

# Bemessungsvorschlag für maschinelle Rauchabzüge nach DIN 18232 Teil 5

U. Schneider, U. Max, C. Lebeda, M. Kersken-Bradley

## 1 Einleitung

Nach mehrjährigen Vorbereitungen und Diskussionen im Normenausschuß „Maschinelle Rauchabzüge“, liegt nunmehr ein Vorschlag für die Bemessung von maschinellen Rauchabzügen vor, der den Bereich von Brandbekämpfungsabschnitten und Räumen mit > 1000 m<sup>2</sup> Grundfläche abdeckt. Dieser Vorschlag beruht auf den Ergebnissen einer Forschungsarbeit, die unter Beteiligung verschiedener Institute und Fachleute von der Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit (AGB) durchgeführt und Anfang 1994 vorgelegt wurde [Lit. 1]. Grundlage des Normenvorschlags sind die Ergebnisse umfangreicher Berechnungen, die nach eingehender Diskussion der zu untersuchenden Parameter an der TU Wien durchgeführt wurden. Das verwendete Rechenprogramm MRFC 2.0 wurde eigens für diese Untersuchungen an Großversuchen der Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Karlsruhe, nochmals kalibriert, so daß die Übertragbarkeit der theoretischen Ergebnisse gewährleistet ist.

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen, sowie einen Bemessungsvorschlag zur Berechnung des erforderlichen maschinellen Rauchabzuges in Industriegebäuden und vergleichbaren größeren Hallengeschossen. Er soll dazu dienen, in der Fachöffentlichkeit eine zielorientierte Diskussion über maschinelle Rauchabzüge anzuregen.

## 2 Problemstellung

Rauchabzüge bestehen aus Öffnungsflächen, durch welche im Brandfall Rauchgase aus dem betroffenen Raum ins Freie abgeführt werden können. Für den Aufbau einer Strömung sind außer den Abzugsflächen auch Zuluftflächen erforderlich mit entsprechender geometrischer Zuordnung von Abzug und Zuluft. In kleinen Räumen genügen Fenster als Abzugsflächen – mit Türen als Zuluftflächen. In Kellergeschossen behilft man sich, indem Fenster in Lichtschächte verlegt werden. Das bedeutet, daß bis zu einer gewissen Raumgröße die normale natürliche Lüftung gleichzeitig den Rauchabzug abdeckt.

Bei großen Brandabschnitten oder Hallen ist ein Rauchabzug über Fassadenfenster nicht sehr wirksam, da die Fenster unter Umständen weit vom Brandherd entfernt sind und außerdem eine unerwünschte Verschleppung und Verwirbelung der Rauchgase auftritt. Bei innenliegenden Räumen, großflächigen Zwischengeschossen und vollklimatisierten Industriegebäuden sind ebenfalls vergleichbar ungünstige Verhältnisse zu erwarten. Es sind sogenannte Rauchabzugsanlagen erforderlich. Im Regelwerk wird daher unterschieden zwischen der Rauchabführung über

- thermischen Auftrieb (RA),
- Zwangslüftung, maschinelle Abzüge (MA).

Der vertikale Rauchabzug über thermischen Auftrieb und Öffnungsflächen im Dach ist auf 1-geschossige Gebäude, mehrgeschossige Gebäude mit Entrauchungsschächten und Dachgeschossen beschränkt. Maschinelle Rauchabzüge sind erforderlich bei mehrgeschossigen Gebäuden (mit Ausnahme des Dachgeschosses) für

- innenliegende Räume, bei denen ein Rauchabzug über Schächte (über thermischen Auftrieb) nicht möglich ist oder als nicht ausreichend erachtet wird,
- Räume, bei denen ein Rauchabzug allein über Fensteröffnungen als nicht ausreichend erachtet wird.

Dabei zeigt sich in der Genehmigungspraxis ein großer Ermessensspielraum hinsichtlich der Raumgrößen und Situationen, bei denen ein Rauchabzug verlangt wird und Fenster oder Schächte als nicht ausreichend erachtet werden. Hier besteht eindeutig Regelungsbedarf. Sonderfälle für den Einsatz maschineller Rauchabzüge sind Anlagen, die unter das BImSchG fallen, bei denen die Rauchabführung ins Freie, zumindest bei Kleinbränden, über eine vorhandene Reinigungsanlage führen soll.

## 3 Anwendungsbereich von Rauchabzügen

Rauchabzüge dienen der Flucht und Rettung der im Brandabschnitt vorhandenen Personen sowie zur Rauchfreihaltung für einen gezielten Löschangriff der Feuerwehr. Sie sollen die Rauch-

ausbreitung behindern und für einen möglichst langen Zeitraum rauchgasfreie Bereiche oder Schichten aufrechterhalten. Nach dem Löschen muß dann abgekühlter Rauch aus den betroffenen Bereichen abgeführt werden können.

Bei kleinen Räumen geht die Verrau- chung (wegen des kleinen Volumens) sehr schnell vonstatten und wird auch bei entsprechendem Rauchabzug nicht nennenswert verzögert. Dafür sind in kleinen Räumen nur kurze Wege zu überwinden und ein Löschangriff kann auch von den Türen aus vorgenommen werden. Außer bei sehr frühzeitigem Löschangriff dient der Rauchabzug hier nur der Abführung kalten Rauches nach dem Löschen.

Unter sonst gleichen Bedingungen erfolgt mit zunehmender Raumgröße die Rauchausbreitung langsamer und kann durch entsprechenden Rauchabzug verzögert werden. Wegen längerer Wege und um einen Löschangriff auch innerhalb des Raumes zu ermöglichen, sind möglichst wirksame Rauchabzüge erforderlich. Ein Rauchabzug ist dann am wirksamsten, wenn die Rauchgase möglichst unmittelbar über dem Brandherd abgezogen werden (vertikale Rauchabführung) – z. B. durch Anordnung von Öffnungsflächen im Dach oder bei entsprechenden Zuluftöffnungen –, so daß eine rauchfreie Schicht von 2 bis 3 m Dicke im Brandraum aufrechterhalten werden kann.

Hinsichtlich der möglichen Raumsituation ist zu unterscheiden zwischen Brandabschnitten mit und ohne Öffnungsmöglichkeiten der Fenster oder im Dach. Daraus abgeleitet werden seitens der Verfasser folgende Rauchabzüge vorgeschlagen (siehe Tabelle 3.1).

Der vorliegende Bericht behandelt nur die maschinelle Rauchabfuhr aus Räumen oder Raumbereichen mit mehr als 1600 m<sup>2</sup> Grundfläche. Dabei ist angenommen worden, daß die Räume gemäß den bestehenden Vorschriften mit Türen versehen sind, aus denen jeweils Luft zuströmen kann. Die Anzahl der vorhandenen Türen ist anhand der bestehenden bauaufsichtlichen Vorschriften über Flucht- und Rettungswege festgelegt, d. h. es wurde im allgemeinen das Vorhandensein einer minimalen Anzahl von Türen unterstellt. Bei innenliegenden Räumen müssen entsprechende Nachtströmöffnungen über gesicherte Kanäle oder Schächte mit dem Freien



verbunden sein. Sonderfälle mit maschineller Zuluft wurden nicht untersucht, weil die Funktionsfähigkeit von MA-Anlagen mit regelbarer Zuluft sehr stark vom Brandgeschehen, der Druckverteilung im Raumbereich und der Umgebung abhängt. In allen Fällen muß die Einströmung der Zuluft jedoch im Bereich der rauchfreien Schicht erfolgen.

