

# Nachweis anspruchsvoller Entrauchungskonzepte

Die Ingenieurmethoden im Rahmen der brandschutztechnischen Nachweisführung rücken immer stärker in den Vordergrund – allen voran die Brandsimulationen. In Gebäuden, in denen die Vorgaben des Brandschutzrechts nicht vollumfänglich umgesetzt werden (können), geben Brandsimulationen Antworten auf Fragestellungen hinsichtlich der Wirksamkeit der Entrauchung, Personensicherheit und Bauteilbeanspruchung und können so zu schutzzielorientierten Lösungen führen.

Claudia Book und Matthias Siemon

**B**randsimulationen kommen immer dann zur Anwendung, wenn das vorliegende Gebäude von den präskriptiven Vorgaben des Baurechts abweicht.

Insbesondere steht die Untersuchung folgender allgemeiner Zielsetzungen im Fokus:

- Berechnung der Rauchausbreitung (Entwicklung von Entrauchungskonzepten, Nachweis der wirksamen Entrauchung, Beurteilung der Personensicherheit im Brandfall)
- Berechnung der Temperatur- bzw. Wärmestrombeanspruchung auf Bauteile / Personen / angrenzende Brandlasten.

Die für die Untersuchung zur Verfügung stehenden deterministischen Brandmodelle reichen von einfachen, mit einer Handrechnung beziehungsweise einem Excel-Sheet lösbaren empirischen Gleichungen (z.B. Plume-Formeln für einen lokal begrenzten Brand) über Zonenmodelle bis hin zu komplexen Feldmodellen (engl. «Computational Fluid Dynamics», CFD-Modelle), welche die zu lösenden Gleichungssysteme mithilfe von Kontrollvolumen (räumlich) und Zeitschritten (zeitlich) diskretisiert näherungsweise lösen. Alle Modelle basieren auf der gleichen physikalischen Grundlage, den Erhaltungssätzen von Masse, Impuls und Energie.

Die Wahl des geeigneten Modells hängt unter anderem von der benötigten Genauigkeit der Aussage, der Kom-

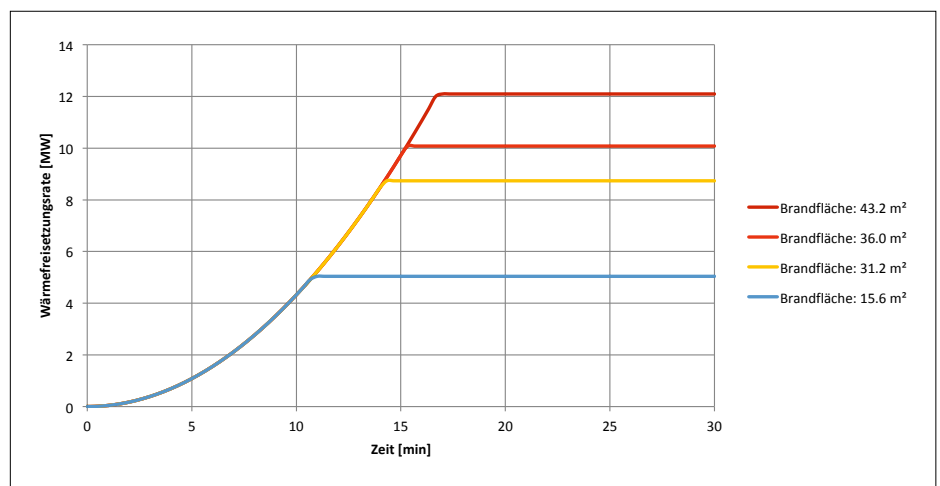


Abb. 1: Brandleistung bei Brand verschieden grosser Aussenrestaurationsflächen.

plexität des Gebäudes sowie der zur Verfügung stehenden Zeit ab. So liefern Zonenmodelle hinreichend genaue Aussagen für einfache Geometrien kleiner und mittlerer Grösse in sehr kurzer Zeit. Sie unterstellen eine klare Trennung der oberen heissen Rauchgasschicht und der darunter liegenden kälteren raucharmen Schicht, wobei jede dieser beiden Schichten eine einheitliche mittlere Temperatur aufweist. Der Transport von Energie und Masse aus der kalten in die Heissgasschicht wird über Plume-Gleichungen beschrieben.

