

Tornado rettet Menschenleben

Künstlicher Wirbelsturm übernimmt Brand-Rauchabsaugung im Automobilmuseum

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Detzer, Leiter Forschung und Entwicklung

Dipl.-Ing. Holm Klusmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Im Neuen Mercedes-Benz Museum in Stuttgart entsteht der größte künstlich erzeugte Wirbelsturm der Welt. Er erstreckt sich über eine Gesamthöhe von 40m und dient der Rauchfreihaltung von Rettungswegen und Ausstellungsbereichen im Brandfall. Entwickelt wurde dieser Tornado im Labor von Imtech Deutschland in einem verkleinerten Gebäudemodell im Maßstab 1:18. Neben der außergewöhnlichen Idee für ein innovatives Entrauchungskonzept eines komplexen, mehrstöckigen Atrium-Gebäudes wird in diesem Bericht ein ausgezeichnetes Beispiel für die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Modellversuchen in den realen Baukörper anhand des neuen Mercedes-Benz Museums vorgestellt.

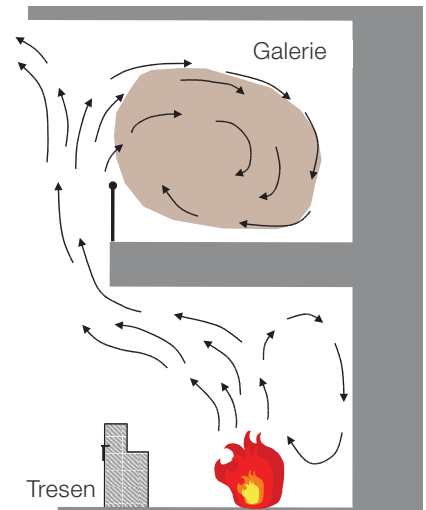


Abb.1 Galerieverrauchung (Prinzip)

1. ALLGEMEINES

Öffentlich genutzte Gebäude erhalten häufig großzügig gestaltete Atrien, die offen mit den Nutzflächen zusammenhängen und so eine Transparenz für den Besucher erzeugen sollen. Die Architektur verwendet bei individuellen Gebäuden gerne auch geschwungene

Flächen, um damit die Gestaltung einzigartig und gefällig für das Auge des Betrachters werden zu lassen. Unter dem Gesichtspunkt des Brandschutzes ergibt sich für die Entrauchung dabei eine anspruchsvolle Aufgabe.

Atrien mit hineinragenden Galeriebereichen oder Deckendurchbrüche mit darüber angeordneten Nutzungsbereichen stellen für die Entrauchung im Brandfall ein ganz besonderes Problem dar.

Entsteht unterhalb einer solchen Galerie ein Gebäudebrand, so breitet sich der Brandrauch an der Raumdecke, die gleichzeitig die Bodenplatte für den darüber liegenden Galeriebereich darstellt, in Längsrichtung aus und umströmt großflächig die Gebäudekante. Der dadurch gebildete Thermikstrahl induziert aus dem Rauminnen

der über dem Brandherd liegenden Ebenen Raumluft, die durch Nachströmen ersetzt wird. Hierdurch entsteht eine Raumwalze mit intensiver Verrauchung des betroffenen Galeriebereiches. Abb.1 zeigt den Verrauchungsprozess schematisch, in Abb.3 ist der Vorgang der Verrauchung in einer Laborstudie und in Abb.2 in einer Ist-Aufnahme in einem Flughafengebäude gezeigt. Um derartige Raumbereiche rauchfrei zu halten, sind besondere strömungstechnische Lösungen erforderlich.

