusstlos 	<ul style="list-style-type: none"> 120.000 ppm nach 3 min überschritten; Messwert max. ca. 200.000 ppm
Kohlenmonoxid	<ul style="list-style-type: none"> MAK-Wert: 30 ppm; 800 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 45 min; 1.600 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 20 min; 3.200 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 5 bis 10 min, Bewusstlosigkeit und Tod nach 20 min; 6.400 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 2 bis 3 min, Tod nach 10 bis 15 min; 12.000 ppm: Tod nach 5 min 	<ul style="list-style-type: none"> 1.600 ppm nach 1 min 40 sec erreicht; 3.200 ppm nach 2 min 35 sec überschritten; 12.000 ppm nach 2 min 54 sec überschritten; Messwert max. über 50.000 ppm

MAK - Maximale Arbeitsplatzkonzentration (= zulässiger Grenzwert)
ppm - parts per million

Quelle: Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann, Forschungsstelle für Brandschutz an der Universität Karlsruhe (TH)

Dieter Brein: Der Nachweis einer Sicherstellung raucharmer Aufenthalts- und Fluchtbereiche durch wirksame Entrauchung ist ein wesentlicher Bestandteil im Rahmen der erforderlichen Nachweise für ein ganzheitliches Brandschutzkonzept, mit dessen Hilfe die Schutzziele des Baurechts eingehalten werden können. Hierbei darf sich die Rauchfreihaltung nicht nur auf die erwartete Zeitdauer für die Selbstrettung beschränken, sondern muss auch den Einsatzkräften hinreichend lange Zeit ausreichende Sichtverhältnisse zum Auffinden und Retten von Personen sowie zur Erkundung und Brandbekämpfung garantieren. Die Maßnahmen zur Rauchfreihaltung sind somit auf das Gesamtkonzept abzustimmen. Je früher ein Brand erkannt und gemeldet wird und je frühzeitiger mit der Brandbekämpfung begonnen werden kann, umso weniger Rauch entsteht und umso wirkungsvoller und wirtschaftlicher können Maßnahmen zur Rauchabführung sein.

Bei der Konzeption dieser Maßnahmen müssen plausible Szenarien unter Einschluß der Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen zugrundegelegt werden, um die erforderliche Sicherheit im Sinne der Unterschreitung der Toleranzschwellen, bezogen auf Wärmeeinwirkung, Sichtweitenreduktion durch Rauchpartikel und Schadstoffkonzentrationen, gewährleisten zu können.

Ich habe einmal zusammengestellt, bei welchen Grenzwerten ein System nach derzeitigem Stand als "sicher" gelten kann (siehe Übersicht 2 - Red.). Wobei man derzeit über Modelle nachdenkt, die eine abschließende



Bewertung der Beeinträchtigung durch Verknüpfung der einzelnen Auswirkungen zulassen. Die Forschung ist hierzu aber noch nicht abgeschlossen.

Thomas Fr. Hegger: Im Rahmen der Bauplanung sind vor allem die erforderliche Höhe der raucharmer Schicht und die aerodynamische wirksame Öffnungsfläche zentrale Kennwerte bei

der Dimensionierung von RWA. Die Berechnungen werden in der Regel nach DIN 18 232 oder nach der VdS-Richtlinie Form 2098 vorgenommen (VdS = Verband der Schadenversicherer e.V. - Red.).

Im Hinblick auf ein ganzheitliches Brandschutzkonzept sind integrierte Sicherheitslösungen gefragt, die Bauart, Lage und Nutzung des Gebäudes berücksichtigen. Angefangen vom baulichen Brandschutz über die Brandvorbeuge und -früherkennung muss dieses Konzept bis zur Brandabwehr reichen. Bei der Brandabwehr hat sich die frühere These, wonach Sprinkler- und RWA-Anlagen nicht miteinander verträglich sind, inzwischen als unrichtig erwiesen. Vielmehr ergänzen sie sich ideal im Sinne des Personen- und Sachwerteschutzes. Der VdS beschreibt die Kombinierbarkeit der Systeme deshalb jetzt in seinem Merkblatt 2815.

