

# Brandsimulation im Praxistest

**Simulation:** Am Beispiel alternativer Rauchrückhaltemaßnahmen in unterirdischen Verkehrsanlagen wird in diesem Fachbeitrag die Kombination von rechnerischen Brandsimulationen und Modellversuchen dargestellt.

Markus Kraft, Thomas Radusch, Björn Rams



Fotos: BSCON

Abb. 1: Rauchschichtung im Versuchsmodell für eine unterirdische Verkehrsanlage

Besondere Fragestellungen im Brandschutz erfordern oft neue Lösungen. Die Akzeptanz für solche Lösungsansätze kann z. B. an folgenden Fragestellungen scheitern:

- Ist der Bauherr bereit, unkonventionelle Lösungen umzusetzen?
- Wird die Genehmigungsbehörde bereit sein, die Umsetzung zu gestatten?
- Ist die gewählte Lösung wirksam und wird das Schutzziel erreicht?
- Sind die erforderlichen Nachweise zur Wirksamkeit für das entsprechende Projekt zu erbringen?

Im Folgenden wird dargestellt, welche Schritte und Methoden zur Klärung dieser Fragestellungen möglich sind.

## Problemstellung

Zur Sicherstellung der Rauchfreihaltung von Rettungswegen werden im Hochbau

verstärkt bauliche Maßnahmen eingesetzt. Neben Abtrennungen durch Wände, Türanlagen und Tore kommen auch starre und mobile Rauchschürzen infrage, um den Eintritt von Brandrauch in die Rettungswege zu verhindern.

Anlagentechnische Lösungen werden hingegen immer mehr dort eingesetzt, wo aufgrund der Nutzung keine baulichen Abtrennungen erfolgen können. So werden in Tiefgaragen Strahlventilatoren eingesetzt, um den Brandrauch gezielt in Richtung eines zentralen Entrauchungsschachtes zu lenken und damit Rettungswege und Angriffswegen für die Feuerwehr möglichst rauchfrei zu halten. Die dort eingesetzten Produkte verfügen über bauaufsichtliche Zulassungen und werden von den Fachplanern auf die jeweilige Individualsituation zugeschnitten. Kombinationen von baulichen und anlagentechnischen Lösungen finden sich z. B. bei Sicherheitstreppe

räumen, wo im Brandfall durch flüchtende Personen Brandschutztüren zwischen Brandraum und Sicherheitstreppe ständig geöffnet werden. Hier wird durch eine Überdrucklüftung im Treppenraum und durch vorgelagerte Schleusen mit Brandschutztüren der Treppenraum vor eintretendem Rauch aus dem Brandgeschoss geschützt.

Nur in wenigen Fällen gibt es in bestehenden unterirdischen Verkehrsanlagen günstige Verhältnisse für die Rauchfreihaltung der Verkehrswege. Die Objekte weisen i. d. R. geringe Deckenhöhen auf und verfügen über lange Rettungswege. Diese Eigenschaften sind der charakteristischen Nutzung als unterirdische Haltestellen geschuldet. Darüber hinaus waren in den Entstehungsjahren dieser Bauwerke nur unzureichende Vorschriften zum Brandschutz in solchen Objekten vorhanden.

Veränderungen an den geometrischen Gegebenheiten sind bei solchen Bestands-



bauten nur schwer realisierbar. An Tunnelröhren, die oft in bergmännischer Bauweise aufgeföhren worden sind, grenzt unmittelbar das gewachsene Erdreich an. In die darüberliegende Bebauung wie Straßen, Gebäude oder Gewässer, kann nicht ohne Weiteres mit Sanierungsmaßnahmen eingegriffen werden.

Auf der Suche nach alternativen Lösungsansätzen zur Rauchfreihaltung der Rettungswege in unterirdischen Verkehrsanlagen wurde die Möglichkeit einer anlagentechnischen Variante in Betracht gezogen. Hierbei sollte durch Ventilatoren in den Treppenaufgängen verhindert werden, dass Brandrauch in die Rettungswege eindringt.