Die manuelle Fernauslösung (FA) von Rauchabzügen (RA) kann elektrisch oder pneumatisch (Druckluft oder CO<sub>2</sub>) erfolgen. Außer bei CO<sub>2</sub>-Flaschen stellt sich die Frage nach einer Ersatzstromsicherung und bei elektrischer Auslösung die Frage nach dem erforderlichen Schutz der Kabel für etwaige Stellmotoren. Regelwerke wie VdS und VDE sehen hier nur Maximallösungen vor, die aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht immer gerechtfertigt sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine thermische Auslösung am Gerät vorgesehen ist und die Flügel auch dachseitig manuell geöffnet werden können.

## 4 Untersuchungsumfang

### 4.1 Schwerpunkte der Arbeiten

Die Schwerpunkte der Forschungsarbeiten sind in dem gemeinsamen Forschungsantrag der AGB, MPA Dortmund und des Institutes für Haustechnik festgelegt. Die Hauptarbeit der Untersuchungen lag zunächst in der Durchführung und Auswertung von Simulationsrechnungen. Nach eingehendem Studium der vorhandenen Literatur und den darin genannten Einflußgrößen und Parametern stellte sich heraus, daß das Spektrum der zu untersuchenden Einflüsse größer war als ursprünglich angenommen [Lit. 1 bis Lit. 6]. Insgesamt wurden deshalb mehr als 120 Simulationen durchgeführt. Die Zusammenstellung der wesentlichen Rechenergebnisse ist in einem Anhang des genannten Forschungsberichtes [Lit.1] erfolgt.

### 4.2 Festlegung der Untersuchungsparameter

Ausgangspunkt der Arbeiten war die Überlegung, daß die aus dem Bereich der natürlichen Rauchabzüge (RA) gemäß DIN 18 232, Teil 2 abgeleiteten Bemessungswerte sich auf maschinelle Rauchabzüge (MA) nicht übertragen lassen. Es wurde deshalb vereinbart, die erforderlichen Bemessungsgrundlagen aufgrund von Brandsimulationsberechnungen zu ermitteln. Der Geltungsbereich sollte der gleiche sein wie bei DIN 18 232, Teil 2.

Tabelle 3.1: Vorgeschlagene Maßnahmen für Rauchabzüge bei mittlerer Brandgefahr

Raumgröße	< 150 m <sup>2</sup>	150 ... 500 m <sup>2</sup>	500 ... 1600 m <sup>2</sup>	> 1600 m <sup>2</sup>
Fensteröffnung möglich, Öffnungsflächen im Dach nicht möglich	Fenster	Fenster im oberen Drittel	Fenster im oberen Drittel an 2 Seiten	MA Türen **, Schächte und Fenster für Zuluft
Fensteröffnung möglich, Öffnungsflächen im Dach möglich	Fenster	Fenster im oberen Drittel	Fenster im oberen Drittel an 2 Seiten	RA Türen ** und Fenster für Zuluft
Fensteröffnung nicht möglich, Öffnungsflächen im Dach möglich	Dachklappe dachseitig manuell offenbar*	Dachklappe dachseitig manuell offenbar*	RA Türen für Zuluft	RA Türen ** für Zuluft ggf. MZ
Fensteröffnung nicht möglich, Öffnungsflächen im Dach nicht möglich	Schacht 1% der Fläche	Schacht 1% der Fläche	MA Türen für Zuluft	MA Türen ** und Schächte für Zuluft ggf. MZ

- \* bei feuerbeständiger Dachdecke; andernfalls öffnen über einfache Zugstangen  
 \*\* hier sind zunächst Türen ins Freie gemeint; Zuluft aus benachbarten Brandabschnitten ist in Sonderfällen möglich  
 RA Rauchabzugsanlage (DIN 18 232 Teil 2)  
 MA Maschineller Rauchabzug (DIN 18 232 Teil 5)  
 MZ Maschinelle Zuluft (für Sonderfälle)

Tabelle 4.1: Eingabeparameter für die durchgeführten Brandsimulationen mit maschinellem Rauchabzug

Parameter	Referenzwert	weitere Werte
Geschoßfläche, m <sup>2</sup>	2500	5000, 10.000
Geschoßhöhe, m	10	6, 15
Brandfläche, m <sup>2</sup>	20 bis 320	-
spez. Abbrand, kg/m <sup>2</sup> h	60	20, 120
Brandleistung, MW	5 bis 100	-
Rauchabzug, m <sup>3</sup> /h	60.000-360.000	-
Ausbreitung, m/min	1.0	0,3
Zuluft, %	0,32	0,64
Absaugung MA	gleichmäßig	-
Auslösung MA	2 min	keine

Die angewandte Rechenmethode ist in [Lit. 7 bis Lit. 10] beschrieben, weshalb hier darauf nicht eingegangen wird. Wichtiger ist eine Diskussion der gewählten Eingabeparameter, wobei im folgenden die wichtigsten Punkte aufgeführt und erörtert werden (siehe Tabelle 4.1).

Alle Umfassungsbauteile der Brandabschnitte wurden als Betonbauteile angenommen, wobei die Stoffwerte nach [Lit. 17] zur Anwendung kamen. Die Simulationen umfassen Brände in Unter- und Zwischengeschossen von Gebäuden. Bezüglich der technischen Ausbildung der Rauchabfuhr ist in den Simulationen jeweils angenommen, daß

diese im Deckenbereich über gleichmäßig verteilte, flach angeordnete Kanalsysteme oder Lüfter erfolgt. Aus diesem Grunde entfällt die Unterscheidung zwischen Systemen mit gleichmäßig verteilten punktuellen Absaugungsstellen und solchen mit einem Kanalsystem. Die Decken- bzw. Geschoßhöhe ist aus Gründen einer Vereinfachung bis zur Unterkante des Kanalsystems oder des Ansaugstutzens des Rauchgasventilators angenommen worden. Diese Höhe entspricht somit der in der Praxis vorkommenden „wirksamen Absaughöhe“.

Die massive Absaugung durch ein einzeln angeordnetes Gerät wurde nur in einem Fall untersucht. Erwartungsge-



mäß ist die Rauchabsaugung in so einem Fall nur dann gegeben, wenn sich die Rauchsichtgrenze schon praktisch im Bodenbereich befindet. Solange sich die Rauchsichtgrenze ausbildet, wird im wesentlichen kalte Luft gefördert, d. h. die abgesaugte Menge entspricht der Auslegung; sie wird in bezug auf die Rauchabfuhr jedoch nur zu 20 bis 60 % wirksam. Generelle Angaben über den Wirkungsgrad der maschinellen Rauchabfuhr bei nur lokaler Absaugung sind derzeit nur bedingt möglich, weil die Vielzahl der geometrischen Anordnungen umfangreiche Parametervariationen erforderlich machen [Lit. 2, Lit. 3 und Lit. 11].

Die Zuluftöffnungen waren jeweils im Bodenbereich der Brandabschnitte angeordnet bzw. es wurde angenommen, daß es eine ausreichende Anzahl äquivalenter Türöffnungen von maximal 2,0 m Höhe gibt.