EURO SECURITY: Herr Brein, Herr Hegger, vielen Dank für das Gespräch.

Bestimmung von Grenzwerten verschiedener Schadstoffe im Brandrauch

(Auswahl, zusammengestellt von Dieter Brein)

Dosiswerte für Reizgase

Bei Reizgasen wird ein Konzept der Addition der Einflüsse einzelner Schadstoffe angenommen, wobei die Augen und die Atemwege reizende Stoffe im wesentlichen aufgrund ihrer Konzentration wirken. Verwendung findet das Modell der Addition der einzelnen effektiven Konzentrationen (FEC = "fractional effective concentration" = anteilige effektive Konzentration). Danach ergibt sich:

$$FEC = \frac{[HCl+HBr+HF]}{900} + \frac{[SO_2]}{120} + \frac{[NO_2]}{350} + \frac{[Acrolein]}{20} + \frac{[Formaldehyd]}{30}$$

Zahlenwerte in ppm (1.000 ppm entspricht 0,1 Vol-%). Bei FEC = 1 sind schwerwiegende Schädigungen anzunehmen.

Ein Wert von FEC = 0,1 wird in der Literatur als noch akzeptierbar vorgeschlagen, bei dem der Fluchtvorgang für gesunde Menschen noch weitgehend unbeeinträchtigt ablaufen kann.

Dosiswerte für narkotisch wirkende Gase

Maßgeblich ist die Dosis (Konzentration-Zeit-Integral in ppm/min) von den im Brandrauch enthaltenen narkotisch wirkenden Gasen CO und HCN (brandstoffabhängig).

CO bewirkt die Reduktion der Aufnahme von O₂ durch die roten Blutkörperchen. HCN (Blausäure) wirkt auf das zentrale Nervensystem ein und hat dadurch ebenfalls erstickende Wirkung.

Gas	Dosis ppm/min, bei der Ersticken auftritt (50 % der Bevölkerung)
CO	35.000
HCN	220

CO und HCN werden üblicherweise als additiv wirkend betrachtet. Die Grenze ist erreicht, wenn

$$\frac{[CO]}{35000} + \frac{[HCN]}{220} = FED = 1$$

Ein Wert von FED ("fractional effective dose" = anteilige effektive Dosis) = 0,1 wird in der Literatur als akzeptierbar vorgeschlagen.

Profil der Interview

Dipl.-Ing. Dieter Brein schloß 1974 sein Studium der Verfahrenstechnik an der Universität Karlsruhe (TH) ab und arbeitete zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der 1950 gegründeten Forschungsstelle für Brandschutztechnik der Universität Karlsruhe (TH). Seine Forschungsschwerpunkte waren vor allem die Brandentstehung bei gelagerten Stoffen sowie die Entwicklung von Rechenmodellen für Sonderbauteile. Seit Anfang des Jahres 2002 ist Dipl.-Ing. Dieter Brein Leiter der Forschungsstelle für Brandschutztechnik, an der heute 14 Ingenieure und Mitarbeiter zu Fragen der Brandentstehung, -ausbreitung und -bekämpfung forschen. Wesentliche Arbeitsbereiche sind die Untersuchung und Entwicklung vorbeugender baulicher sowie abwehrender technischer Brandschutzmaßnahmen. Mit diesen Forschungsergebnissen werden unter Einbeziehung numerischer Simulationen ganzheitliche Brandschutzkonzepte entwickelt. Brein ist Mitarbeiter in verschiedenen nationalen, europäischen und internationalen Normenausschüssen, u. a. als Obmann der DIN 18234.

Dipl.-Ing. Thomas Fr. Hegger ist Geschäftsführender Vorstand des Fachverbandes Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V. (FVLR) mit Sitz in Detmold. Dem FVLR gehören 12 deutsche Hersteller von Lichtkuppeln, Lichtbändern sowie Rauch- und Wärmeabzugsanlagen an, die gemeinsam etwa 90 % des Marktes repräsentieren. Hegger ist Mitarbeiter in verschiedenen nationalen und europäischen Normenausschüssen, u. a. als Obmann der DIN 18232.