Lösungen in dieser Form wurden bisher nicht umgesetzt. Bei den Überlegungen wurde auch klar, dass eine Vielzahl von Fragestellungen beantwortet werden muss, bevor der Einsatz von Ventilatoren zur Rauchrückhaltung genehmigt und umgesetzt werden kann.

### Modellversuch und Brandsimulation

Um einen ersten Eindruck über die Funktion und Wirkungsweise zu erhalten, wurden zunächst vereinfachte rechnerische Brandsimulationen durchgeführt. Erste Simulationsläufe mit der Geometrie einer Bestandsstation gaben Hinweise darauf, dass der Brandrauch nahezu vollständig auf der Bahnsteigebene zurückgehalten werden kann.

Bei der Modellierung der Ventilatoren ergaben sich in der Simulation jedoch zwangsläufig Probleme. Die Wirkung des Ventilators kann bei üblichen Zellgrößen für Brandsimulationsberechnungen (15 cm bis 25 cm) nur mit einer sehr begrenzten Anzahl von Zellen abgebildet werden. Das Strömungsverhalten kann so nicht korrekt dargestellt werden.

Des Weiteren können Rundungen aufgrund der orthogonalen Zellstruktur nur näherungsweise abgebildet werden. Die Modellierung der kleinskaligen Wirbel wurde in den Berechnungen durch die Large-Eddy-Simulation übernommen. Eine direkte numerische Simulation (DNS) wäre prinzipiell möglich, würde jedoch eine deutlich feinere Auflösung des Zellgitters erfordern und den Umfang hinsichtlich der Rechenzeit und des Speicherbedarfs erheblich steigern.

Die gewonnenen Simulationsergebnisse wurden kritisch hinterfragt und mit Fachplanern und Herstellern der Ventilatoren



Abb. 2: Rauchfreihaltung des Treppenraums während des Rauchversuchs

diskutiert. Diese unabhängige Einschätzung hat ergeben, dass die Lösungen durchaus plausibel erscheinen. Im Nachgang stellte sich die Frage, ob allein mit Brandsimulationen ein ausreichender Nachweis erbracht werden könnte, um den Bauherrn und die Genehmigungsbehörde von dieser Lösung zu überzeugen.

Ein Großversuch als Nachweis der Wirksamkeit schien nun zielführend zu sein. Für den Versuch sollten folgende Randbedingungen gelten:

- Nachbau eines ausreichend großen Modells einer Bahnsteigebene mit Treppenaufgang (17,50 m × 5 m × 5 m)
- Einsatz eines Strahlventilators (Leihgabe eines Herstellers)
- Einsatz einer zertifizierten Rauchversuchseinrichtung nach vfdB-Leitfaden mit thermischer Unterstützung zur Simulation des Brandes

Bei der Erstellung des Versuchsmodells musste darüber nachgedacht werden, wie sich der Realsituation in einer U-Bahnstation möglichst gut angenähert werden könnte. Hierzu wurden Randbedingungen, wie z. B. offen angebundene Bereiche durch Zuluft- und Abluftöffnungen berücksichtigt. So konnte die Anbindung an den Tunnel und den Bahnsteigbereich vereinfacht nachgebildet werden.

In den Versuchen wurde ein lang anhaltendes Nebelfluid über einer Gasbrenner-

einheit mit einer variablen Leistung (50 bis 250 kW) freigesetzt. Erst als der Brandrauch kurz vor dem frei zu haltenden Bereich abgesunken war, wurde der Ventilator in Betrieb genommen.

In den Vorversuchen stellte sich zunächst eine deutlich sichtbare Rauchschiebung ein. Nachdem der Ventilator in Betrieb genommen worden war, wurde die vorhandene Rauchschiebung auf dem Bahnsteig durch die starken Turbulenzen zerstört. Es wurde aber festgestellt, dass die Rauchgase von der Zuluftöffnung des Ventilators angesaugt wurden und somit zu einer Verrauchung des Treppenaufgangs führten. Um diese Zirkulationserscheinungen abzustellen, wurde im Weiteren die Zuluft für den Ventilator über einen Kanal von außen bereitgestellt.