### 4.3 Brandszenarien

Die zugrundegelegten Brandszenarien sind auf den Abbildungen 4.1 bis 4.5 zusammengestellt. Als Referenzfall wurde ein Brandraum (Baustoff: Wand, Decke, Fußboden jeweils Beton) von 2500 m<sup>2</sup> Grundfläche und 10 m Höhe angesehen (Abb. 4.1). Für diesen Fall wurde zusätzlich der Einfluß der Höhe auf die Verrauchungszeiten im Bereich von 6 und 15 m untersucht. Der 5000 m<sup>2</sup> Brandbereich wurde als 1-Raum-Modell (analog Abb. 4.2) und auch als 2-Raum-Modell (Abb. 4.2) untersucht. Letzteres ist im allgemeinen der ungünstigere Fall und für die Bemessung entscheidend.

Der 10.000 m<sup>2</sup> große Brandraum wurde als 3-Raum-Modell und auch als 4-Raum-Modell aufgefaßt (Abb. 4.3 bis Abb. 4.5). Aufgrund der unterschiedlichen Anordnung der Brandherde ergeben sich Unterschiede in den Verrauchungszeiten. In den meisten Fällen war das 3-Raum-Modell entscheidend für die Bemessung. In wenigen Einzelfällen (4-Raum-Modell) wurde jedoch festgestellt, daß ein Brand im Eckbereich u. U. relativ schnell zu einer starken Verrauchung von Teilbereichen des Brandabschnittes führen kann.

Sehr ausführlich wurde die in den Brandräumen anzunehmende Energiefreisetzung untersucht. Darüber liegt eine von Ueberall, MPA NRW, erstellte Zusammenfassung aus mehreren Einzelberichten vor [Lit. 12]. Nach den Ergebnissen von Ueberall liegen die mittleren Abbrandleistungen bei Industriebränden nach Theobald [Lit. 4] bei 86 bis 620 kW/m<sup>2</sup>, wobei der rechnerische Mittelwert etwa bei 300 kW/m<sup>2</sup> liegt.

Zum Vergleich dazu hat Ueberall die Abbrandleistungen von über 150 Lagerkonfigurationen, die in der m-Faktor-Prüfanlage geprüft wurden, berechnet.

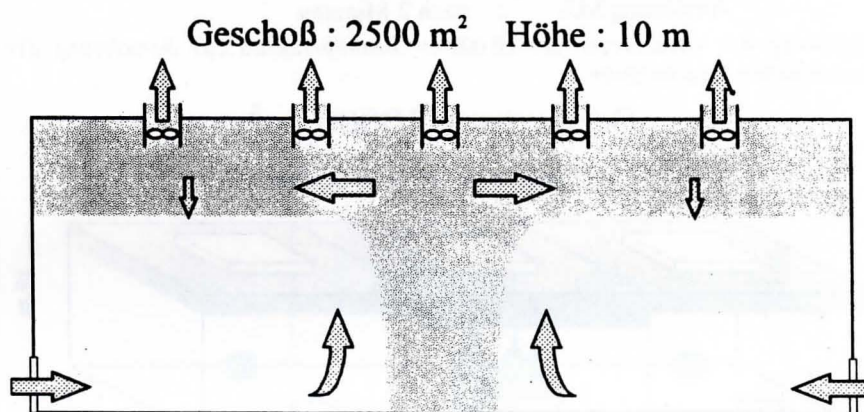
Die gemessenen Leistungen lagen zwischen 10 und ca. 300 kW/m<sup>2</sup>. Ueberall schließt daraus, daß die Abbrandraten im m-Faktor-Brandraum an der Untergrenze der entsprechenden Werte für Brände in höheren und größeren Brandräumen des Industriebaus liegen.

Mit Rücksicht auf die vorliegenden Ergebnisse wurde die Standardabbrandrate in den vorliegenden Untersuchungen auf 60 kg/m<sup>2</sup>h festgelegt. Unter Berücksichtigung des im vorliegenden Falle gewählten Heizwertes von 4,8 kWh/kg (Holz etc.) ergibt sich somit eine Abbrandleistung von 288 kW/m<sup>2</sup>. Als oberster Grenzwert wurden in einigen Szenarien 576 kW/m<sup>2</sup> untersucht. Die untersten Werte lagen bei 96 kW/

m<sup>2</sup>. Die Brandlasten wurden jeweils so hoch angenommen, daß Simulationszeiten von 60 min Dauer realisiert werden konnten.

Bei den Simulationen wurde konservativ angenommen, daß sich der Brandherd von 0,09 m<sup>2</sup> Fläche mit 1,0 m/min, in Einzelfällen auch mit 0,3 m/min, in 4 Richtungen ausbreitet, so daß die vorgegebene Brandfläche bzw. maximale Brandleistung in wenigen Minuten erreicht wird. Die Brandsimulationen wurden über einen Zeitraum von 60 Minuten durchgeführt. Aufgrund der angenommenen Brandausweitung bis maximal 320 m<sup>2</sup> ergaben sich absolute Brandleistungen von knapp 100 MW im oberen Untersuchungsbereich.

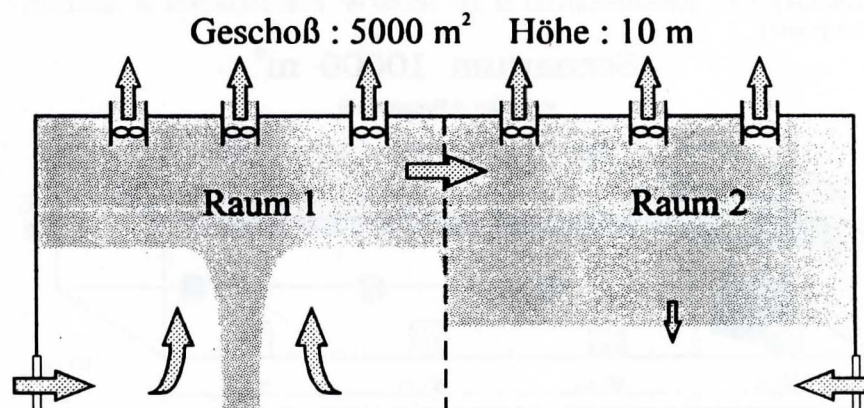
#### 1 - Raum - Modell



- max. Zuluft : 0,64 % (Türöffnungen)
- max. Brandleistung : 11,5 MW (23 MW , 5,7 MW)
- masch. Abzug MA : gleichmäßig verteilt
- Auslösung MA : nach 2 Minuten

Abbildung 4.1: Szenarium des 2500 m<sup>2</sup> Brandbereiches zur Berechnung der maschinellen Rauchabfuhr

#### 2 - Raum - Modell

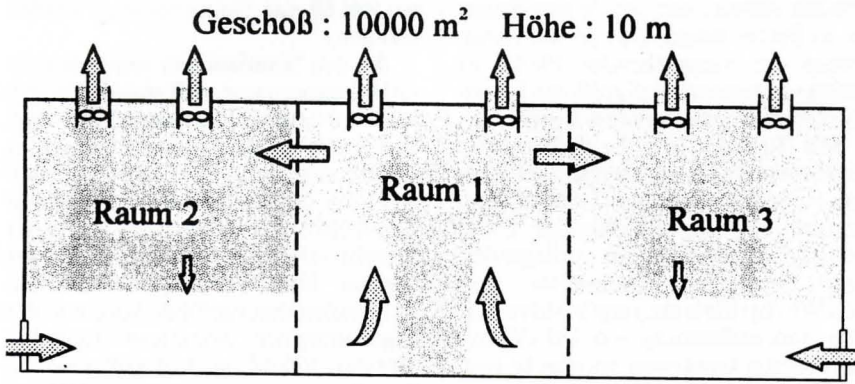


- max. Zuluft : 0,64 % (Türöffnungen)
- max. Brandleistung : 23 MW (46 MW , 11,5 MW)
- masch. Abzug MA : gleichmäßig verteilt
- Auslösung MA : nach 2 Minuten