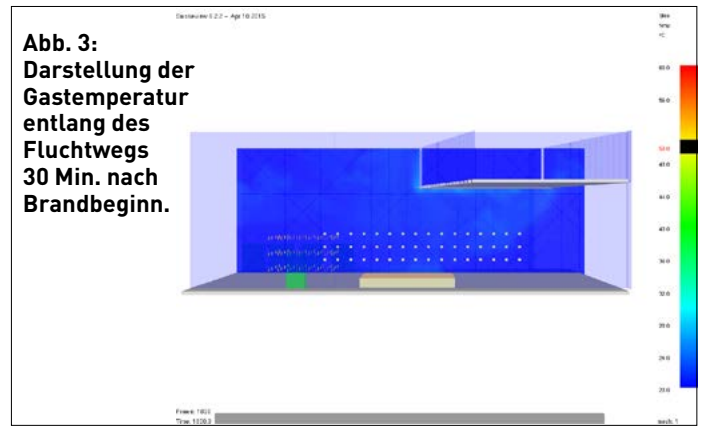
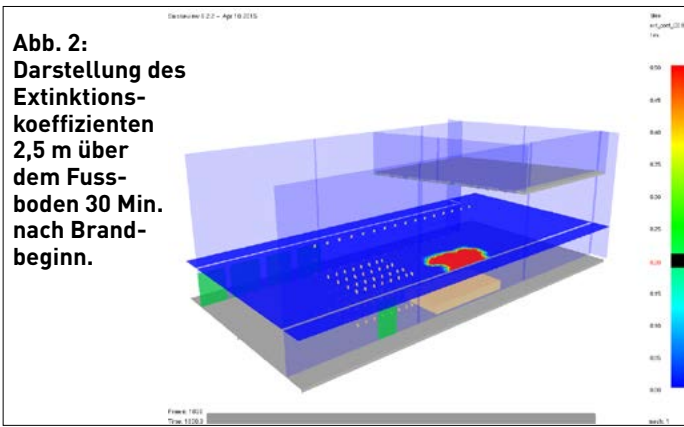
Sind lokale Strömungseigenschaften von Interesse, sollen der Einfluss von Zu- und Abluftströmungen auf die Rauchschicht genauer abgebildet oder komplexe Gebäudesituationen (z.B. Atrien) modelliert werden, ist die Anwendung von Feldmodellen heutiger Stand der Technik. Bevor jedoch das geeignete

Modell gewählt wird, ist der zu untersuchende, von den Brandschutzrichtlinien abweichende Tatbestand festzuhalten und die davon betroffenen allgemeinen Schutzziele zu identifizieren. Im Anschluss daran kann die Nachweisstrategie festgelegt werden.

## Schutzziele, Planungsziele, Leistungskriterien

Die nachzuweisenden allgemeinen Schutzziele ergeben sich einerseits aus den öffentlich-rechtlichen sowie privatrechtlichen Anforderungen (Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF), andererseits aus betriebswirtschaftlichen Vorgaben des Betreibers respektive Besitzers. Die sich aus Artikel 8 der Brandschutznorm ergebenden Schutzziele sind:

- Sicherheit von Personen und Tieren gewährleisten



- Entstehung von Bränden und Explosionen vorbeugen, Ausbreitung von Flammen, Hitze und Rauch begrenzen
- Ausbreitung von Feuer begrenzen
- Tragfähigkeit über einen bestimmten Zeitraum sicherstellen
- Wirksamkeit von Brandbekämpfung und Sicherheit der Rettungskräfte gewährleisten