2. DAS NEUE MERCEDES-BENZ MUSEUM

Das Neue Mercedes-Benz Museum ist 47,5m hoch, umschließt einen Raum von 210.000m³ und bietet 16.500m² Ausstellungsfläche. Auf verschiedenen Ausstellungsebenen werden in dem Museum die Automobile und die Technik von Mercedes-Benz gezeigt. Das Gebäude besitzt eine dreieckige Grundstruktur auf ca. 3.500m² Grundfläche und ein mittig angeordnetes Atrium, das sich über acht Ebenen und 40m nach oben erstreckt. Die Ebenen bestehen im



Abb.2 Galerieverrauchung (Vor-Ort-Versuch)

Wesentlichen aus den Ausstellungsbe-
reichen, die um das dreieckige Atrium
nach oben hin spiralförmig versetzt an-
geordnet sind. Die Ausstellungsebenen
formen jeweils abwechselnd einen ein-
bzw. zweigeschossigen Teil. Anstei-
gende Rampen verbinden die einzelnen
Bereiche miteinander.

3. AUFGABENSTELLUNG UND ANFORDERUNGEN AN DIE ENTRAUCHUNG

Obwohl das gesamte Gebäude einen durchgängigen Rauchabschnitt dar-
stellt, sollte die Brandrauchausbreitung
auf den betroffenen Ausstellungsbereich
beschränkt bleiben, um den Museums-
besuchern die Rauchfreiheit der
Rettungswege sicherzustellen und eine
Kontamination von Ausstellungsgegen-
ständen in nicht vom Brand betroffenen
Ebenen zu verhindern. Der Rauchaus-
trag, der aus der Ausstellungsebene
über die Gebäudeöffnung in das Atri-
um abströmt, sollte von dort auf natür-
lichem Wege durch NRA-Einrichtungen
oder durch Rauchabsaugung im Kopf-
bereich des Atriums erfolgen.

Mit der Entwicklung des Entrauchungs-
konzeptes wurde die Firma Imtech in
Hamburg beauftragt, um gemeinsam
mit dem Brandschutzsachverständigen
sowie dem Projektsteuerer eine geeig-
nete Lösung zu finden.

4. MODELLSTUDIE

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde eine
Untersuchung in einem verkleinerten
Modell des Gebäudes durchgeführt,
das im Bereich Forschung und Entwick-
lung von Imtech im Maßstab 1:18 aus
Plexiglas aufgebaut war und in Abb.4
zu sehen ist.

Die Entwicklung von Entrauchungs-
konzepten in Modellstudien erfordert
die geometrische Ähnlichkeit aller die
Strömung beeinflussenden Details des
Gebäudes und die Ähnlichkeit der Strö-
mungsvorgänge in einem Originalbau-
körper mit den Verhältnissen im Modell.
Die notwendigen Bedingungen für die
Gleichartigkeit der Strömungen werden

durch die so genannten Ähnlichkeitskri-
terien definiert.

Die zur Durchführung der Modellver-
suche einzuhaltenden Bedingungen
gewinnt man aus den Größenbezie-
hungen, die den physikalischen Vor-
gang beschreiben; bei anisothermen
turbulenten Strömungen sind dies die
Differentialgleichungen für

- Bewegung
- Energie
- Wärmetransport

Für diese Strömungsprozesse lassen
sich aus der Bewegungsgleichung fol-
gende Ähnlichkeitskennzahlen ableiten:

Reynolds-Zahl Re-Zahl $Re = \frac{w \cdot l}{\nu}$

Euler-Zahl Eu-Zahl $Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2}$

Archimedes-Zahl Ar-Zahl $Ar = \frac{g \cdot l \cdot \Delta t}{T_{\infty} \cdot w^2}$

Strouhal-Zahl Sr-Zahl

$$Sr = \frac{l}{w \cdot \tau}$$

Aus der Energiegleichung ergibt sich
die Prandtl-Zahl:

Prandtl-Zahl Pr-Zahl

$$Pr = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda}$$

Und die Wärmetransportgleichung lie-
fert das Ähnlichkeitskriterium Nusselt:

