

mit einem Verwaltungsakt endet. Die ZLS akkreditiert unter der Voraussetzung, daß die Prüf- und Zertifizierungsstellen die einschlägigen Normen der Serie EN 45 000 erfüllen.

11. Für die deutsche Wirtschaft ist es wichtig, daß die Stellen möglichst **frühzeitig** nach Brüssel gemeldet wer-

den. Sie müßten – unabhängig vom tatsächlichen Zeitpunkt der Umsetzung der jeweiligen Richtlinie – spätestens zum Zeitpunkt der Anwendung der Richtlinien benannt und im Amtsblatt der Gemeinschaft veröffentlicht sein, sonst entstünden der deutschen Wirtschaft und den als notifizierte Stellen in Betracht kommenden Organisationen leicht folgenschwere Nachteile. Dies zeigt, welche Verantwortung die

Bundesländer auf sich gezogen haben, nachdem sie auf höchster Ebene, nämlich der der Ministerpräsidenten, die Akkreditierung im rechtlich geregelten Bereich – jedenfalls für die Gerätesicherheit – als ihre verfassungsmäßige Aufgabe reklamiert haben. Erhebliche Zweifel dürfen bestehen, ob die Länderchefs sich der fachlichen und finanziellen Tragweite dieser Entscheidung voll bewußt gewesen sind.

Der Einfluß des Wärmeabzugs auf die Brandintensität

Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Schneider, Dr.-Ing. Ulrich Max

1. Worum geht es?

Die Anordnung von Öffnungsflächen im Dach für den Rauch- und Wärmeabzug ist bei großen Räumen oder Hallen Stand der Technik. „Je größer umso besser“, ist die allgemeine Auffassung. Dem soll hier nicht widersprochen werden, aber eine differenziertere Betrachtung ist angebracht, indem Aufgabe und Wirkungsweise solcher Öffnungsflächen betrachtet werden.

Vorgestellt werden insbesondere die Ergebnisse einer Untersuchung [1], bei der es galt, die Wärmeabzugsfaktoren von V DIN 18 230, 9/87 mit Simulationsrechnungen zu überprüfen. Diese Faktoren waren seinerzeit für Räume ohne Dachentlüftung mit einfachen Modellen berechnet worden, wobei die Extrapolation auf Räume mit Querlüftung und Dachentlüftung empirisch erfolgte.

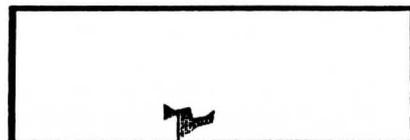
Natürlich ist es ein heikles Unterfangen, empirische Festlegungen nachzurechnen, insbesondere wenn man vermuten muß, daß diese nicht durchweg auf der sicheren Seite liegen. Der Kummer ist groß, wenn neue Ergebnisse ungünstiger sind.

2. Was soll man sich vorstellen?

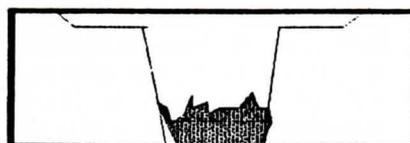
Ausgangspunkt sei der häufig zitierte Brandverlauf (vgl. Bild 1): Ein Brandherd im Raum wird sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreiten, es bildet sich eine Rauchgasschicht

unter der Decke, die heißer wird und anwächst. Sofern Löschmaßnahmen nicht – oder nicht rechtzeitig – einsetzen, wird es zu einem spontanen Flash-Over kommen, oder der Brand erfaßt sukzessive die gesamte Fläche.

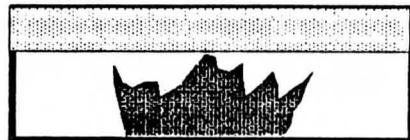
Bild 1
Brandentwicklung und Ausbreitung



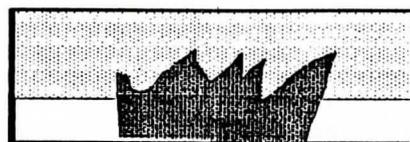
t = 0



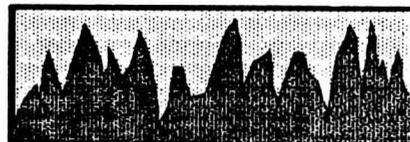
Brandentwicklung



kurz vor Flashover



Entwicklung der Heißgasschicht



nach Flashover

Noch beherrschbare Brandflächen in Hallen liegen nach Angaben der Feuerwehr [2] zwischen 100 und 400 qm, je nach örtlichen Gegebenheiten. Einer Auswertung Münchner Feuerwehr-Einsatzberichten zufolge [3], die allerdings nur einen Zeitraum von 3 Jahren erfaßte, liegen 90 bis 95% der Brandflächen unter 400 qm (vgl. Bild 2). Würde man die Brandflächen den Hallen – oder Raumflächen, in denen die Brände stattfanden, zuordnen, würde man sicher feststellen, daß Brände in großen Hallen seltener die gesamte Fläche erfassen als Brände in kleinen Räumen.

3. Neue Schlagworte für Altbekanntes

Aufgrund obiger Überlegungen kann man folgende bekannte Fälle unterscheiden (Bild 3):

- Scenario 1, bei dem rechtzeitige Intervention durch die Feuerwehr unterstellt wird, so daß eine Brandfläche von maximal 400 qm erreicht wird – d. h., eine erweiterte Brandentwicklungsphase, die auch als Teilflächenbrand bezeichnet werden kann
 - Scenario 2, ohne erfolgreiche Intervention, so daß der Brand spontan (bei Flash-Over) oder sukzessiv die Hallenfläche erfaßt – d. h., ein „ungestörter“ Brandverlauf, der zum sog. vollentwickelten Brand führt
- Die Brandfläche von 400 qm bei Scenario 1 ist als Rechenwert zu verstehen; die Betrachtung kleinerer Brandflächen

Bild 2

Brandflächen - Summenhäufigkeit

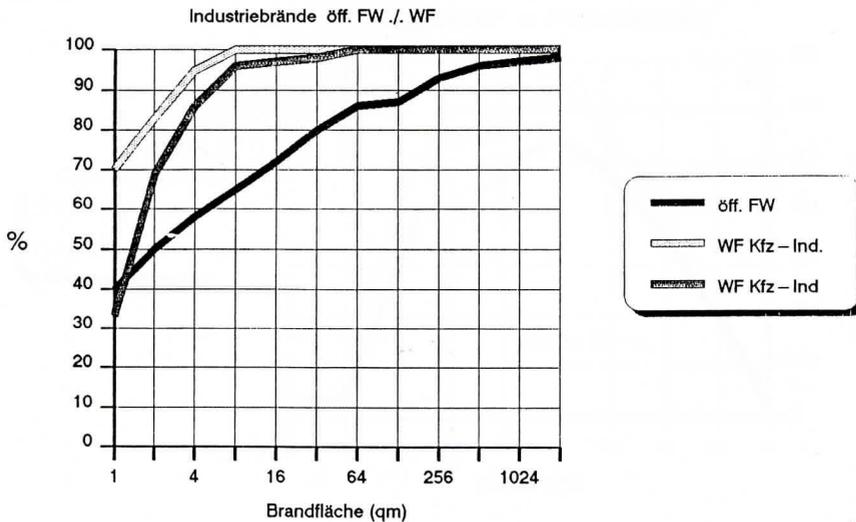
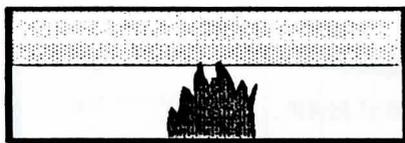
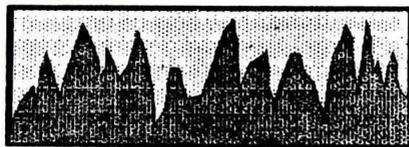


Bild 3

Fallunterscheidung



Scenario 1



Scenario 2

ergibt einen günstigeren Brandverlauf, so daß hier nicht beurteilt werden muß, unter welchen Bedingungen ein Brand dieser Größe noch unter Kontrolle gehalten werden kann.