Mögliche Schutzinteressen vonseiten des Betreibers/ des Besitzer können unter anderem sein:

- Betriebsunterbrechungen möglichst gering halten
- vollständiger Verlust des Gebäudes und/oder des Inhalts vermeiden

Aus den allgemeinen Schutzzielen lassen sich die funktionalen Schutzziele ableiten, die wiederum durch Planungsziele näher definiert werden. Anhand von Leistungskriterien, welche konkrete Grenzwerte darstellen und auf physikalischen Grundlagen basieren, werden die Planungsziele quantifiziert, sodass der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele

auf der Ebene eines Soll-Ist-Abgleichs geführt werden kann.

Ein bekanntes Beispiel für die Konkretisierung von Schutzzielen und Leistungskriterien ist das allgemeine Schutzziel der Gewährleistung der Sicherheit von Personen, das in das funktionale Schutzziel der Gewährleistung der Selbstrettung überführt wird. Als Planungsziel wird dann die Gewährleistung einer ausreichend hohen raucharmen Schicht festgelegt, welche nach Brandschutzrichtlinie (BSR) 27-15de mit dem Extinktionskoeffizienten  $0,2 \text{ m}^{-1}$  auf einer Höhe 2,5 m als Leistungskriterium quantifiziert wird. Dies ist über eine Brandsimulation nachzuweisen.

Ferner ist zum Nachweis der Personensicherheit noch die auf die flüchtenden Personen einwirkende thermische Belastung zu untersuchen. Diese ergibt sich einerseits aus der Gastemperatur (Grenzwert  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  in der raucharmen Schicht), kann aber auch über das Leistungskriterium der auf die Personen einwirkenden Wärmestrahlung ( $2,5 \text{ kW/m}^2$ ) nachgewiesen werden.

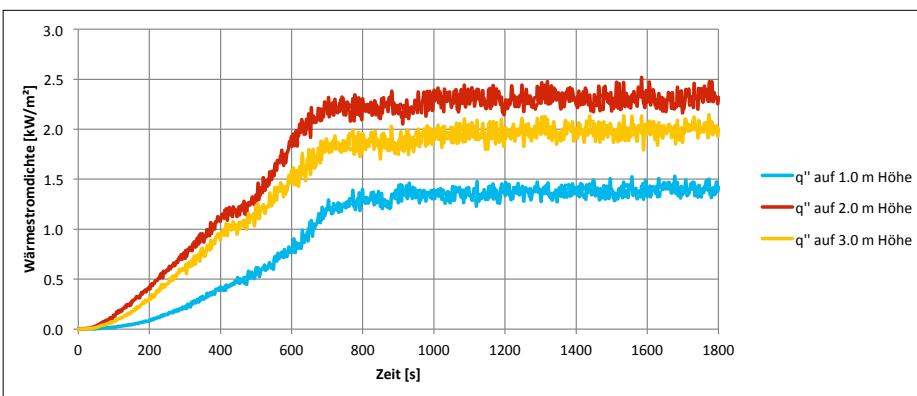


Abb. 4: Darstellung der Wärmestromdichte auf verschiedenen Höhen der jeweils massgebenden Messstelle über die Simulationszeit.

### Brandszenarien und Bemessungsbrände

Die Ergebnisse von Brandsimulationen werden massgeblich von den getroffenen Annahmen zu Brandausbreitung, Brandgut und -ventilation beeinflusst. Daher ist besonderes Augenmerk auf die Ableitung von nachweisrelevanten Brandszenarien und den dazugehörigen Bemessungsbränden zu legen. So kann zum Beispiel für die Beurteilung der Personensicherheit ein niedrigerenergetischer Brand relevant werden, der bei verzögerter Detektion und nicht ausgelöster Löschanlage zu einer kritischeren Verrauchung führt als ein Hochenergiebrand ( $> 1 \text{ MW}$ ). Wieder andere Brandszenarien (Vollbrände) werden bei Nachweisen der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen massgebend.