Nusselt-Zahl Nu-Zahl

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$$

Wie vielfach gezeigt werden konnte, ist
bei freien turbulenten Strömungen die
Re-Zahl ohne Einfluss auf die Ähnlich-
keit, so dass im Wesentlichen die Ar-
chimedes-Zahl Ar, an den Systemgren-
zen die Eu-Zahl und bei instationären
Vorgängen die Strouhal-Zahl einzuhal-
ten sind. Die Prandtl-Zahl kann bei der
Verwendung von Luft a priori als gleich
und die Nusselt-Zahl in guter Näherung
als gleich betrachtet werden. Letzte-
re beschreibt den Wärmeübergang an
der Wand, der bei längerem Überströ-
men des Brandrauches entlang von
Gebäudeflächen wirksam wird. Ist die

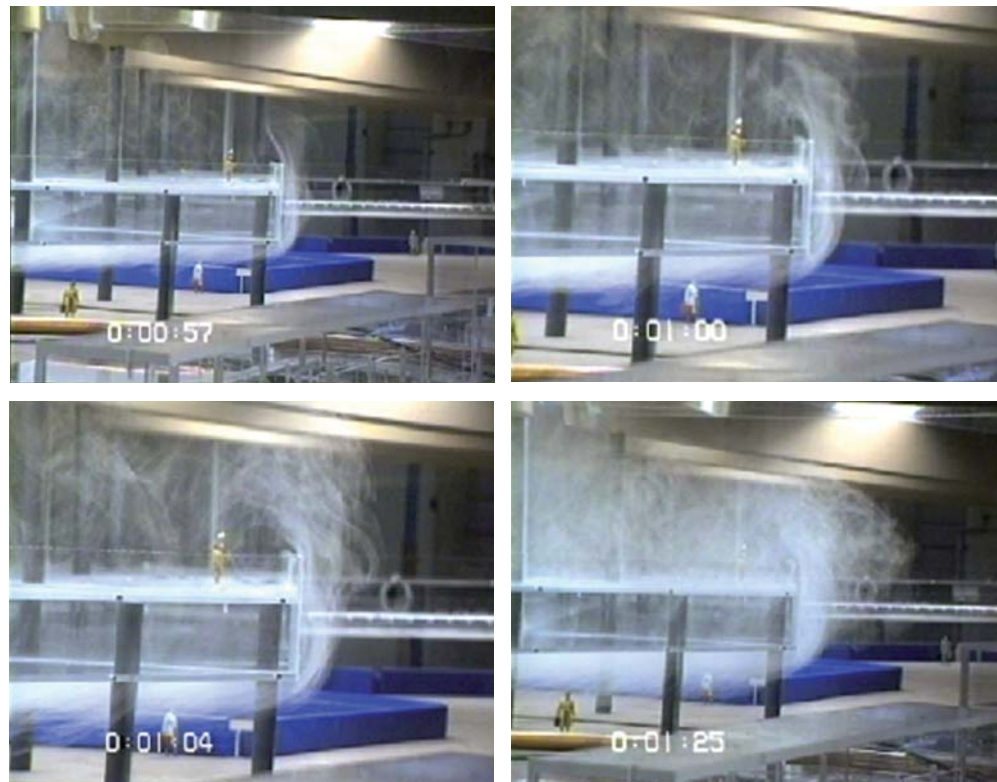


Abb.3 Ablauf der Galerieverrauchung (Laborstudie)