Abbildung 4.2: Szenarium des 5000 m<sup>2</sup> Brandbereiches zur Berechnung der maschinellen Rauchabfuhr



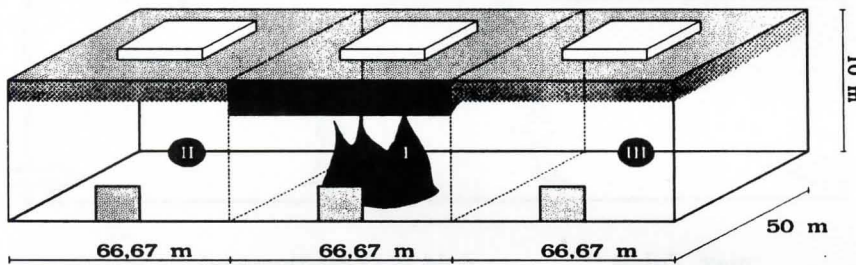
### 3 - Raum - Modell



max. Zuluft	: 0.64 % (Türöffnungen)
max. Brandleistung	: 46 MW (92 MW, 23 MW)
masch. Abzug MA	: gleichmäßig verteilt
Auslösung MA	: nach 2 Minuten

Abbildung 4.3: Szenarium des 10.000 m<sup>2</sup> Brandbereiches zur Berechnung der maschinellen Rauchabfuhr

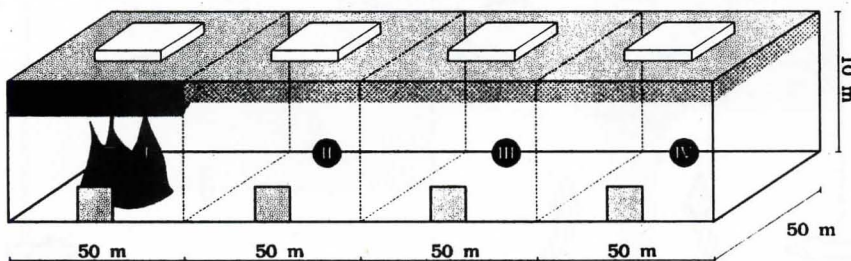
### Scenarium 10000 m<sup>2</sup> virtuelles 3-Raummodell



Zuluft (Fluchttüren)	: 64m <sup>2</sup> 8 x 2*2 m <sup>2</sup>
Brandherd	: 0,3x0,3 m
maximale Brandfläche	: 20 m <sup>2</sup> (40, 80, 160, 320 m <sup>2</sup> )
Abbrandgeschwindigkeit	: 60 kg/m <sup>2</sup> h
Ventilation (nach 2 min)	: 120000 bis 360000 m <sup>3</sup> /h

Abbildung 4.4: Brandszenarium II des 10.000 m<sup>2</sup> Brandbereiches in räumlicher Darstellung

### Scenarium 10000 m<sup>2</sup> virtuelles 4-Raummodell



Zuluft	: 32m <sup>2</sup> 4 x 4*2 m <sup>2</sup>
Brandherd	: 0,3x0,3 m
Brandfläche	: 20 m <sup>2</sup> 260 m <sup>2</sup>
Abbrandgeschwindigkeit	: 20 60 120 kg/m <sup>2</sup> h
Ventilation (nach 2 min)	: 4x30000m <sup>3</sup> 8x30000m <sup>3</sup>

Abbildung 4.5: Brandszenarium III des 10.000 m<sup>2</sup> Brandbereiches in räumlicher Darstellung

Die mittleren Referenzwerte liegen überwiegend in dem Bereich von 10 bis 60 MW. Brandleistungen von >1000 kW/m<sup>2</sup>, wie sie bei intensiven Flüssigkeitsbränden auftreten, wurden nicht untersucht, weil der Heizwert mit 4,8 kW/kg jeweils konstant gehalten wurde. Solange die Brandflächen bei Flüssigkeitsbränden jedoch klein genug bleiben, sind die praktisch vorkommenden Fälle durch die vorliegenden Berechnungen brandleistungsmäßig mit abgedeckt.

Im Hinblick auf die Auslösung der Rauchgasventilatoren wurde grundsätzlich angenommen, daß diese nach 2 min aktiviert werden und mit voller Leistung den vorgegebenen Volumenstrom (0 bis 360.000 m<sup>3</sup>/h) fördern. In wenigen Fällen wurde die Auslösung bereits 30 s nach Brandbeginn aktiviert, wobei der Volumenstrom linear gesteigert wurde, so daß nach 2 min Branddauer die volle Entrauchungsleistung erreicht war.

## 5 Ergebnisse der Parameterstudien

### 5.1 Allgemeine Erkenntnisse über die maschinelle Rauchabfuhr

Alle Berechnungen zeigen [Lit. 1], daß es unter den gewählten Bedingungen relativ rasch zu einer Verrauchung der Brandräume kommt. Dabei spielen die tatsächliche Abbrandleistung und auch die Höhe des maschinellen Rauchabzuges bis zum 10-fachen Luftwechsel keine dominierende Rolle. Die berechneten Sinkgeschwindigkeiten  $R_s$  der Rauchschichten liegen bei 1.2 bis 1.7 m/min (vergl. Abb. 5.1), wobei auf der Abbildung 5.1 erkennbar ist, daß auch die Brandausbreitungsgeschwindigkeit keinen dominierenden Einfluß hat, d. h. bei 0.3 m/min Ausbreitungsgeschwindigkeit liegen die Sinkgeschwindigkeiten immer noch um 0,9 m/min.

Weiterhin wurde festgestellt, daß die maschinelle Rauchabfuhr eine geringe Verzögerung bei der Ausbildung von Rauchschichten bewirken kann. Bei kleinen Brandausbreitungsgeschwindigkeiten ergibt diese Verzögerung bis zu 8 min, wohingegen bei rascher Brandausbreitung lediglich 2 bis 3 min Zeitverzögerung nachgewiesen werden konnte (vergl. Abb. 5.2).

Grundsätzlich ist auch festzustellen, daß sich eine Art stationärer Zustand mit einer rauchfreien Schicht nur dann einstellt, wenn der maschinelle Rauchabzug hoch und die vorgegebene Abbrandleistung relativ klein ist. In



allen anderen Fällen werden die Brandbereiche relativ schnell verrauchte, ohne daß sich stationäre, rauchfreie Schichten von z. B. über 2,0 m Dicke ausbilden [vergl. Lit. 1].