Zur Festlegung nachweisrelevanter Brandszenarien werden zunächst die gebäudespezifischen Randbedingungen inklusive der haus- und brandschutztechnischen Einrichtungen erfasst. Anhand dieser können die Bemessungsbrände unter Berücksichtigung seiner Entwicklung (Ausbreitung, Ventilationsbedingungen), der vorhandenen Brandlasten (Art und Menge sowie Lagerungsart der brennbaren Stoffe) sowie äusserer Einwirkungen (Löschmassnahmen) definiert werden. Während beispielsweise das Vorhandensein einer automatischen Löschanlage direkten Einfluss auf das Brandgeschehen hat (Begrenzung der Brandausbreitung bis hin zur Reduzierung der Brandleistung), haben andere anlagentechnische Brandschutzmassnahmen eine indirekte Wirkung auf den Brandverlauf. Nach Detektion eines Brandereignisses über eine Brandmeldeanlage (BMA) werden zum Beispiel über die Brandfallsteuerung die

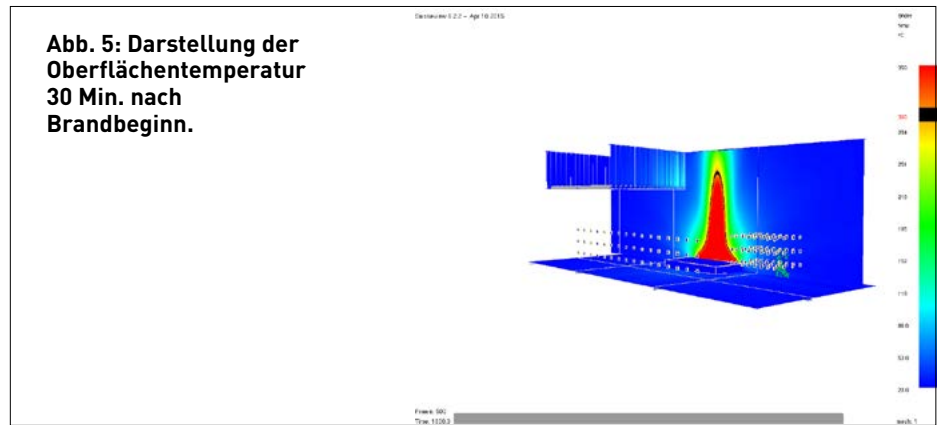
Zuluftöffnungen geöffnet, die Rauchgasventilatoren aktiviert beziehungsweise die Abströmöffnungen geöffnet oder eine BMA-angesteuerte Löschanlage aktiviert.

Bei der Festlegung des Bemessungsbrandes ist das Ziel, das massgebende Brandereignis im Sinne eines «worst credible»-Szenarios zu definieren.

Die zu erwartende Brandleistung hochenergetischer Brände wird überwiegend mit dem international weit verbreiteten  $t^2$ -Ansatz modelliert. Dieser Ansatz unterstellt eine quadratische Zunahme der Wärmefreisetzungsrate über das betrachtete Zeitintervall. Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit, definiert als Zeit bis zum Erreichen einer Brandleistung von 1 MW, liegt dabei unter Berücksichtigung der Nutzung und der zu erwartenden Brandlast für typische Brandlasten im Hochbau zwischen «langsam», (600 s bis 1 MW) und «sehr schnell» (75 s bis 1 MW). Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Wärmefreisetzungsrate verschieden grosser Brandorte mit derselben flächenspezifischen Wärmefreisetzungsrate und Brandausbreitungsgeschwindigkeit als Eingangswert für die nachfolgende Untersuchung.

Das nachzuweisende Schutzziel war die Gewährleistung der Personensicherheit im Brandfall. Abweichend zu den Vorgaben der BSR 16-15de führte der Fluchtweg aus einem vertikalen Fluchtweg über einen Innenhof ins Freie, der in Teilbereichen als Aussenrestaurationsfläche eines angrenzenden Restaurants genutzt werden sollte. Da dieser Innenhof teilweise überdacht ist, kann er nicht als «das Freie» im Sinne des Brandschutzes angesehen werden. Anhand einer Brandsimulation wurde untersucht, ob die Benutzbarkeit des Fluchtwegs über den Innenhof durch einen Brand der Aussenrestaurationsfläche beeinträchtigt wird. Dazu wurde 30 Minuten nach Brandbeginn die Verrauchung auf der massgebenden Höhe von 2,5 m untersucht (siehe Abb. 2) und zusätzlich die Temperatur- und Wärmestrombeaufschlagung entlang des Fluchtwegs (Abb. 3 und Abb. 4) ausgewertet. Zusätzlich wird die Temperatur- und Wärmestrombeaufschlagung an die über dem Durchgang befindlichen Gebäudeteile bestimmt, um eine Gefährdung des Durchgangs als Fluchtweg im Fall eines Brandereignisses im Innenhof auszuschliessen (Abb. 5).

**Abb. 5: Darstellung der Oberflächentemperatur 30 Min. nach Brandbeginn.**



Die ausgewerteten Leistungskriterien blieben auf den massgebenden Höhen und Schnitten über den nachzuweisenden Beurteilungszeitraum jeweils unterhalb des festgelegten Grenzwertes. Daher konnte nachgewiesen werden, dass unter einer bestimmten Anordnung der Aussenrestaurationsflächen keine Bedenken hinsichtlich der Personensicherheit beim Benutzen des Fluchtwegs über den Innenhof bestehen. Das Restaurant kann wie geplant die Flächen im Innenhof als Aussenrestaurationsflächen nutzen.

### Fazit und Ausblick

Mittels Brandsimulationen können bei Berücksichtigung der Anwendungsgrenzen verlässliche Aussagen über die Auswirkungen eines möglichen Brandereignisses auf die Verrauchung und Temperaturverteilung im Brandraum getroffen werden. Bei der Anwendung von Brandsimulationen als Leistungsnachweis sind die Vorgaben und Anforderungen der Brandschutzrichtlinie (BSR) 27-15de zu beachten, damit die Ergebnisse, Aussagen und eventuelle Folgemaassnahmen nachvollziehbar und plausibel sind. Üblicherweise werden Brandsimulationen für den Leistungsnachweis von Planungsaspekten schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte benötigt.

Mit dem Fortschreiten der Rechenleistung und der Weiterentwicklung der Simulationsmodelle kann heute eine Vielzahl von brandschutztechnischen Fragestellungen hinreichend genau untersucht werden. Dabei sind jedoch immer die Anwendungsgrenzen der Submodelle der Programme zu beachten. So ist die Wechselwirkung zwischen einem Brandereignis und der Wasserbeaufschlagung einer Löschan-

lage ein hochkomplexes physikalisches Problem. Die Modelle zur Abbildung der Verdampfung der Wassertröpfchen in Kombination mit den aufsteigenden Rauchgasen und der Einfluss auf die Rauchausbreitung sind aktuell noch nicht hinreichend validiert. Auch die hochkomplexe Reaktionskinetik bei Brand von festen Mischbrandlasten kann bei Anwendung aktueller CFD-Simulationsmodelle für praxisrelevante Nachweise nur stark vereinfacht abgebildet werden. Die Entstehung von Russ und weiteren, unter Umständen toxischen Rauchgasbestandteilen wird daher über konservative Annahmen auf der sicheren Seite liegend angenommen. ■



**CLAUDIA BOOK**

Projektingenieurin Brandschutz  
Gruner GmbH, Stuttgart

**DR.-ING. MATTHIAS SIEMON**

Leiter Abteilung Brandschutz,  
Ingenieurmethoden, Gruner AG