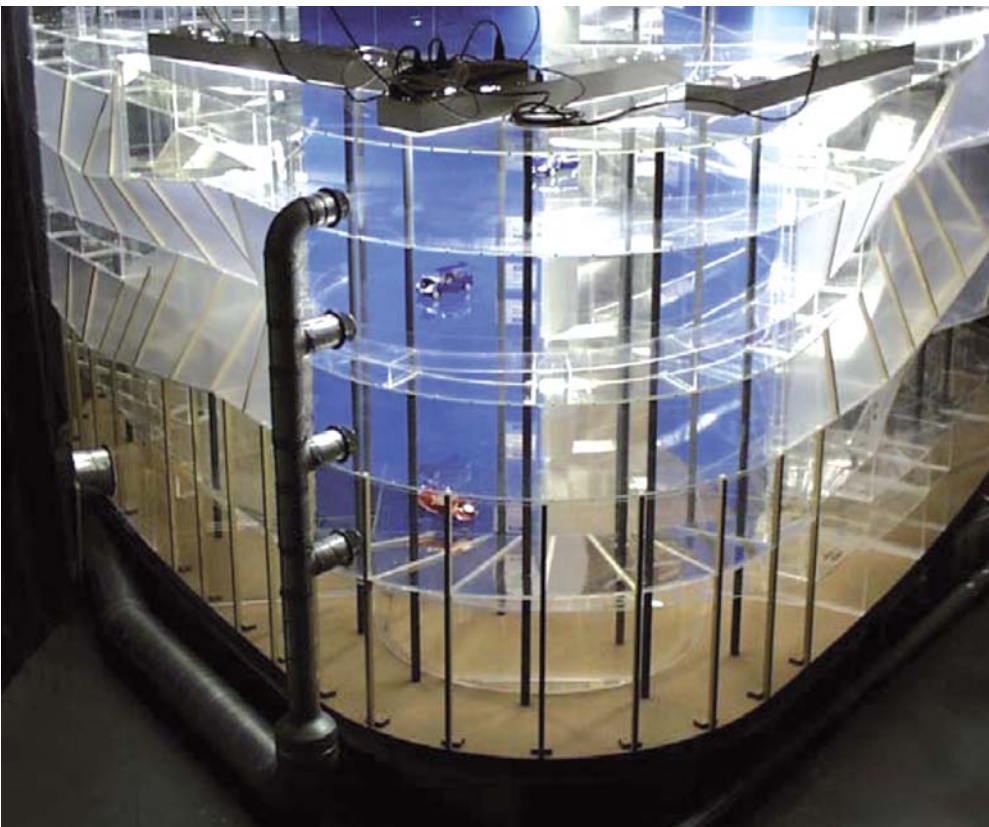


Abb.4 Gebäudemodell im Maßstab 1:18



Abb.5 Wirbelkern des Tornos im Modell



Abb.6 Sichtbar gemachte Drallströmung im Modell

Strömung im Wesentlichen durch den Strömungsimpuls und nur sehr wenig thermisch beeinflusst, genügt die Einhaltung von Eu und Sr, um die Strömungsprozesse ähnlich darzustellen. Die unter Einhaltung von geometrischer und physikalischer Ähnlichkeit durchgeführten Versuche mit dem Entrauchungskonzept der Ursprungsplanung für das Museum zeigten zunächst kein befriedigendes Ergebnis. Aufgrund der zuvor beschriebenen Strömungsprozesse an den Galerieebenen und

aufgrund thermischer Ausgleichsströmungen zwischen dem Atrium und den einzelnen Ausstellungsebenen stellte sich bei allen Versuchen der Entrauchung über den Kopfbereich des Atriums ein vollständiges Verrauchen des Gebäudes ein.

Um die vom Bauherren gewünschten Anforderungen zu erfüllen und die architektonische Lösung überhaupt genehmigungsfähig zu machen, musste ein neues innovatives Konzept entwickelt

werden, das im Atrium eine zur Mitte hin orientierte Strömung gewährleistet.

Derartige Strömungsformen lassen sich in der Natur nur bei Wirbelstürmen beobachten. Sie stellen im Prinzip die Eigenschaften zur Verfügung, die für das Entrauchungskonzept benötigt werden. Es wurde daher versucht, ein derartiges Strömungsfeld im Atrium des Museums künstlich zu erzeugen. Dabei erfolgte die Anregung des Tornos mit regelmäßig angeordneten Treibstrahlen, die mit hoher Geschwindigkeit in Richtung der zu erzeugenden Drallströmung blasen. Die Treibstrahldüsen sind in sechs vertikalen Reihen am Rand des Atriums so angeordnet, dass sich ein stabiler Tornado entwickeln kann.