Aus den o. g. Beobachtungen, die im wesentlichen auch bei den Brandsimulationen in größeren Brandabschnitten bestätigt werden konnten, sind u. a. die nachstehend aufgeführten Folgerungen zu ziehen:

- Soweit die Brandbekämpfung nicht deutlich unter 10 Minuten Branddauer beginnt, kann für die Bemessung der maschinellen Rauchabzüge nur ein quasi-stationärer Zustand, der sich nach 20 bis 30 Minuten Branddauer ergibt, als Bemessungswert angenommen werden (analog zu den RA).
- Die Sinkgeschwindigkeiten liegen zwischen 0.5 m/min und 1.7 m/min, wobei der kleinere Wert nur in Brandabschnitten > 5000 m<sup>2</sup> Fläche erreicht wird. Es ist somit davon auszugehen, daß niedrige Geschosse, Parkgeschosse und Kellerräume in Zeiträumen von wenigen Minuten verrauchen und nur bei kleinen Brandleistungen und unter Anwendung extrem hoher Ventilationsleistungen rauchfrei gehalten werden können.
- Rauchschürzen bringen keine Verbesserung der Situation, weil die Sinkgeschwindigkeiten vom maschinellen Rauchabzug dadurch kaum beeinflußt werden. Die vom Brandherd entfernten Bereiche verrauchen u. U. schneller als der Brandnahbereich infolge der Abkühlung und Einmischung von kalter Luft in die im Deckenbereich strömenden Rauchgase, wenn die Unterkante der Rauchschürze zu hoch ist.
- Ein signifikanter Einfluß der Zuluftöffnung auf die Ausbildung der Rauchschichten wurde im Rahmen des hier untersuchten Parameterspektrums nicht festgestellt und ist aufgrund der vergleichsweise i. a. geringen Strömungsgeschwindigkeiten (< 5 cm/s) auch nicht zu erwarten. Wenn die Rauchschichten allerdings auf die Höhe der Zuluftöffnungen herabsinken, dann kommt es praktisch zu einer fast schlagartigen Verrauchung im gesamten Brandbereich bzw. Geschloß.
- Die Wirksamkeit der maschinellen Rauchabzüge nimmt ab, wenn der Rauch nicht gleichmäßig abgesaugt wird, weil bei einer konzentrierten punktuellen Absaugung viel kalte Luft gefördert wird. Ein gleichmäßig verteilter maschineller Rauchabzug, ggf. über Lüftungskanäle im Deckenbereich ist anzustreben.

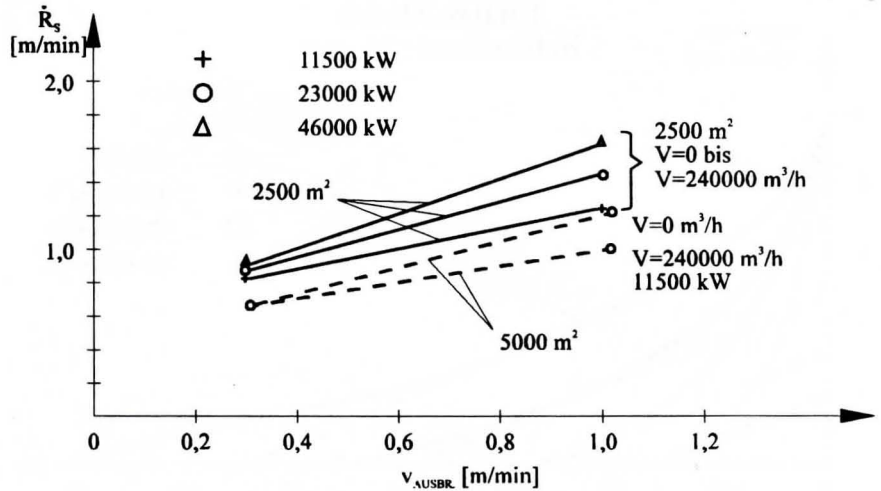


Abbildung 5.1: Berechnete Sinkgeschwindigkeiten der Rauchschichten in 2500 m<sup>2</sup> und 5000 m<sup>2</sup> großen Geschossen bei maschineller Rauchabfuhr

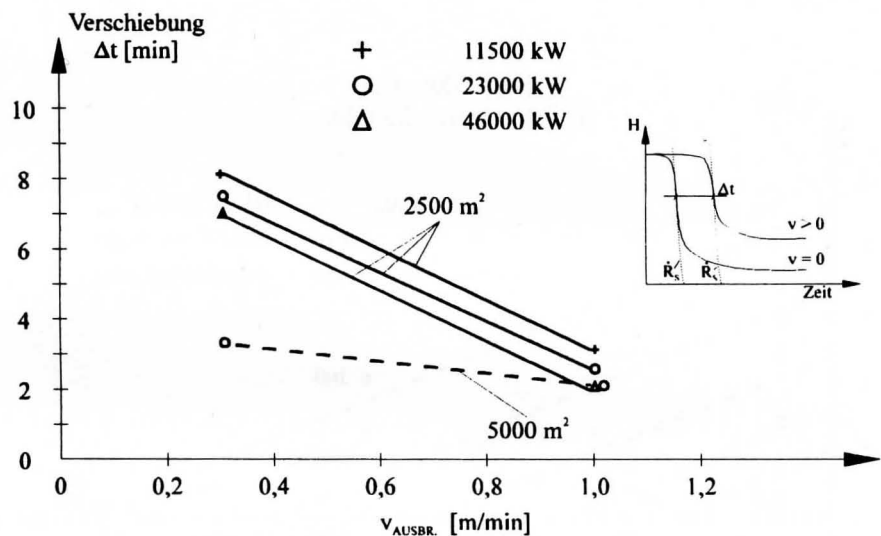


Abbildung 5.2: Zeitliche Verschiebung bis zum Absinken der Rauchschichten infolge der maschinellen Rauchabfuhr

## 5.2 Ergebnisse 2500 m<sup>2</sup> große Brandräume

Aus der Vielzahl der vorliegenden Rechenergebnisse [Lit. 1] ist auf Abb. 5.3 die zu erwartende rauchfreie Schichtdicke  $s_f$  in einem 2500 m<sup>2</sup> großen Brandabschnitt in Abhängigkeit von der Brandleistung und dem maschinellen Rauchabzug angegeben. Alle Werte gelten für quasi-stationäre Bedingungen, die sich nach einer zunächst willkürlich angenommenen Branddauer (Referenzzeit) von rund 25 min eingestellt haben. Entsprechend der erforderlichen rauchfreien Schichtdicke, z. B. 2.5 m für die Brandbekämpfung, lassen sich aus Abb. 5.3 die erforderlichen Ventilationsleistungen direkt entnehmen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß das Brandszenarium, d. h. die zu erwartende spezifische Brandleistung und die maximale

Brandfläche bekannt sind. Die Brandleistung (Brandfläche) wäre somit – wie bei den thermischen Abzügen – Eingangsparameter für eine Bemessung maschineller Rauchabzüge.

Für andere Geschloßhöhen im Brandbereich (siehe Abb. 5.4) wurden nach 25 min Referenzzeit rauchfreie Schichtdicken berechnet, die mit den auf Abb. 5.3 dargestellten Werten gut übereinstimmen, d. h. die gestrichelten Linien auf den Abbildungen 5.3 und 5.4 sind praktisch identisch. Diese Linien stellen jeweils untere Grenzwerte der rauchfreien Schicht für alle Brandleistungen und definierten Volumenströme durch Rauchabzüge dar. Dabei ist zu beachten, daß die Zuluft in den betrachteten Fällen jeweils in Bodennähe (Türöffnungen) nachgeströmt ist.

Daß die Höhe des Brandbereiches auf den absoluten Wert der rauchfreien Schicht nach längerer Branddauer nur einen geringen Einfluß hat, geht auch



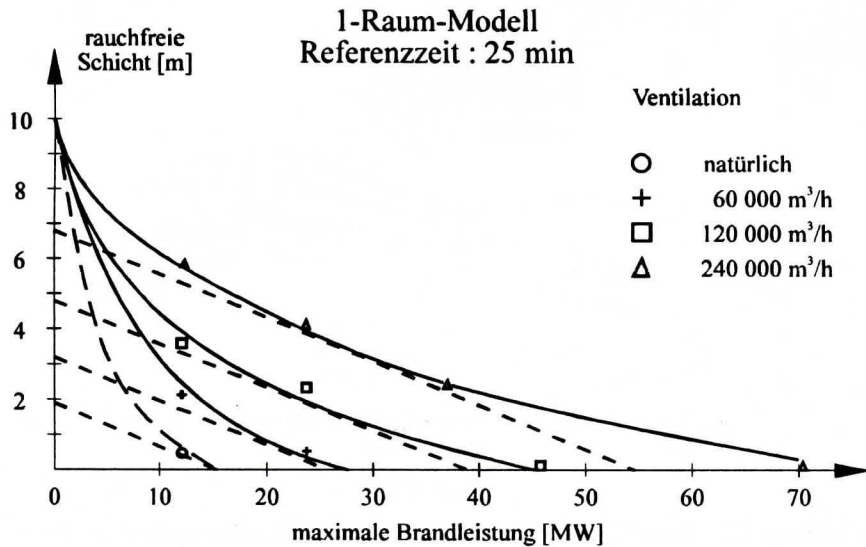


Abbildung 5.3: Entwicklungen der Rauchsicht in einem 2500 m<sup>2</sup> Geschoß von 10 m Höhe bei maschineller Rauchabfuhr

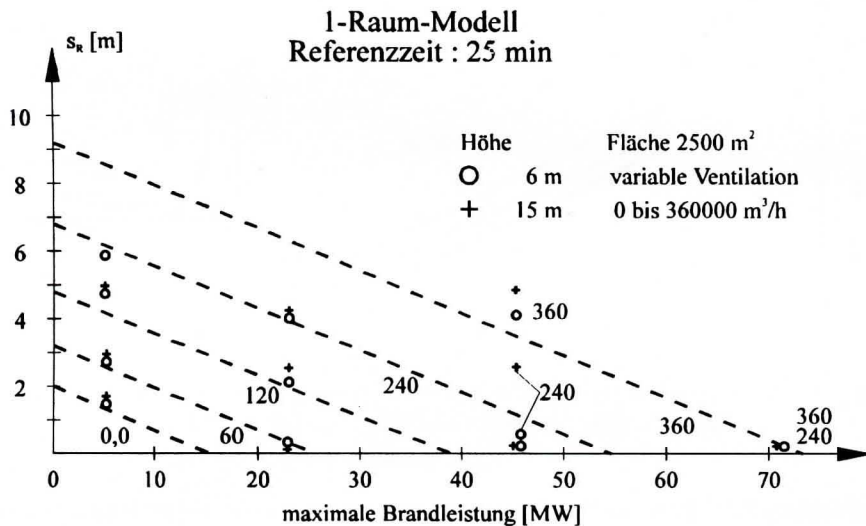


Abbildung 5.4: Entwicklung der Rauchsicht in einem 2500 m<sup>2</sup> Geschoß von 6 und 15 m Höhe bei maschineller Rauchabfuhr

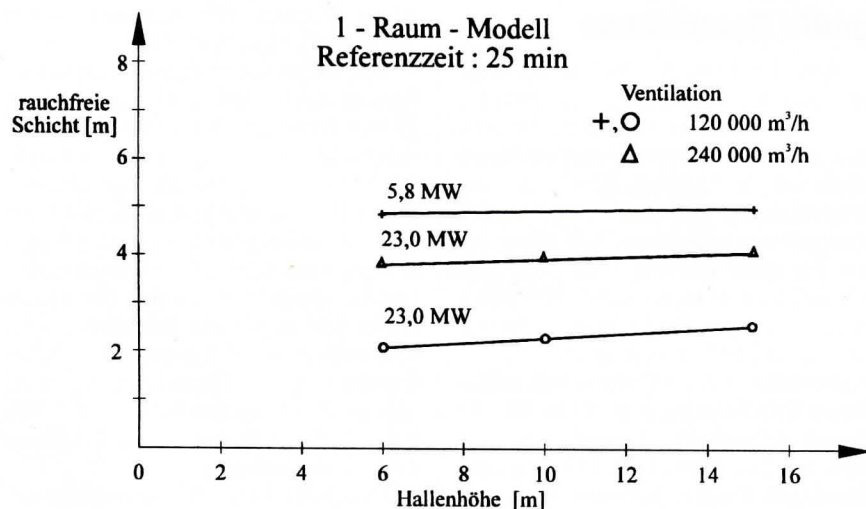


Abbildung 5.5: Einfluß der Hallenhöhe auf die rauchfreie Schicht in einem 2500 m<sup>2</sup> Geschoß bei maschineller Rauchabfuhr

aus der Abbildung 5.5 hervor. Für definitive Abbrandleistungen und Ventilationsbedingungen sind darauf die nach 25 min Branddauer berechneten rauchfreien Schichtdicken angegeben. Man erkennt daran, daß der Höheneinfluß zum Referenzzeitpunkt von 25 min praktisch vernachlässigbar ist in bezug auf die rauchfreie Schicht. Diese Beobachtung ist wichtig im Hinblick auf das zu entwickelnde Bemessungskonzept für maschinelle Rauchabzüge.

### 5.3 Ergebnisse 5000 m<sup>2</sup> große Brandräume

Die Simulationsergebnisse für den 5000 m<sup>2</sup> großen Brandbereich mit 2 Rauchabschnitten sind auf der Abbildung 5.6 dargestellt. Untersucht wurde wiederum der Zeitpunkt nach 25 min Branddauer; also der quasi-stationäre Zustand. Prinzipiell ergaben sich ähnliche Abhängigkeiten wie bei den 2500 m<sup>2</sup> großen Brandbereichen. Das untersuchte 2-Raum-Modell liefert konservative Werte für die Verrauchung, d. h. der virtuelle Raum 2 im Modell war immer schneller verraucht als der Brandraum selbst. Es zeigt sich hier, daß die Anordnung von Rauchschürzen eine Verrauchung ggf. beschleunigt und zwar dann, wenn die Rauchsicht die Schürze unterwandert und durch die Einmischung von kalter Luft in die Rauchgase ein großes Volumen abgekühlten Rauches entsteht. D. h., anstelle zu „kurzer“ Rauchschürzen sollten besser keine Rauchschürzen angeordnet werden, soweit die Brandmeldung gesichert ist.

Auch in diesem Beispiel ließen sich die Rechenwerte durch eine Schar von Geraden als untere Grenzwerte abschätzen. Es ist interessant festzustellen, daß die Steigungen der Geraden mit den Steigungen der Grenzgeraden der Abbildungen 5.3 und 5.4 praktisch übereinstimmen. Lediglich die Achsenabschnitte A (P = 0) für die rauchfreie Schichtdicke  $s_r$  führen zu unterschiedlichen Werten.