Fraglich ist, ob sich diese Erscheinungen nur aufgrund der beschränkten Modellgröße eingestellt hatten. Anschließend ist in einer Vielzahl von Testläufen iterativ die Größe der Öffnung, die von der Luft durchströmt und rauchfrei gehalten werden soll, variiert worden. Mit abnehmender Größe dieser Öffnung wurde ein Punkt gefunden, ab dem nahezu keine Rückströmung von Rauch in den frei zu haltenden Bereich beobachtet werden konnte.

Der finale Versuchsaufbau wurde erneut mit einer rechnerischen Brandsimulation untersucht. Hierbei wurde besonderer Wert auf eine feine Auflösung des Rechenmodells gelegt, um das Strömungsverhalten »

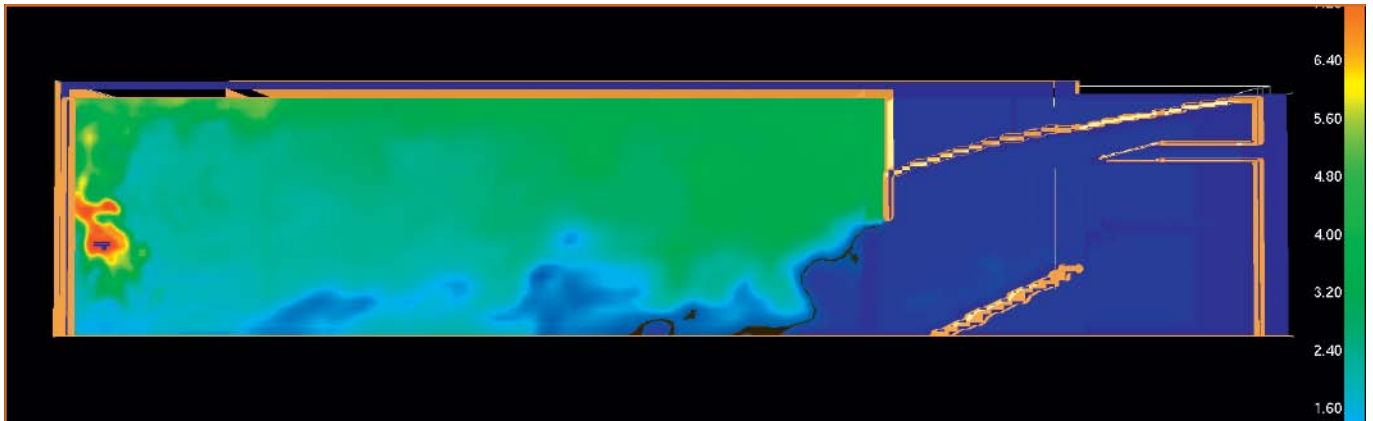


Abb. 3: Rauchfreihaltung des Treppenraums in der Simulation (Ext.Coef.:  $0,5 \text{ m}^{-1}$ )

an der Öffnung gut abbilden zu können. Im Vergleich zeigte sich, dass auch im Simulationsmodell nur geringe Rückströmungen (in der Abbildung 5a blau gekennzeichnet) zu beobachten waren. Die gewonnenen Beobachtungen aus dem Rauchversuch

stimmten qualitativ mit denen der Simulationsberechnungen überein. Neben den globalen Beobachtungen der Rauchbewegung wurden Strömungsschnitte der Simulation mit einem aufgemessenen Strömungsfeld aus dem Modell des Rauchversuchs vergli-

chen (s. Abbildung 5a und b). Trotz einiger Abweichungen bei Einzelwerten konnte eine übereinstimmende Tendenz festgestellt werden.

Das Strömungsfeld zeigte sowohl im Modellversuch als auch in der Simulation geringe Rückströmgeschwindigkeiten im Bodenbereich (hier blau). Rauchgaschwaden, die in geringfügigem Umfang beobachtet wurden, gelangten vermutlich durch diese Rückströmungen in den Treppenaufgang und wurden anschließend wieder ausgespült.

Um eine stabile Rauchschiebung nicht frühzeitig zu zerstören, sind Überlegungen für den Inbetriebnahmezeitpunkt der Ventilatoren erforderlich. Auf diesen Zeitpunkt kann z. B. durch eine gezielte Anordnung von Rauchmeldern (z. B. im Sturzbereich über der Öffnung) Einfluss genommen werden.