Durch die auf logarithmischen Spiralen zum Zentrum des vertikal im Atrium angeregten Twister verlaufenden Stromlinien und die hohe Umfangsgeschwindigkeit um das Zentrum herum entsteht ein starkes Druckgefälle vom Randbereich zum „Auge des Wirbelsturmes“. Dieses Druckgefälle bleibt längs der Drehachse konstant und hält damit die erforderlichen Druckdifferenzen über die gesamte Atriumshöhe aufrecht.

Der aus einer Ausstellungsebene in das Atrium austretende Brandrauch mischt in die rotierende Strömung ein und wird mit Hilfe des Druckgefälles zur Mitte transportiert. Im Wirbelkern wird der Rauch schließlich über die Plattform in Höhe der Ebene 8 und die entsprechenden Entrauchungsventilatoren nach außen befördert. Die Absaugöffnung befindet sich mittig unterhalb der Plattform.

Die Zuluft wird aus den Ausstellungsebenen gleichmäßig über die ganze Höhe am Rand des Atriums zugeführt; dabei werden ausschließlich die zur Belüftung der Ebenen vorgesehenen Anlagen eingesetzt.

Abb.5 zeigt den mit Nebelfluid sichtbar gemachten Wirbelkern des Tornos. In Abb.6 wird das Nebelfluid außerhalb der Atriumsmitte eingebracht; dabei ist zu erkennen, wie im rotierenden Strömungsfeld das Fluid auf spiralförmigen Bahnen zum Zentrum des vertikalen

Tornados transportiert wird. Diese Darstellungen verdeutlichen die sich einstellenden strömungstechnischen Verhältnisse im Atrium.

Als beeinflussend auf die Entwicklung und die Stabilität des Tornados erwiesen sich insbesondere Einbauten im Bodenbereich des Atriums, die in zahlreichen Details untersucht und strömungstechnisch angepasst werden mussten.

Durch die so erzeugte Lösung konnte das gewünschte Schutzziel in vollem Umfang erreicht werden, auch wenn noch weitere Ausbreitungswege – zum Beispiel im Bereich der Auffahrtsrampen – abzuschirmen waren, die jedoch weitgehend mit konventionellen Methoden gelöst werden konnten.

5. UMSETZUNG IN DIE PRAXIS

Mit dem Bau des Museums wurde im Jahr 2003 begonnen; der Rohbau war im März 2005 fertig gestellt und die lufttechnischen Einrichtungen konnten im November 2005 in Betrieb genommen und getestet werden.

Das in den Modellversuchen bei Imtech entwickelte Entrauchungskonzept für das Neue Mercedes-Benz Museum bestätigte sich bei den Vor-Ort-Versuchen in vollem Umfang. Gezeigt werden konnten die dauerhaften Abschirmungen der nicht vom Brand betroffenen Ausstellungsbereiche mit dem Tornado im Atrium als wesentlichem Bestandteil des Entrauchungskonzeptes, Abb.7 und Abb.8, sowie die Notwendigkeit der im Labor entwickelten Maßnahmen zur Strömungsstabilisierung im Detail. Auch die Abschirmungsmaßnahmen im Rampenbereich konnten in vollem Umfang bestätigt werden.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Detzer,
Leiter Forschung und Entwicklung
Dipl.-Ing. Holm Klusmann,
wissenschaftlicher Mitarbeiter
Imtech Deutschland, Hamburg
Fotos und Grafik: Imtech
www.imtech.de



Abb.7 Entrauchungs-Tornado im Atrium des Museums



Abb.8 Tornado im Vor-Ort-Versuch sichtbar gemacht

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]

Anmeldung
Service-Box



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.Journal

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne