

## NUMERISCHE SIMULATION DER LUFTSTRÖMUNGEN UND DES THERMISCHEN VERHALTENS VON GLASDOPPELFASSADEN

Dipl.-Ing. Thomas Brandl, Dr.-Ing. Markus Spinnler und  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Sattelmayer

Lehrstuhl für Thermodynamik, Technische Universität München, Germany

### ABSTRACT

Die vorliegende Arbeit behandelt die numerische Simulation einer freien Konvektionsströmung innerhalb eines Doppelfassadenspalt bei unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen und Systemanordnungen. Der Fokus liegt dabei auf dem Einfluss des spaltintegrierten Sonnenschutzes (hier ein Lamellenraffstore) auf das Durchströmungsverhalten und den Energieeintrag in den dahinter gelegenen Büroraum.

Mit dem erstellten und validierten Simulationsmodell kann das thermische Verhalten von sog. intelligenten Glasfassaden für beliebige Konfigurationen ermittelt und als Eingangsparameter für weitergehende Gebäudesimulationen verwendet werden.

The present work describes numerical simulation of a free convection air flow in double façade gaps accounting for various environmental and constructive parameters. Due to its significant effect on ventilation behaviour of the façade and energy input in the building the gap-integrated sunscreen is investigated in detail.

With the validated simulation model, the complex thermal behaviour of this façade type can be determined for any construction configuration and the results can be used as input parameters for following building simulations.

### AUFGABENSTELLUNG

Moderne zeitgenössische Architektur von Büro- und Verwaltungsgebäuden spiegelt sich vor allem durch einen ständig wachsenden Glasanteil in der Fassade wieder. Mit der zunehmenden Transparenz der Gebäudehülle nimmt jedoch auch der solare Energieeintrag in die dahinter liegenden Büroräume zu. Für die Behaglichkeit in Büroräumen ist es entscheidend, dass der Nutzer im Gegensatz zu vollklimatisierten Gebäuden sein Raumklima z.B. durch freie Fensterlüftung selbst aktiv beeinflussen kann.

Um eine freie Fensterlüftung auch an stark lärmbehafteten Standorten wie Schnellstraßen oder Bahnhöfen ermöglichen zu können, bietet es sich an, eine zweite Glashaut vor der eigentlichen Fassade anzubringen. Eine ungünstige Konstruktion dieser doppelschaligen Fassadenkonstruktion kann die Vorzüge

der freien Fensterlüftung bei gleichzeitigem Schallschutz jedoch auch wieder zunichte machen, wenn sich als Folge einer mangelnden Durchströmung des Fassadenspalt eine so genannte Spaltüberhitzung einstellt. Anstatt mit Zuluft auf Umgebungstemperaturniveau lüftet der Nutzer dann im Sommerfall mit bereits stark erwärmter Luft aus dem Fassadenspalt.

An dieser Stelle setzen die Untersuchungen dieses Beitrages an. Mit Hilfe eines numerischen Simulationsmodells werden die maßgeblichen Konstruktionsparameter, wie ein spaltintegrierter Sonnenschutz oder Zuluft- und Abluftquerschnitte, in ihrem Einfluss auf die Durchströmung und den Energieeintrag in das Gebäude ausführlich untersucht.

### THERMISCHE SIMULATION EINER GLASDOPPELFASSADE

Das vorgestellte Simulationsmodell einer Glasdoppelfassade bildet eine real existierende Testfassade auf dem solaren Forschungsfeld der TU München ab. Damit besteht die Möglichkeit, durch umfangreiche und fundierte Messdaten ein vollständig validiertes Simulationsmodell zu erstellen und die zahlreichen Simulationsparameter an die Messwerte anzupassen. Ausgehend von den so optimierten Modellfällen können im Folgenden weitergehende Parameterstudien zur konstruktiven Ausführung der Fassade durchgeführt und deren Einfluss auf das thermische Verhalten ermittelt werden.

### **Validierung der Simulationsergebnisse anhand von realen Messdaten**

Im Rahmen einer vorangegangenen Dissertation auf dem Gebiet der doppelschaligen Fassaden wurde 1999 eine zweigeschossige Versuchsfassade mit ca. 15 m<sup>2</sup> Fassadenfläche auf dem solaren Forschungsfeld der TU München errichtet und mit entsprechender Messtechnik ausgestattet. Über einen Zeitraum von mehreren Jahren konnten somit Temperaturen, Strömungsgeschwindigkeiten, Luftmassenströme und strahlungsphysikalische Werte aufgezeichnet werden. (Zöllner, 2001; Spinnler et al., 2004)