Scenario 1 kann auch als Grenzfall für eine gerade noch erfolgreiche Sprinkleraktivierung angesehen werden.

4. Weshalb eine Fallunterscheidung?

Je nach Scenario haben wir unterschiedliche Schwerpunkte bei der brandschutztechnischen Auslegung:

Bei Scenario 1 geht es darum, bei der brandschutztechnischen Auslegung die Voraussetzungen zu schaffen, damit im Brandfall Scenario 2 vermieden wird (und Schäden minimiert werden).

Von den vielen selbstverständlichen Voraussetzungen wie rechtzeitiges Eintreffen der Feuerwehr, Zugänglichkeit,

Löschwasserversorgung, usw. sollen hier nur die genannt werden, die mit den Öffnungsflächen in Zusammenhang stehen:

- a) Sichtverhältnisse und Temperaturen, die einen Innenangriff erlauben: Durch Rauch- und Wärmeabzug begünstigt
- b) Standsicherheit der Konstruktion für den Teilflächenbrand: Durch Wärmeabzug begünstigt

In Verbindung mit a) ist auch zu nennen: Kontrolle der Rauchausbreitung zur Schadensminimierung – auch relevant bei automatischen Löschanlagen.

Gelingt keine erfolgreiche Intervention, liegt Scenario 2 vor. Ziel der brandschutztechnischen Auslegung ist in diesem Zusammenhang die

- c) Standsicherheit der Konstruktion für den vollentwickelten Brand: Durch Wärmeabzug begünstigt (sofern Standsicherheit im Einzelfall erforderlich)
- d) Abschnittsbildung – in direkter oder indirekter Verbindung mit c) [4]

Auf weitere Maßnahmen wie Gebäudeabstände, Löschwasserversorgung, sei hier nicht eingegangen.

5. Szenarien und Normen

Die Bemessung für a) bei Scenario 1 wird in DIN 18 232 bzw. in VDS-Richtlinien geregelt.

Die Bemessung für c) bei Scenario 2 wird in DIN 18 230 geregelt, ebenso für d) mit Bezug auf [4].

Aus dem ursprünglichen „Vollbrand“ (nach Flash-Over) im ersten Entwurf von DIN 18 230 wurde zwar der „vollentwickelte“ Brand (in Hallen, in denen Flash-Over nicht zu erwarten ist), aber Intervention etwa durch die Werkfeuerwehr oder Sprinkleranlage wird nur

durch Zusatzbeiwerte, aber nicht physikalisch erfaßt. Eine direkte Bemessung für Scenario 1 ist in DIN 18 230, 9/87 nicht vorgesehen, wobei man davon ausgeht, daß b) durch c) abgedeckt ist.

Das bedeutet: DIN 18 232 und DIN 18 230 beruhen (bislang) auf unterschiedlichen Szenarien. Demzufolge kann eine unterschiedliche Bewertung von Öffnungsflächen durchaus zutreffend sein.

Insofern beschränkte sich die Aufgabenstellung der Untersuchung für DIN 18 230 [1] – über die hier im wesentlichen berichtet werden soll – auf Scenario 2. Brandsimulationen zu Scenario 1 wurden ergänzend durchgeführt, um auch an frühere Untersuchungen anzubinden. Über Ergebnisse wurde auch schon in [5] berichtet.

6. Grundlagen

Brandsimulationen können derzeit mit verschiedenen Modellen durchgeführt werden

- dem 1-Zonen Modell, das für kleine Räume nach Flash-Over geeignet ist
- dem 2-Zonen Modell, das den Brandraum in eine (zeitlich veränderliche) Rauchgasschicht und eine kühlere Zone unterteilt; es kann zur Erfassung der Interaktion zwischen benachbarten Räumen oder Abschnitten zu einem Mehrraummodell erweitert werden
- Feldmodellen, welche räumliche Temperaturfelder nachbilden

Solche Simulationsmodelle wurden in verschiedenen Forschungseinrichtungen entwickelt und durch verschiedene Naturbrandversuche bislang punktuell abgesichert. Eine ausführliche Darstellung des hier verwendeten 2-Zonenmodells findet sich in [6].

Die wesentlichen Eingangsgrößen sind folgende

- Brandherdgröße zu Beginn 1 qm
- Ausbreitungsgeschwindigkeit vor Flash-Over 0.5...1m/min
- nach Flash-Over 5 m/min
- Flash-Over-Temperatur 500 °C
- spezifische Abbrandgeschwindigkeit 20 kg/qm h
- Heizwert 13 500 kJ/kg
- Auslösung der Dachöffnungen bei Deckentemperatur 100 °C

Bei allen Berechnungen wurde angenommen, daß die Dachdecke intakt bleibt.

7. Grundlagen, die wichtig sind

Aufgrund solcher Simulationsmodelle werden Zeitverläufe für verschiedene Kenngrößen des Brandverlaufs, z. B. Temperaturen, Schichtdicken, Drücke, Brandflächen usw. ermittelt. Beispiel eines Temperatur-Zeitverlaufs ist in Bild 4 gegeben.

Nun können solche Temperatur-Zeitverläufe unmittelbar, z. B. für rechnerische Bauteil-Nachweise, verwendet werden – ein Verfahren, das möglicherweise in die europäische Normung Eingang findet. Anhand solcher Temperatur-Zeitverläufe kann aber auch der Temperatur-Zeitverlauf in einem Indikator-Bauteil bestimmt werden, um dann anhand der bekannten Beziehung gemäß Bild 5 den Brandverlauf in Bezug auf die äquivalente Branddauer zu charakterisieren.

Teilt man die so ermittelte äquivalente Branddauer durch die Brandbelastung q_R und den Umrechnungsfaktor c , so erhält man den Wärmeabzugsfaktor w für eine spezielle Konfiguration

$$w = t_a / (q_R \cdot c) \quad (1)$$

Naturngemäß gehen bei der Charakterisierung eines komplexen Vorgangs anhand einer Kenngröße (t_a oder w -Faktor) wichtige Informationen verloren. Genannt sei z. B. die Schichtdicke: Bei großer Dicke der Rauchgasschicht werden z. B. Stützen über die gesamte Höhe beansprucht, bei kleiner Schichtdicke nur im Stützenkopfbereich. Bei großer Schichtdicke kann – unter sonst gleichen Bedingungen – mehr Wärme an die Umfassungsbauteile abgegeben werden als bei kleiner Schichtdicke, so daß die Temperatur der dickeren Schicht geringer sein kann als die Temperatur der dünneren Rauchgasschicht.

Verloren geht auch die Information dahingehend, ob der Brandverlauf vorwiegend

- brandlast-gesteuert oder
- ventilations-gesteuert ist.

Beim brandlast-gesteuerten Brand wird die gesamte im Brandgut gespeicherte Energie umgesetzt

$$h_c = R \cdot H_u \quad (2)$$

Beim ventilations-gesteuerten Brand ist die freigesetzte Energie durch die nachströmende Luftmenge (m_L) begrenzt,

$$h_c = (m_L / r) \cdot H_u \approx m_L \cdot \text{const.} \quad (3),$$

wobei R die Abbrandrate (kg/s),
 H_u der Heizwert (kJ/kg) und
 m_L die einströmende Luftmenge (kg/s) ist.

Beim ventilations-gesteuerten Brand (man spricht auch von unvollständiger Verbrennung) verbrennt nur ein Teil der Pyrolyseprodukte im Brandraum – der Rest kann außerhalb des Brandraums, z. B. an Öffnungsflächen oder in angrenzenden Räumen, zur Zündung kommen.

Bild 4

Temperatur - Zeit - Verläufe (bei verschiedenen Öffnungsflächen aH)

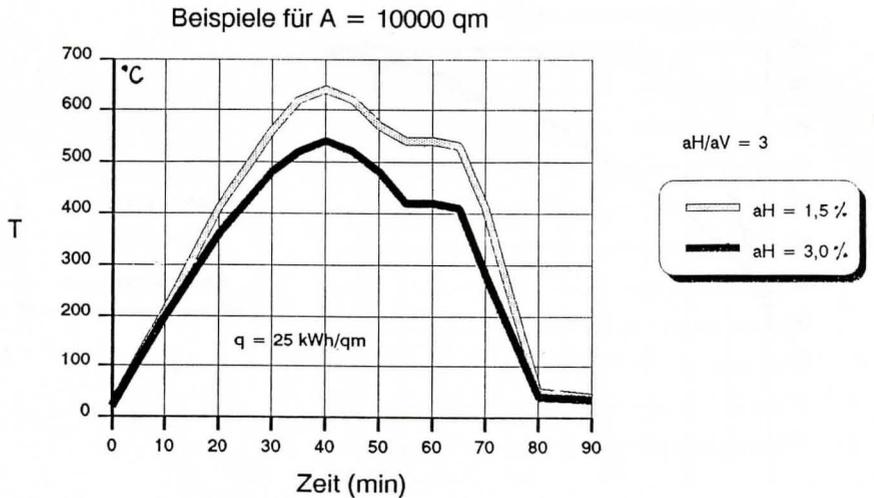
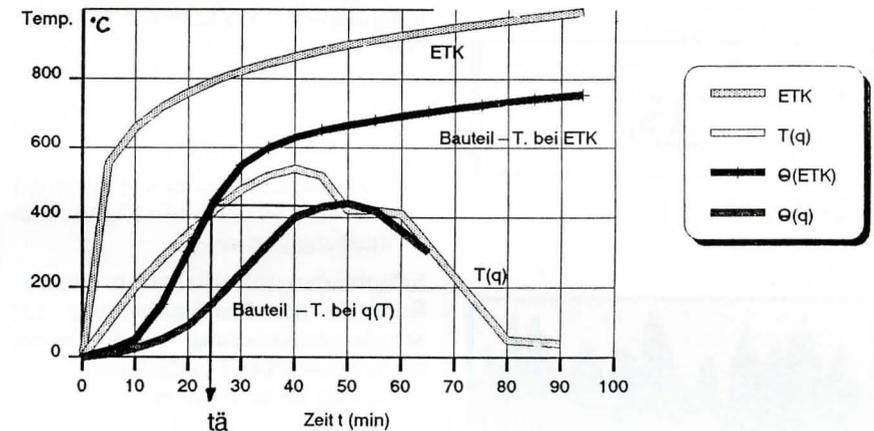


Bild 5

Bestimmung von t_a



In der Regel gibt es keinen reinen ventilations-gesteuerten Brand, vielmehr wird z. B. ein anfänglich brandlast-gesteuerter Brand in einen ventilations-gesteuerten übergehen und kann beim Zutritt von Sauerstoff bei aufgehenden Öffnungsflächen wieder brandlast-gesteuert werden. Das bedeutet: Die günstige Wirkung von Öffnungsflächen kann gleichzeitig einen ungünstigen Einfluß haben und zwar dann, wenn – aufgrund der Öffnungsflächen – ein ventilations-gesteuerter Brand in einen brandlast-gesteuerten Brand übergeht. Zwar dominiert meist der günstige Einfluß des Wärmeabzugs gegenüber dem ungünstigen Einfluß der Sauerstoffzufuhr, aber der – aus dem Temperatur-Zeitverlauf – errechnete Wärmeabzugsfaktor fällt entsprechend groß aus.

die gesamte Hallenfläche aus, entweder spontan bei Flash-Over oder sukzessive, wenn Flash-Over-Bedingungen nicht erreicht werden.

8.1 Einfluß der Brandbelastung

Bei der Ermittlung der äquivalenten Branddauer wird vereinfachend angenommen, daß t_a mit der Brandbelastung proportional zunimmt. Es ist bekannt, daß die Zunahme eher unterproportional ist, wobei diese Tendenz in den Simulationsrechnungen bestätigt wurde (vgl. Bild 6). Begründet wird diese Tendenz dadurch, daß bei geringer Brandbelastung ein vorwiegend brandlast-gesteuerter Verlauf erfolgt, wohingegen bei hoher Brandbelastung ein Brand vorwiegend ventilations-gesteuert verläuft.

Die zugehörigen w -Faktoren sind in Bild 7 dargestellt. Ab etwa 140 kWh/qm ist der Einfluß der Brandbelastung nicht mehr signifikant. Um die einfache Bezie-

8. Zu den Ergebnissen – Szenario 2

Zur Erinnerung: Bei Szenario 2 breitet sich der Brand quasi „ungestört“ über

hung zwischen Brandbelastung und äquivalenter Branddauer beizubehalten, wird vorgeschlagen, w-Faktoren für die Referenz-Brandbelastung von 140 kWh/qm festzulegen. Die damit verbundene Unterschätzung von t_a bei geringen Brandbelastungen wird aufgrund der entsprechend geringeren Risiken für vertretbar erachtet.

8.2 Einfluß der Hallenhöhe und -fläche

Der Einfluß der Hallenhöhe auf den Wärmeabzugsfaktor ist in Bild 8 dargestellt. Man erkennt eine abnehmende Tendenz mit zunehmender Hallenhöhe, wobei w je Meter Höhe um etwa 0.05 abnimmt. Die Abnahme ist durch das größere verfügbare Volumen erklärt und kann – je nach Schichtdicke – auch ausgeprägter sein.

Anhand von Bild 9 a ist zu erkennen, daß bei großen bezogenen vertikalen Öffnungsflächen (a_v) der Wärmeabzugsfaktor kaum von der Hallenfläche abhängt, d. h., es liegt ein nur geringfügig günstiger Einfluß vor. Bei sehr kleinen Öffnungsflächen a_v wird der Brandverlauf sehr empfindlich gegenüber Änderungen der Geometrie, welche die Ventilationsverhältnisse – und die freigesetzte Energie – beeinflussen, so daß keine eindeutigen Abhängigkeiten vorliegen (Bild 9 b).