Die Erkenntnisse und die noch offenen Punkte aus den Simulationsberechnungen sowie die Ergebnisse des Versuchs wurden dem Bauherrn und den Vertretern der Genehmigungsbehörden bei einer Vorstellung am Versuchsmodell dargestellt. Insbesondere das eigene Erfahren der Beteiligten während des Versuchs im Modell wurde als sehr positiv bewertet. Durch die thermische Unterstützung waren in dem verrauchten Bereich deutliche Temperaturerhöhungen spürbar. Der Kühleffekt durch die einströmende Frischluft wurde in dem rauchfreien Bereich als sehr positiv empfunden.

### Weiteres Vorgehen

Die bisherigen Simulationen und der Großversuch haben das Vertrauen in die ange-

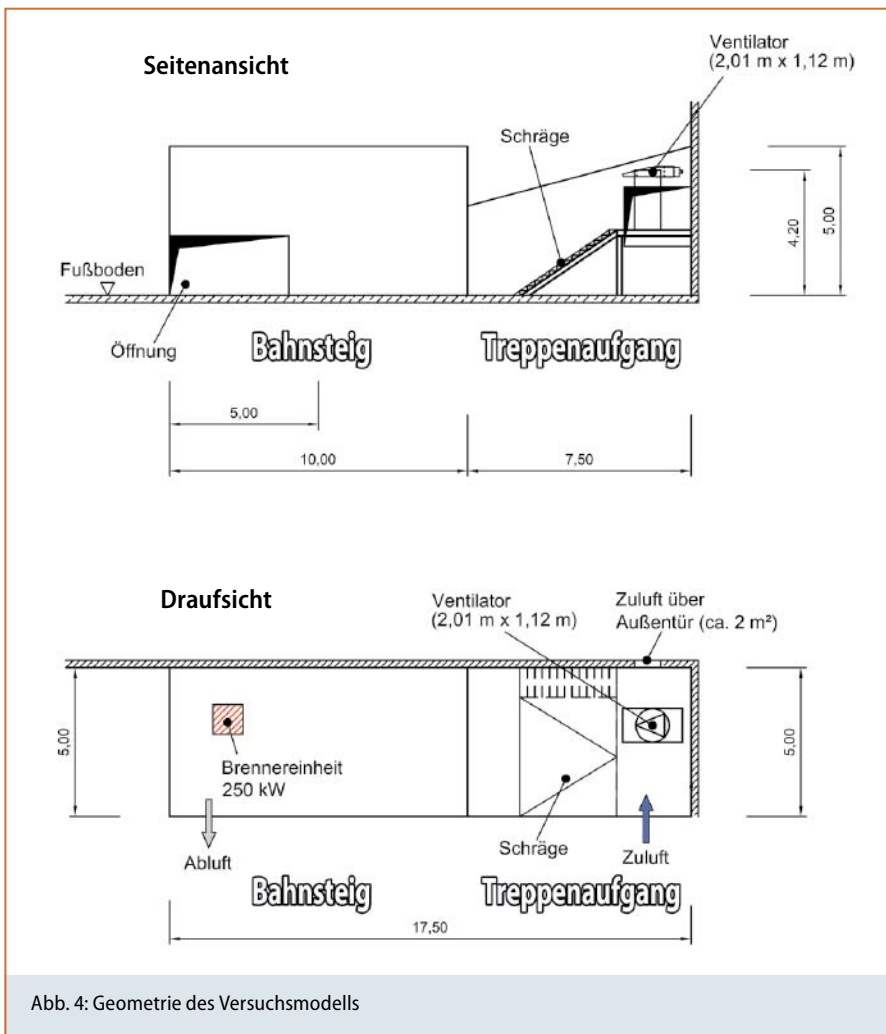


Abb. 4: Geometrie des Versuchsmodells



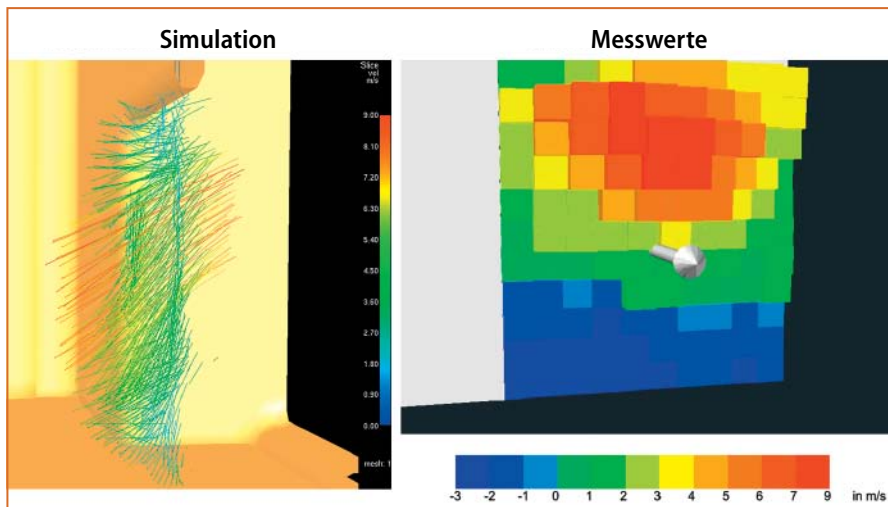


Abb. 5a und b: Vergleich des Strömungsfeldes der Simulation mit dem aufgemessenen Strömungsfeld im Versuchsmodell

nach sich, die wesentlich zeitaufwändiger sind.

Die Kombination beider Varianten hat zu vergleichbaren Beobachtungen geführt. Für Behördenvertreter und Projektbeteiligte konnten die rechnerischen Simulationsergebnisse durch die Versuche einfacher nachvollzogen und vor allem „erfahrbar“ gemacht werden. ■

Schlagworte für das Online-Archiv unter [www.feuertrutz.de](http://www.feuertrutz.de)

**Entrauchung, Rauchversuch, Simulation**

#### Autoren

##### Markus Kraft

Staatl. anerkannter Brandschutzsachverständiger

##### Thomas Radusch

Projektleiter Brandschutz Abt. Ingenieurmäßige Verfahren

##### Björn Rams

Projektingenieur Brandschutz Abt. Ingenieurmäßige Verfahren

### FeuerTRUTZ digital

Weitere Fotos und ein Video zum Rauchversuch finden Sie unter [www.download.feuertrutz.de](http://www.download.feuertrutz.de) oder im eMagazine ([www.feuertrutz.de/magazin\\_digital.html](http://www.feuertrutz.de/magazin_digital.html))

strebte Lösung bei allen Beteiligten erhöht. Trotzdem war am Ende der Versuchsreihe klar, dass diese Lösung nur für sehr spezielle Fragestellungen geeignet ist. Weiterhin ergaben sich aufgrund des Versuchsaufbaus Probleme, die zu einer Verfälschung bestimmter Effekte führten (z. B. Ventilator befand sich sehr nah an Öffnung, so dass Strömungskegel eher klein war). Es darf nicht verschwiegen werden, dass für die Einsatzkräfte der Feuerwehren im Einzelfall eine Verschlechterung der Verrauchung auf der Bahnsteigebene aufgrund der Turbulenzen zu erwarten ist.

Eine einfache Übertragung der Ergebnisse auf reale Bauwerke ist nicht möglich. Art und Anzahl der Ventilatoren müssen im Einzelfall auf die Größe der zu freizuhalt-

tenden Öffnung abgestimmt sein, damit der Querschnitt des Aufgangs vollständig und ausreichend durchströmt wird. Darüber hinaus muss für den Einzelfall geprüft werden, wie die Zuluft für den Ventilator über einen Kanal bereitgestellt werden kann. Die Großversuche haben gezeigt, dass mithilfe von rechnerischen Simulationen diese Parameter zukünftig auch für alle Bestandsobjekte vorabgestimmt werden können.

Zur Untersuchung des Sachverhaltes waren beide Ansätze hilfreich. Ein klarer Vorteil der Rauchversuche ist, dass in kurzer Zeit Randparameter verändert werden können und neue Versuche möglich sind. Änderungen in den Simulationsberechnungen hingegen ziehen erneute Berechnungsläufe