Die Validierung des auf dieser Basis erstellten numerischen Modells wurde mit insgesamt vier charakte-

ristischen Tagen bzw. Umgebungsbedingungen durchgeführt:

- Sonniger Sommertag (27°C)
- Bedeckter Sommertag (28°C)
- Sonniger Wintertag (3°C)
- Bedeckter Wintertag (3°C)

Dabei konnten mit dem Simulationsmodell durchschnittlich folgende Übereinstimmungen mit den Messdaten erzielt werden:

- Lufttemperaturen:  $\pm 1^\circ\text{C}$
- Oberflächentemperaturen:  $\pm 1,5^\circ\text{C}$
- Strahlungsmesswerte:  $\pm 10\%$
- Konvektiver Wärmestrom:  $\pm 5\%$

Abbildung 1 zeigt die südorientierte Versuchsfassade mit den beiden Vorrichtungen für eine Massenstrommessung (Nulldruckmethode).



Abbildung 1 Versuchsfassade

### Erstelltes Simulationsmodell

Für die numerischen Simulationen wurde ein Fassadenkasten aus der obigen Anordnung zweidimensional abgebildet (Brandl, 2005). Die Vereinfachung und Reduzierung der Fassadengeometrie auf eine zweidimensionale Darstellung ist zulässig, da die Randeinflüsse auf das thermische Gesamtverhalten der Fassade bei der untersuchten Spaltbreite von ca. 1 m vernachlässigbar sind (siehe auch Genauigkeiten oben).

Abbildung 2 zeigt eine Prinzipdarstellung des implementierten Modells mit spaltintegriertem Lamellenraffstore als Sonnenschutzelement. Das erstellte Modell ist derart aufgebaut, dass für eine Berechnung im Wesentlichen nur die Umweltrandbedingungen wie Umgebungstemperatur, solare Einstrahlung (richtungsabhängig) sowie die Lufttemperatur des Innenraums anzugeben sind. Als Ergebnis der Berechnung

lässt sich daraus der quantitative Wärmestrom über die Primärfassade in den Innenraum in Abhängigkeit der gewählten Umgebungsbedingungen und des Sonnenschutzes (Position, Winkelstellung) bestimmen, wobei derzeit noch keine freie Fensterlüftung betrachtet wird. Diese parametrisierbaren Werte können für eine anschließende Gebäudesimulation, z.B. in TRNSYS, weiterverwendet werden. Neben den Wärmeströmen werden auch die Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder der Strömung berechnet, wodurch sich der Massenstrom und die Lufterwärmung im Fassadenspalt darstellen lassen.

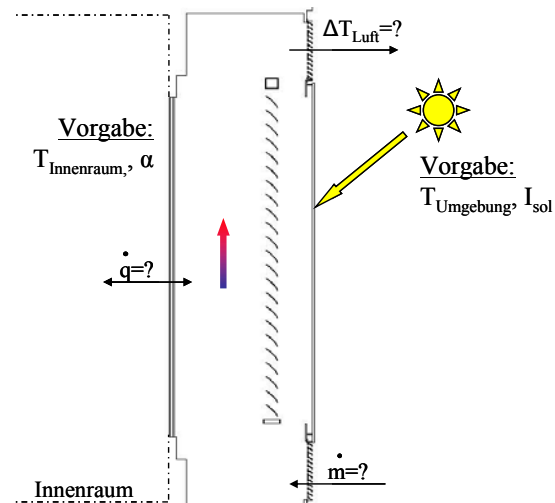


Abbildung 2 Prinzipdarstellung des 2D Modells

### Verwendete Simulationsmodelle

Die numerischen Simulationen wurden mit dem Programm FLUENT 6.2, einer etablierten Software für CFD-Problemstellungen durchgeführt. Die Berechnung der Luftströmung erfolgte als turbulente ( $k-\epsilon$  Turbulenzmodell), freie Konvektionströmung. Durch eine gezielte Verfeinerung des Rechnetzes an den Übergängen der Luftströmung zu Festkörpern (Lamellen, Lüftungsgitter, Glasfassaden) kann die Grenzschichtströmung und der Wärmeübergang explizit berechnet werden. Der Energietransport durch Strahlung ist mit einem diskreten Ordinaten Modell (DOM) in hoher Auflösung und in enger Kopplung mit den Strömungsgleichungen simuliert worden. Dadurch werden die drei möglichen Arten des Wärmetransports gleichermaßen berücksichtigt.