### 5.4 Ergebnisse 10 000 m<sup>2</sup> große Brandräume

Eine Untersuchung der Simulationsergebnisse der 10.000 m<sup>2</sup> großen Brandräume hat zu ähnlichen Ergebnissen geführt, d. h. alle Rechenwerte lassen sich durch eine Geradenschar mit konstanter Steigung, die den Steigungen der Abbildungen 5.3, 5.4 und 5.6 entspricht, als untere Grenzwerte abschätzen (vergl. Abb. 5.7). Die Grenzwerte sind bei Brandleistungen kleiner 10 MW und



### 2-Raum-Modell Referenzzeit : 25 min

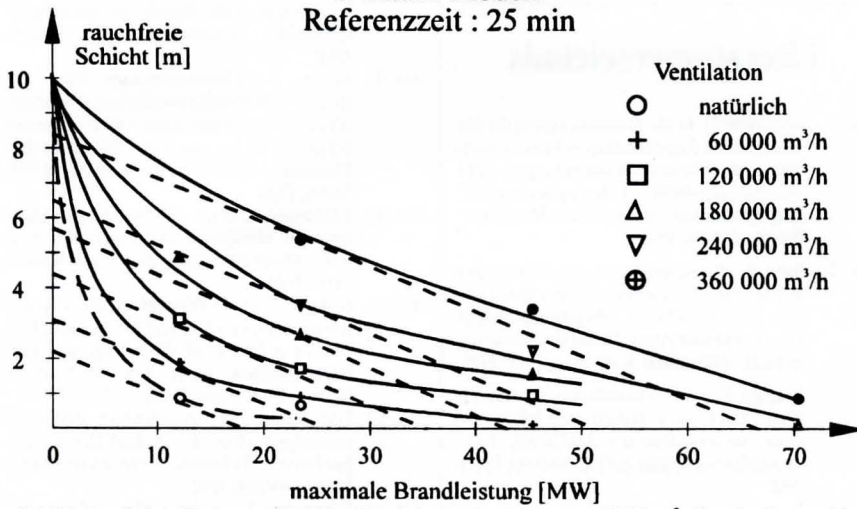


Abbildung 5.6: Entwicklung der Rauchsicht in einem 5000 m<sup>2</sup> Geschoß von 10 m Höhe bei maschineller Rauchabfuhr

### 3-Raum-Modell Referenzzeit : 25 min

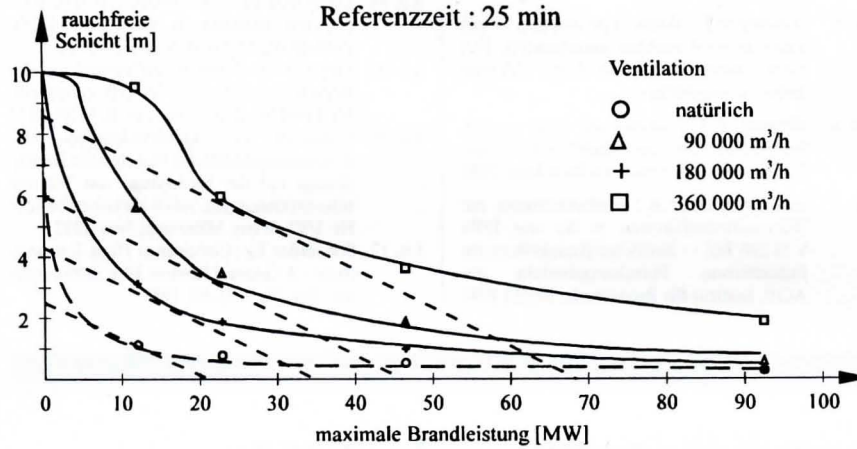


Abbildung 5.7: Entwicklung der Rauchsicht in einem 10.000 m<sup>2</sup> Geschoß von 10 m Höhe bei maschineller Rauchabfuhr

Tabelle 5.1: Berechnung der rauchfreien Schichtdicken  $s_r$  in 10.000 m<sup>2</sup> großen Brandräumen mit Rauchschürzen nach 25 min Branddauer

Leistung, [kW] (Brandfläche)	Ventilation [*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /h]	$s_r$ [m] Fall A	$s_r$ [m] Fall B	$s_r$ [m] Fall C
11.520 (40 m <sup>2</sup> )	0,0	1,1	1,0	1,3
	90,0	3,1	-	-
	180,0	5,4	6,1	5,4
	360,0	9,6	8,0	8,8
23.040 (80 m <sup>2</sup> )	0,0	0,8	-	-
	90,0	1,9	-	-
	180,0	3,1	-	-
	360,0	6,0	-	-
46.080 (160 m <sup>2</sup> )	0,0	0,6	0,5	0,5
	90,0	0,9	-	-
	180,0	1,8	3,7	0,6
	360,0	3,6	4,8	3,0
92.160 (320 m <sup>2</sup> )	0,0	0,2	0,2	0,1
	90,0	0,3	-	-
	180,0	0,3	0,3	0,6
	360,0	1,8	3,2	1,2

größer 30 MW immer auf der sicheren Seite. Diese Aussage gilt für alle untersuchten Brandszenarien und Brandräume.

Für die 10.000 m<sup>2</sup> Brandräume wurden neben dem 3-Raum-Modell auch 4-Raum-Modelle gemäß Abbildung 4.5 untersucht.

Unterschieden wurden:

- Fall A: 3-Raum-Modell, Brand in der Mitte
- Fall B: 4-Raum-Modell, Brand in Raum I
- Fall C: 4-Raum-Modell, Brand in Raum II

In Abhängigkeit von der Abbrandleistung und Ventilation wurden für eine Referenzzeit von 25 min die in der Tabelle 5.1 angegebenen Werte ermittelt. Die fiktiv angenommenen Rauchschürzen der einzelnen Raumbereiche waren nur 1,0 m hoch. Angegeben ist jeweils der ungünstigste Fall, d. h. die kleinste Schichtdicke  $s_r$  in dem betrachteten Fall. In allen Fällen waren die benachbarten Rauchabschnitte stärker verrauchte als der eigentliche Brandbereich.

Aus der Tabelle 5.1 geht hervor, daß die Fälle B und C bis auf eine Ausnahme (46.080 kW/h, 180.000 m<sup>3</sup>/h) praktisch von dem Fall A abgedeckt werden. Es ist zu beachten, daß der o. g. nicht erfaßte Wert bei 0,6 m, weit unter einer möglichen Bemessungsgrenze von z. B. 2,5 m, liegt. Insoweit kann gesagt werden, daß die bei unterschiedlicher Lage des Brandherdes berechneten Rauchschichtdicken in 10.000 m<sup>2</sup> großen Brandbereichen von den mit dem 3-Raum-Modell erzielten Ergebnissen abgedeckt sind.

## 5.5 Ergebnisse der Temperaturberechnungen

Bezüglich den zu erwartenden mittleren Rauchgastemperaturen in der oberen Rauchgasschicht kann gesagt werden, daß bei einem 2500 m<sup>2</sup> großen Brandraum im Mittel im allgemeinen Temperaturen von weniger als 300 °C zu erwarten sind. Nur in wenigen Ausnahmefällen wurde die 300 °C-Grenze überschritten. Dies war bei sehr großen Brandflächen (> 160 m<sup>2</sup> und/oder sehr hoher spezifischer Abbrandgeschwindigkeit 120 kg/m<sup>2</sup> h (576 kW/m<sup>2</sup>) der Fall. Bei einem mittleren Abbrand von 300 kW/m<sup>2</sup> und Brandflächen bis 80 m<sup>2</sup> wird die 300 °C-Grenze in keinem Fall überschritten.

Die obige Aussage gilt auch für die 5000 und 10.000 m<sup>2</sup> großen Brandräume. Die 300 °C-Grenze wurde lediglich bei Brandflächen ab 260 m<sup>2</sup> und Abbrandleistungen von 288 kW/m<sup>2</sup> teilweise überschritten. Bei allen übrigen Simulationen wurde diese Grenze nicht erreicht.