Die konsequente Folgerung wäre, das einfache Verfahren der äquivalenten Branddauer auf Anwendungen mit $a_v > 10\%$ zu begrenzen, was jedoch kaum praxistauglich ist. Als Kompromißlösung für die Festlegung von Wärmeabzugsfaktoren wird eine Referenzhalle mit $A = 2400$ qm gewählt, bei der die Abhängigkeiten noch eindeutig sind.

8.3 Einfluß vertikaler und horizontaler Öffnungsflächen

Der Einfluß vertikaler Öffnungsflächen a_v auf den w-Faktor ist eindeutig: Mit zunehmender Öffnungsfläche nimmt der Wärmeabzugsfaktor asymptotisch ab, d. h., eine Vergrößerung ohnehin schon großer Flächen verbessert den Wärmeabzug nurmehr geringfügig (Bild 10).

Auf die Empfindlichkeit des w-Faktors gegenüber Variationen der Hallenfläche bei kleinen Öffnungsflächen wurde zuvor schon hingewiesen. Tendenziell mag gelten, daß sehr kleine vertikale Öffnungsflächen bei großen Hallen

Bild 6

tä in Abhängigkeit von der Brandbelastung q (und der bezogenen horizontalen Öffnungsfläche a_H)

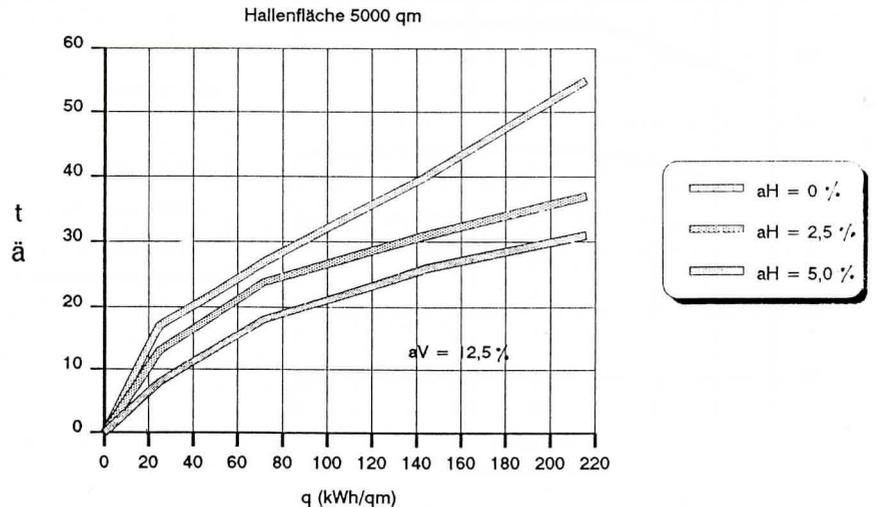


Bild 7

Einfluß Brandbelastung (bei verschiedenen horizontalen Öffnungsflächen a_H)

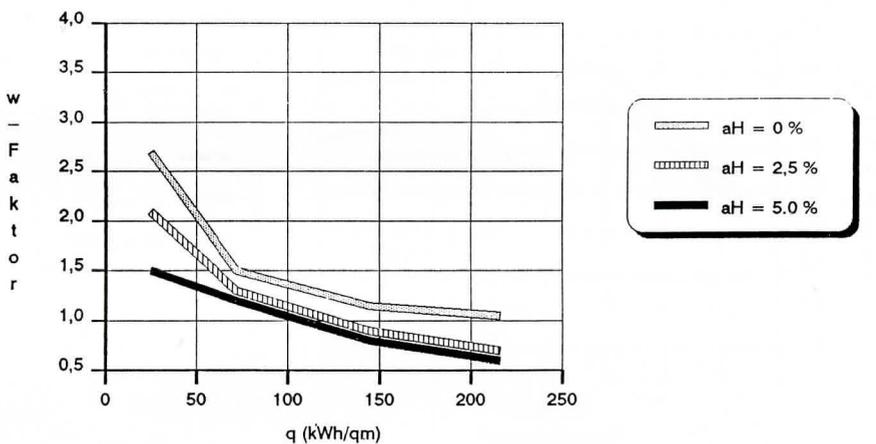
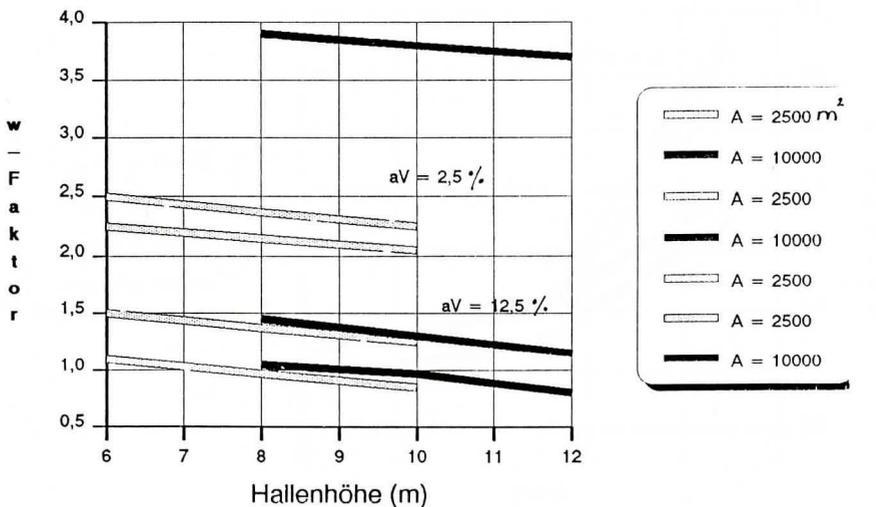


Bild 8

Einfluß Hallenhöhe (bei verschiedenen Hallenflächen A)



als Wärmeabzug quasi wirkungslos sind (aber auch nicht über die Sauerstoffzufuhr ungünstig wirken), mit zunehmender Öffnungsfläche jedoch die gleiche Wirksamkeit erreichen können wie bei kleinen Hallen.

Auch für den Einfluß horizontaler

Öffnungsflächen gilt: Bei hinreichend großen vertikalen Öffnungsflächen ist der Einfluß bezogener horizontaler Öffnungen a_H eindeutig: Mit zunehmender Öffnungsfläche a_H nimmt der Wärmeabzugsfaktor asymptotisch ab, d. h., eine Vergrößerung ohnehin schon großer

Bild 9 a)
Einfluß Hallenfläche (bei verschiedenen horizontalen Öffnungsflächen a_H)

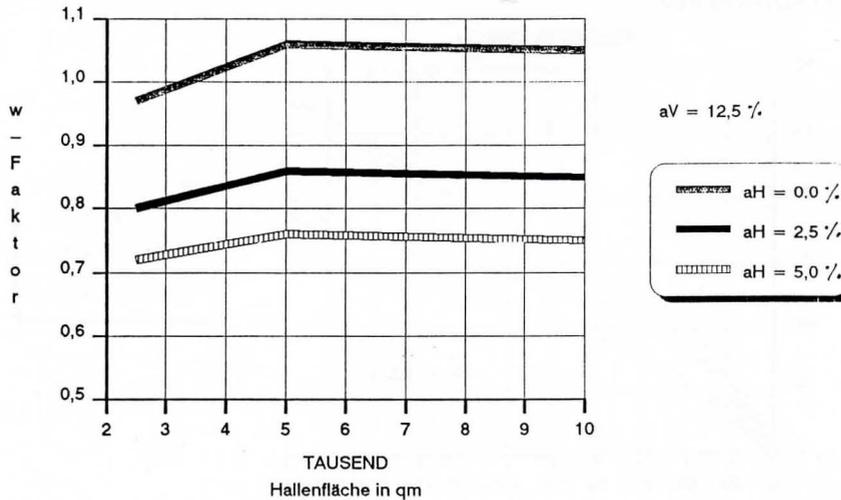


Bild 9 b)
Einfluß Hallenfläche (bei verschiedenen vertikalen Öffnungsflächen a_V)

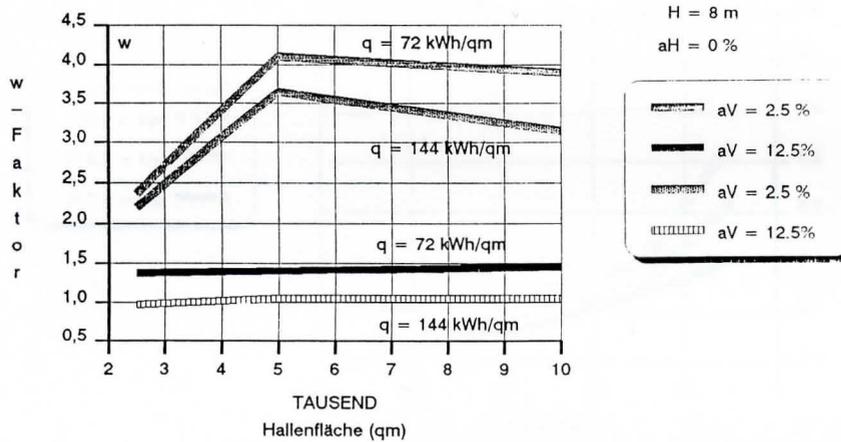
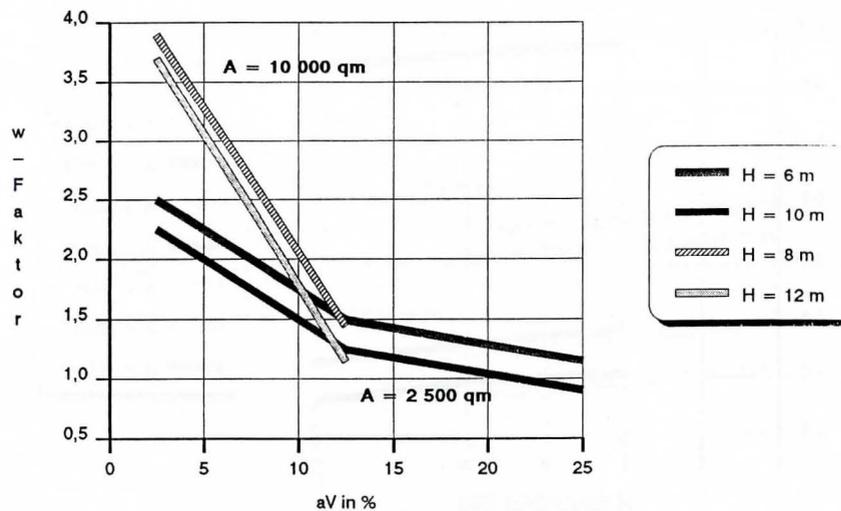


Bild 10
Einfluß der vertikalen Öffnungsfläche a_V (bei verschiedenen Hallenhöhen H)



Flächen verbessert den Wärmeabzug
nurmehr geringfügig (Bild 11 a).

Bei kleinen vertikalen Öffnungsflächen ist der Einfluß horizontaler Öffnungsflächen wiederum nicht eindeutig: Bei großen Hallen kann die Anordnung kleiner horizontaler Öffnungsflächen

gegenüber dem Fall $a_H = 0$ sogar ungünstig sein: Aus einem ventilationsgesteuertem Brand, bei dem in einer großen Halle nur bis zu 75 % der Energie umgesetzt wird, wird bei Anordnung horizontaler Öffnungsflächen ein Brand, bei dem nahezu 100 % der Energie freige-

setzt wird, wobei der Wärmeabzug über die kleinen Flächen nicht ausreicht, um die Energiedifferenz auszugleichen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei unzureichenden vertikalen Öffnungen auch horizontale Öffnungen als Zuluftöffnungen operieren. Erst bei größeren horizontalen Flächen dominiert der günstige Effekt des Wärmeabzugs (Bild 11 b).

8.4 Folgerungen

Im Prinzip bestätigen diese Rechnungen, daß horizontale Öffnungen nur dann einen wirksamen Wärmeabzug gewährleisten, wenn ausreichende Zuluft vorhanden ist – im Regelfall über vertikale Öffnungsflächen, ggf. auch über die horizontalen Öffnungen selbst.

Aufgrund dieser Untersuchungen liegt ein Vorschlag für Wärmeabzugsfaktoren vor, der in Bild 12 dargestellt ist. Zum Teil sind die Werte ungünstiger als die bisherigen Wärmeabzugsfaktoren nach DIN 18 230, 9/87, da

- zum einen der empirisch unterstellte günstige Einfluß der Querlüftung nicht bestätigt werden konnte
- zum anderen bei den horizontalen Wärmeabzugsflächen ausreichende Zuluft bislang unterstellt bzw. nur qualitativ gefordert wurde; ist ausreichende Zuluft nicht vorhanden, sind die entsprechenden Wärmeabzugsfaktoren im Vorschlag ungünstiger als bisher.

Demgegenüber sind bei ausreichender Zuluft die Werte etwas günstiger als bislang festgelegt.

8.5 Problem: Anrechenbare Öffnungsflächen

Auf ein weiteres Problem, nämlich welche Art von Flächen überhaupt als Öffnungsflächen anrechenbar sind in Anbetracht z. B. widerstandsfähiger Verglasungen, sei hier nur hingewiesen. Türen und Tore werden künftig wohl anrechenbar sein, obgleich (nicht ganz konsequenterweise bei diesem Szenario) damit auch eine gewisse Intervention durch die Feuerwehr unterstellt wird.

9. Unterschiede bei Szenario 1

9.1 Beim Rechnen

Bei Szenario 1 wird die Brandfläche auf z. B. 400 qm begrenzt.

Bild 11 a)
Einfluß der horizontalen Öffnungsfläche aH (bei verschiedenen Hallenhöhen H) – große vertikale Öffnungen

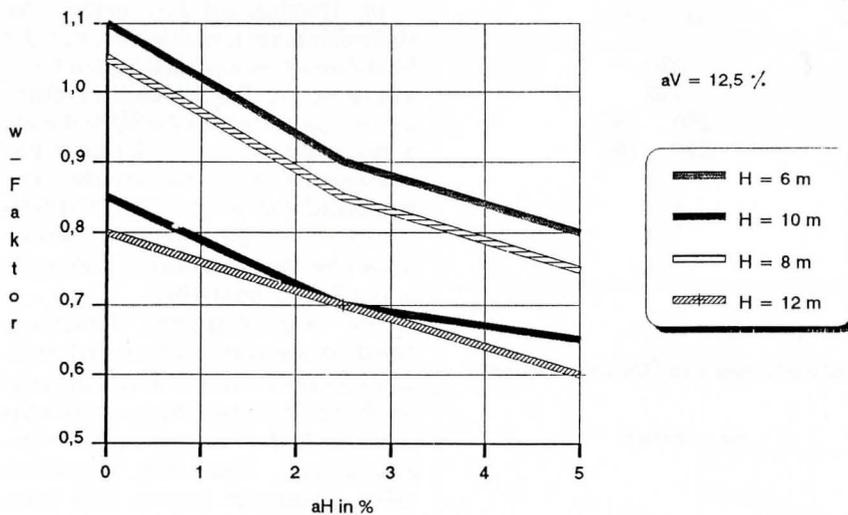


Bild 11 b)
Einfluß der horizontalen Öffnungsfläche aH – kleine vertikale Öffnungen

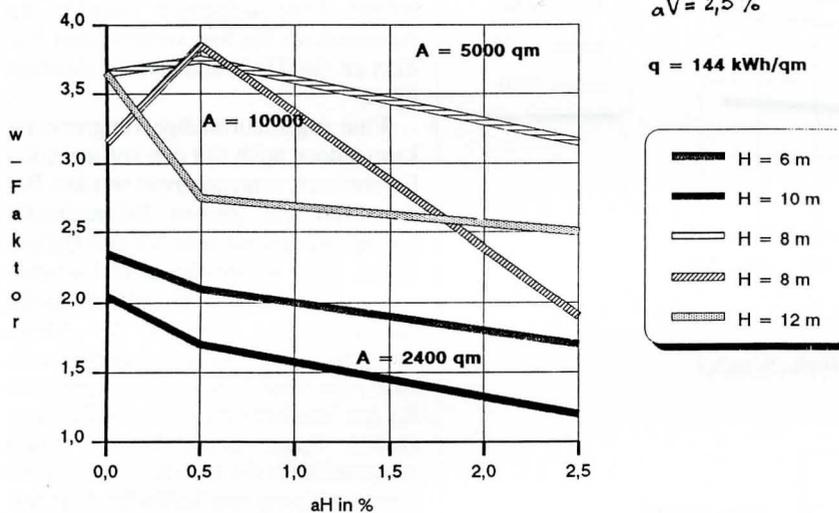
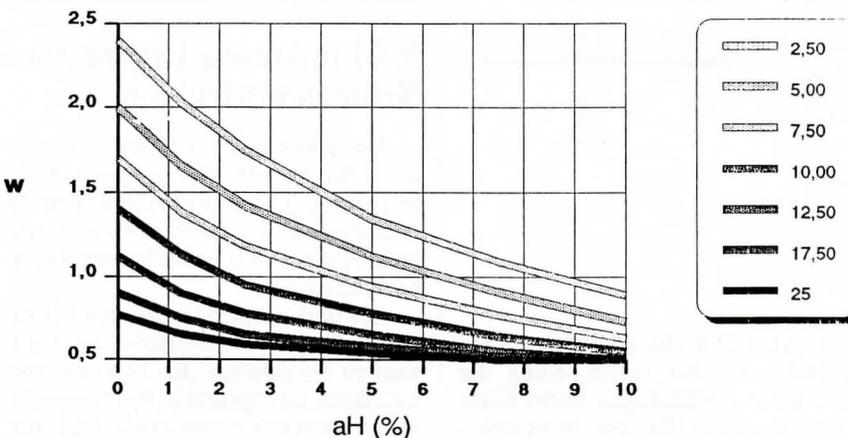


Bild 12
Vorschlag für w -Faktoren



Bei den zuvor genannten Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 0.5 ... 1.0 m/min wird diese Fläche in 10 bis 20 Min. erreicht. Die Annahme kleinerer Ausbreitungsgeschwindigkeiten oder die Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung des Brandherdes führt zu einer

günstigen „Streckung“ des Brandverlaufs, so daß an dieser Stelle nicht in Betracht gezogen werden muß, ob die Feuerwehr überhaupt in 10 min. vor Ort sein kann.

Wegen der Unsicherheit bei der Modellierung der Löschwirkung bei Sce-

nario 1 ist es zweckmäßig, den günstigen Einfluß der Löschwirkung unberücksichtigt zu lassen, d.h., die Brandausbreitung endet zwar, wenn die maximale Brandfläche erreicht ist, aber der Abbrand in dieser Fläche wird unverändert fortgesetzt.

Vor der Betrachtung punktueller Ergebnisse muß noch auf eine Einschränkung des 2-Zonen-Modells bei der Berechnung von Teilbränden hingewiesen werden: Es wird eine konstante Temperatur innerhalb der Rauchgasschicht angenommen, d.h., höhere Temperaturen über der Brandfläche und niedrigere Temperaturen in großer Entfernung werden quasi zu einer gemittelten Schichttemperatur zusammengefaßt. Die Temperaturdifferenz wird umso ausgeprägter sein, je kleiner die Brandfläche im Verhältnis zur Hallenfläche ist.

9.2 Unterschiede beim Brandverlauf

Im Vergleich zu Szenario 2 liegt beim Teilflächenbrand eher ein brandlastgesteuerter Brand vor und das umso mehr, je kleiner die Brandfläche im Vergleich zur Hallenfläche ist. Somit sind ungünstige Wirkungen einer Sauerstoffzufuhr über Öffnungsflächen (außer bei Schwelbränden, die hier nicht gerechnet wurden) nicht wie bei Szenario 2 zu erwarten.

9.3 Punktuelle Ergebnisse – t_a

Maximale (gemittelte) Temperaturen der Rauchgasschicht sind für einige Parameter-Variationen in Bild 13 zusammengestellt. Man erkennt, daß bei großen Hallen wohl kaum mittlere Schichttemperaturen von über 500 °C erreicht werden.

In Bild 14 sind äquivalente Branddauern in Abhängigkeit der Brandbelastung aufgetragen, die – wie die Temperaturen – als gemittelte Werte zu verstehen sind. Die relativ kleine Halle mit 2400 qm ist bei diesem Szenario nur als Referenzobjekt eingeführt (da bei dieser Hallengröße wohl fraglich ist, ob ein 400 qm Brand unter Kontrolle gehalten werden kann).

Mit zunehmender Hallenfläche nimmt die äquivalente Branddauer ab. Bei der kleinen Halle bewirkt die Anordnung einer horizontalen Öffnungsfläche im Dach (a_H) von 2.5 % eine erhebliche Reduzierung der äquivalenten Branddauer; bei größeren Hallen verschwindet der günstige Einfluß der Dachöffnungsflächen, aber nur, weil Temperaturkriterien für die Auslösung nicht oder sehr spät erreicht werden.