Die höchste Mitteltemperatur, die überhaupt berechnet wurde liegt bei knapp 400 °C.

Die Temperaturergebnisse sind insofern wichtig, weil daraus hervorgeht, daß die Bemessungswerte für die Ventilatoren sehr stark von den angenommenen Brandszenarien abhängen. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand scheint es so zu sein, daß zumindest für große Brandbereiche die 300 °C-Grenze ein vernünftiger Wert ist. Ventilatoren für 600 °C heiße Rauchgase setzen Brandszenarien voraus, die weit über den hier zugrunde gelegten Werten liegen und kurze Branddauern sich ehestens auf lokale Brandeffekte beziehen. Inwieweit unter solchen Bedingungen eine Rauchfreihaltung tatsächlich möglich ist, ist nicht bekannt. Zu vermuten ist, daß Ventilatoren dieser Art eher zur Wärmeentlastung der Konstruktion als zur Rauchfreihaltung beitragen.

*(Fortsetzung in Heft 4/94)*

*U. Schneider, C. Lebeda,  
U. Max, M. Kersken-Bradley,  
Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit,  
Bruchsal,  
München,  
Wien*

## Literaturverzeichnis

- Lit. 1 Schneider U. et al.: Bemessungsregeln für maschinelle Rauchabzüge auf der Grundlage von Wärmebilanzrechnungen. IfBt Forschungsbericht, Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit AGB, Wien/München/Bruchsal, Nov. 1993
- Lit. 2 John, R.: Rauchabführung aus hohen und weitläufigen Bauwerken im Brandfall für den Personenschutz. Forschungsbericht Nr. 79, Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Universität Karlsruhe, Dez. 1991
- Lit. 3 Kramer, C. et al.: Grundlagen zur Bemessung maschineller Rauch- und Wärmeabzüge. Abschlußbericht 3/1/17/88, Strömungslaboratorium der FH Aachen, März 1988
- Lit. 4 Theobald, C.R.: Growth and development of fire in industrial buildings. CP 40/78, BRE Fire Research Station, Borehamwood, 1978
- Lit. 5 Hinkley, P.L.: Rates of production of hot gases in roof venting experiments. Fire Safety Journal 10, page 57-65, Elsevier Sequoia, Amsterdam
- Lit. 6 Hinkley, P.L.: Smoke and heat venting NFPA Fire Protection Handbook, Section 2, Chapter 3, p 2-33 to 2-44, New York, 1985
- Lit. 7 Schneider, U. et al.: Neuberechnung der Wärmeabzugsfaktoren  $w$  für die DIN V 18 230 Teil 1 – Baulicher Brandschutz im Industriebau. Forschungsbericht der AGB, Institut für Bautechnik, Berlin 1990
- Lit. 8 Max, U.: Zur Berechnung der Ausbreitung von Feuer und Rauch in komplexen Gebäuden. Dissertation GhK, Kassel, 1990
- Lit. 9 Heins, T.: Untersuchungen über die Brand- und Rauchentwicklung in unterirdischen Verkehrsanlagen – Katastrophenschutz in Verkehrstunneln. Schriftenreihe Forschung des BM f. RB u. S., Heft Nr. 481, Bonn, 1990
- Lit. 10 Schneider, U. et al.: Flucht- und Rettungswege in Gebäuden der Automobilindustrie. Abschlußbericht der AGB, Kassel, Sept. 1989
- Lit. 11 Kramer, C. et al.: Windeffects on heat and smoke control of industrial buildings in case of a fire. J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, 36, p. 499-508, Elsevier Science Publ. Amsterdam
- Lit. 12 Ueberall, T.: Untersuchungen und Auswertungen über die Abbrandleistungen bei Industriebränden, (persönliche Mitteilung), Erwitte, 1992
- Lit. 13 Schneider, U. et al.: Beurteilung der Wirksamkeit maschineller Rauchabzüge. Bundesbaublatt, Heft 7, S. 556-561, Juli 1993
- Lit. 14 Thomas, P.H.: Über neuere Untersuchungen von Bränden an Modellen. VFDB-Zeitschrift, 10, Nr. 4, S. 146-154, 1961
- Lit. 15 Seeger, P.G.: Über Modellversuche in der Brandschutztechnik. VFDB-Zeitschrift, Nr. 1 und Nr. 2, S. 37-44 und S. 91-94, 1970
- Lit. 16 Schneider, U.: Kersken-Bradley, M.: Bemessungsregeln für maschinelle Rauchabzüge auf der Grundlage von Wärmebilanzrechnungen. AGB Zwischenbericht Nr. 1/92, Wien, München, Nov. 1992
- Lit. 17 Schneider, U.: Concrete at High Temperatures – A General Review. Fire Safety Journal, No. 13, p. 55-68, 1988

# Umweltschutz nach Brandschäden Leitlinie zur Bodensanierung

Dr. Günter Roßmann

Am 25. und 26. Januar 1994 veranstaltete der Verband der Sachversicherer e.V. (VdS) in Köln erneut eine Fachtagung zum Thema „Sanierung von Brandschäden“. In 17 Fachvorträgen beleuchteten Wissenschaftler, Behördenvertreter, Sachverständige, Sanierer und Versicherer in den Themenblöcken

- Brandschäden und deren Auswirkungen,
- Empfehlungen zur Brandschadensanierung,
- Brandschadensanierung aus der Sicht der Versicherer,
- Sanierungstechniken für Gebäude, Inhalt und Boden,
- Entsorgungsmanagement sowie
- Sanierung und Betriebsunterbrechung

das komplexe Thema der Brandschadensanierung. Über 400 Fachleute und andere an der Brandschadensanierung Interessierte haben an dieser VdS-Fachtagung teilgenommen.

Es wurden die Effizienz bisheriger Sanierungsabläufe, -ziele und -verfahren, die Interventionswerte und die noch ungelöste Grenzwertproblematik im Zusammenhang mit der Frage nach Richtigkeit und Reproduzierbarkeit gebräuchlicher Meßmethoden erörtert. Ziel war es, entsprechende Folgerungen für eine künftig dem tatsächlichen Gefahrenpotential und Schadenausmaß angepaßte Brandschadensanierung abzuleiten.

## Umweltschutz

Nur zu oft bestimmt die Umweltproblematik die Schadenentwicklung in der Feuer- und in der Feuer-Betriebsunterbrechungsversicherung, denn ohne brandbedingten Störfall könnten sich viele umweltgefährdende Stoffe überhaupt nicht bilden oder frei werden.

Immerhin kann unter Brandbedingungen aus zunächst als unbedenklich eingestuften Stoffen, Waren und Bauteilen eine komplexe Vielfalt an Verbrennungsprodukten und Rückständen entstehen, deren Gefahrenpotential nur schwer einzuschätzen ist. Derartige Risiken und Unwägbarkeiten erschweren nicht nur die Arbeit der Einsatzkräfte, sondern erfordern auch einen erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwand für Beurteilung, Sanierung, Aufräumung und Entsorgung der Brandschadensstelle. Versicherungsnehmer, Versicherer, Sachverständige und Sanierungsunternehmen müssen sich diesen Herausforderungen gleichermaßen stellen.

*Dr. Günther Roßmann,  
Verband der Sachversicherer e.V.,  
Leiter des Referates Umwelt,  
Köln*