Bild 13

Maximale Rauchschicht-Temperaturen (über Fläche gemittelt) bei Teilbrandflächen

Hallenhöhe (m)	q (kWh/qm)	max T Ah = 0	max T Ah = 1.5 %
5	25	260	230
5	85	270	250
7	25	230	230 ... 160
7	85	270	230 ... 180
7	200	320	> 230
12	25	> 230	160
12	85	140	180
12	200	320	200

Bild 14

Einfluß Brandbelastung (bei verschiedenen Hallenflächen und Öffnungsflächen)

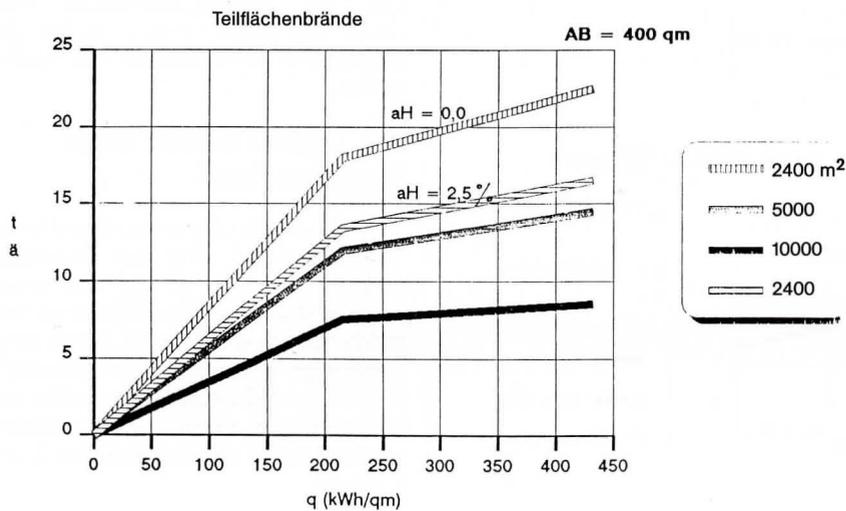
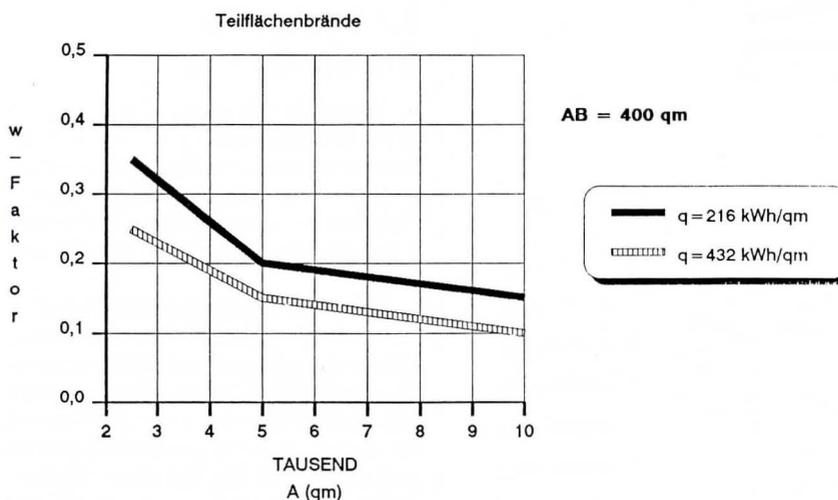


Bild 15

Einfluß Hallenfläche (bei verschiedenen Brandbelastungen)



Dieser Effekt kann einfach erklärt werden: Mit zunehmender Hallengröße wachsen das verfügbare Luftvolumen und die innere Oberfläche, so daß die Belastung je Flächeneinheit abnimmt. Der Einfluß ist schwach unterproportional, d. h., eine Verdoppelung der Hallenfläche bewirkt nicht ganz eine Halbierung von t_a .

Man würde einen ähnlich günstigen Einfluß der Hallenhöhe erwarten; allerdings ist der Höheneinfluß vergleichs-

weise gering. D. h., die innere Oberfläche der Halle, die bei Verdoppelung der Höhe einer großflächigen Halle kaum zunimmt, spielt für die (gemittelte) äquivalente Branddauer eine größere Rolle als das Luftvolumen. Zudem ist zu beachten, daß Temperaturkriterien für die Auslösung von Dachöffnungsflächen mit zunehmender Hallenhöhe umso später erreicht werden, so daß die absolute Rauchschichtdicke (s. u.) mit zunehmender Hallenhöhe anwächst.

9.4 Mit Einschränkungen

Im Hinblick auf den Einfluß der Hallenfläche auf t_a muß jedoch auch die Modellannahme einer konstanten T-Verteilung in der Rauchgasschicht diskutiert werden: Je größer die Hallenfläche, umso größer werden die Unterschiede zwischen den Temperaturen über dem Brandherd und den gemittelten Temperaturen, d. h., die äquivalente Branddauer über dem Brandherd ist höher als in den Bildern angegeben.

Für eine allgemeine Bewertung brandlastbedingter Gefahren sind derartig gemittelte Parameter durchaus geeignet. Für die bei diesem Szenario erforderliche Standsicherheit muß die Bauteilbeanspruchung über dem Brandherd näher eingegrenzt werden. Dies kann durch Unterteilung der Halle in mehrere gedachte Abschnitte erfolgen, so daß eine „Mehr-Raum“ Situation entsteht. Solche Untersuchungen wurden im Anschluß an die hier vorgestellten Studien an der TU Braunschweig durchgeführt.

Eine ingenieurmäßige Eingrenzung kann jedoch auch mit den vorliegenden Ergebnissen vorgenommen werden. Bei der 2400 qm großen Referenzhalle beträgt die Brandfläche 1/6 der Hallenfläche. Dies entspricht einer Unterteilung größerer Hallen in 2400 qm große Abschnitte mit Grenzfall der „Mehr-Raum-Situation“: Keine Interaktion zwischen den Abschnitten. D. h., Ergebnisse für den Teilflächenbrand in der 2400 qm großen Referenzhalle können näherungsweise für die Beurteilung der Temperaturwirkung von Teilflächenbränden in großen Hallen herangezogen werden.

9.5 Punktuelle Ergebnisse - Schichtentwicklung

Aus einer weiteren Untersuchung /8/ ist in den Bildern 16 ff beispielhaft die Entwicklung der rauchfreien Schicht in Abhängigkeit verschiedener Parameter aufgetragen. Die Brandbelastung ist vernachlässigbar.

Aus Bild 16 erkennt man den günstigen Einfluß der Hallenfläche; um Argumenten hinsichtlich „Rauchwalze“ vorzubeugen, sei angemerkt, daß Vergleichsrechnungen mit einem kalten Qualmer und der optischen Dichte als Kriterium den günstigen Einfluß bestätigten.

In Bild 17 ist die Entwicklung der rauchfreien Schicht für verschiedene Hallenhöhen mit RWA (bei gleicher Auslöse-Temperatur) dargestellt. Bild 18 veranschaulicht die Wirkungsweise von horizontalen Öffnungen anhand folgen-

Bild 16
Einfluß Hallenfläche

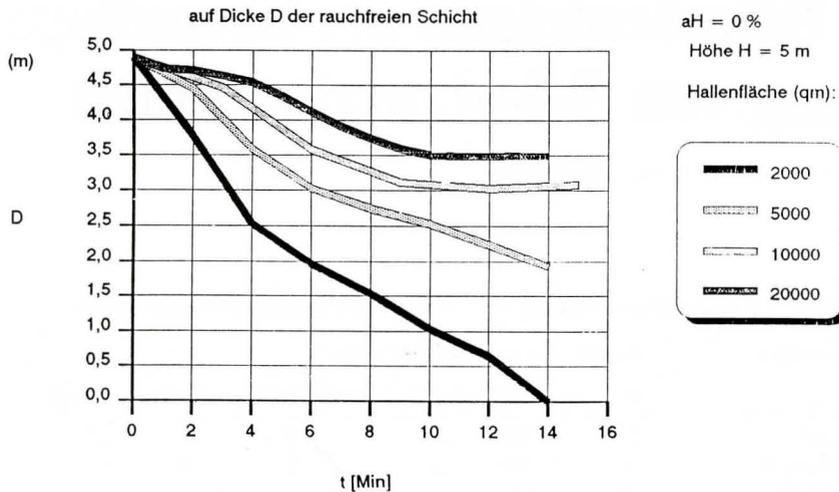


Bild 17
Einfluß Hallenhöhe H

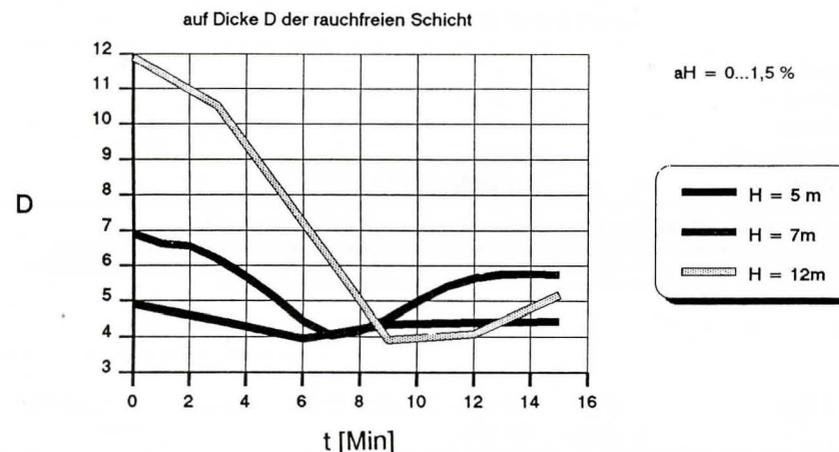
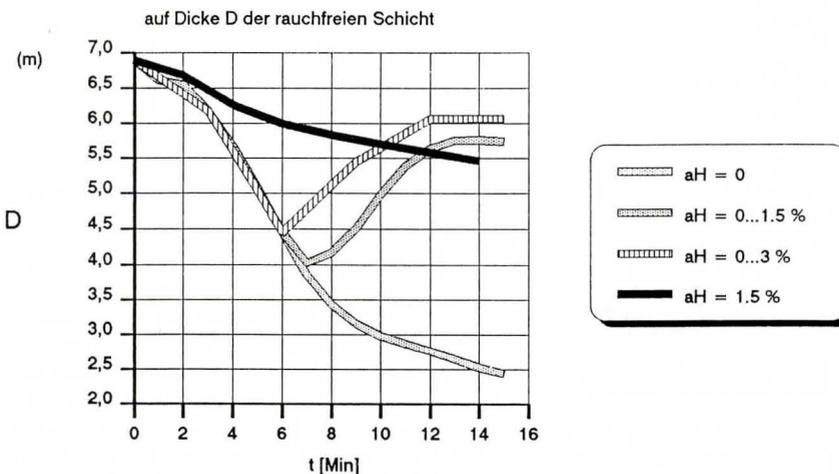


Bild 18
Einfluß von RWA + Öffnungszeit



der Fälle: keine Öffnungen, Öffnungen bei Brandbeginn offen, Öffnungen werden thermisch ausgelöst.

10. Folgerungen

Scenario 2:

Die schwächere Bewertung horizontaler Öffnungen in Verbindung mit den in Praxis häufig vorkommenden

geringen (bezogenen) vertikalen Öffnungsflächen mag nun physikalisch – für den vollentwickelten Brand – zutreffender sein. Bedauerlich wäre jedoch ein schwächerer Anreiz für den Planer, in horizontale Öffnungen in Form von RWA zu investieren.

Scenario 1:

Sofern Auslösekriterien von RWA auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt sind, kann die Rauchschant-

wicklung entscheidend beeinflusst werden. Dabei sind insbesondere Hallenhöhe und Rauchschrän-Bildung zu beachten.

Unter den gleichen Bedingungen gilt, daß eine stärkere Bewertung horizontaler Öffnungsflächen bei Teilflächenermittlungen von t_a gerechtfertigt ist.

DIN 18 230:

Eigentlich müßten zwei Nachweise geführt werden

- i. Nachweis für Scenario 1 mit „großen“ Sicherheitsbeiwerten (und kleinen w-Faktoren) sowie
- ii. Nachweis für Scenario 2 mit „kleineren“ Sicherheitsbeiwerten (und größeren w-Faktoren), wobei die Sicherheitsbeiwerte/Zusatzbeiwerte auch den günstigen Einfluß von RWA auf die Brandbekämpfung berücksichtigen

Im neuen Entwurf von DIN 18 230 gilt es, praxisgerechte Vereinfachungen zu finden, um Doppelnachweise zu vermeiden.

11. Am liebsten zitiert man sich selbst

- [1] Schneider, U., Kersken-Bradley, M., Max, U., Neuberechnung der Wärmeabzugsfaktoren w für die V DIN 18 230 Teil 1 – Baulicher Brandschutz im Industriebau, Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit, Forschungsbericht Institut für Bautechnik, Mai 1990
- [2] Klingsohr, K., Einsatzgrenzen der Feuerwehren, brandschutz, Deutsche Feuerwehr-Zeitung 2/86
Klingsohr, K., Einbau von Sprinkleranlagen aus behördlicher Sicht, brandschutz, Deutsche Feuerwehr-Zeitung 12/83
- [3] Hosser, D., Schneider, U., Kersken-Bradley, M. Brandhäufigkeiten im Industriebau, Forschungsbericht Institut für Bautechnik, 1989
- [4] Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebau-Richtlinie); in NRWF: Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen Nr. 74 vom 5. Dez. 1989; ansonsten: Muster
- [5] Schneider, U., Kersken-Bradley, M., Max, U., Berechnung der Wärmeabzugsfaktoren in DIN V 18 230 mit dem Rechenprogramm MRFC, Bauphysik, Dezember 1990 H. 6 und Februar 1991, H. 1
- [6] Max, U., Zur Berechnung der Ausbreitung von Feuer und Rauch in komplexen Gebäuden, Dissertation Universität Kassel, 1990
- [7] Schneider, U., Max, U. Rechnerische Untersuchung über die Anwendung von DIN V18 230 in großen Hallen durch Wärmebilanzrechnung, i. A. des Verbandes der Deutschen Automobilindustrie, Februar 1989
- [8] Schneider, U., Kersken-Bradley, M., Max, U. Abschlußbericht Untersuchungsvorhaben Flucht- und Rettungswege i. A. des Verbandes der deutschen Automobilindustrie, Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit, September 1989
Schneider, U., Max, U., Kersken-Bradley, M., Zur Simulation der Rauchausbildung in Flucht- und Rettungswegen; 3. Fachseminar Brandschutz – Forschung und Praxis, Technische Universität Braunschweig, 1989, S. 35–49

Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit
Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley,
München
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Schneider, Wien
Dr.-Ing. Ulrich Max, Kassel