### Gewonnene Erkenntnisse aus den Simulationen

Neben den oben erwähnten Umweltbedingungen wurden auch die nachstehenden Parameter und deren Einflüsse auf das thermische Verhalten näher betrachtet:

- Position des Sonnenschutzes im Fassadenspalt
- Fassadenspalttiefe
- Größe der Lüftungsquerschnitte

Für die Planung und Konstruktion einer Glasdoppelfassade können mit den Ergebnissen dieser Arbeit folgende Empfehlungen gegeben werden:

Die Auslegung sollte sich prinzipiell am Sommerfall orientieren, da sich hier die kritischen Betriebspunkte für die Nutzung ergeben. Um einen möglichst großen Anteil der durch die Sonne zugeführten Energie mit der Strömung im Fassadenspalt wieder an die Umgebung abzuführen, empfiehlt es sich, den Sonnenschutz mit etwa 15 cm Abstand zur äußeren (sekundären) Fassadenebene anzubringen. Dadurch kann eine sehr gute Durchströmung des Fassadenspalts erreicht werden, bei der sich die Temperaturerhöhung der Luft vornehmlich zwischen dem Sonnenschutz und der Sekundärfassade einstellt. Zudem sollte der Anteil der Lüftungsöffnungen an der gesamten Fassadenfläche mindestens 8 % betragen. Für den Fall eines sonnigen, wolkenlosen und windstillen Sommertages kann mit diesen Vorgaben eine mittlere Lufttemperatur von lediglich 3 K über Außenluftniveau im Fassadenspalt erreicht werden (Brandl, 2005).

Die Fassadenspalttiefe, d.h. der Abstand zwischen der Primär- und Sekundärfassade hat auf die Temperaturverteilung und deren -niveau einen beinahe vernachlässigbaren Einfluss. Jedoch kann durch die Vergrößerung der Spalttiefe von etwa 0,3 m auf 1,3 m eine Abnahme des Energieeintrags von etwa 20 % erreicht werden, was sich jedoch maßgeblich in einer geringeren Ausleuchtung des Innenraums äußert.

Die geringste Durchströmung und somit der prozentual größte Energieeintrag in das Gebäude stellt sich an einem bedeckten, warmen Sommertag ein. Durch die fehlende Erwärmung der Lamellen kann sich der Lamellenraffstore im Fassadenspalt nur geringfügig erwärmen, wodurch eine freie Konvektionsströmung nur bedingt angetrieben wird.

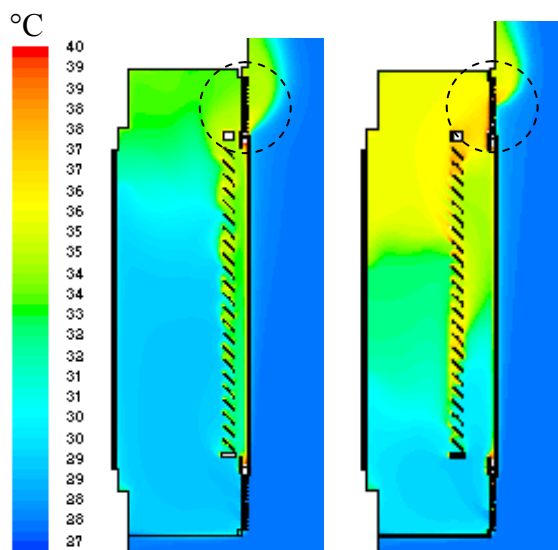


Abbildung 3 Berechnete Temperaturverteilung

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die berechnete Temperaturverteilung innerhalb des Fassadenspalts für einen wolkenlosen Sommertag mit 27°C Außentemperatur und einer optimierten Konstruktion (links) und den Einfluss eines verkleinerten Lüftungsquerschnitts (siehe Detailkreise) zusammen mit einer leichten Verschiebung des Lamellenraffstores (rechts).

Der deutliche Anstieg der Lufttemperatur auf etwa 37°C im oberen Bereich des Fassadenspalts (rechts) hindert den Nutzer daran, eine Lüftung im Sommer, z.B. durch Kippen des Fensters durchzuführen, während im optimierten Fall (links) die Temperatur nur auf etwa 30°C (=3 K über Außenluftniveau) ansteigt.

### ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK

Alle quantitativen und qualitativen Simulationsergebnisse aus dieser Arbeit konnten durch den Doppelfassaden-Versuchsstand der TU München auch experimentell bestätigt werden. Der zum Teil hohe numerische Aufwand für die Simulation von Glasdoppelfassaden ist jedoch notwendig, um möglichst exakte Eingangsparameter z.B. für eine anschließende und weitergehende Berechnung am Gesamtgebäude zu erhalten. Durch die Vielzahl an Parametern und Einflussfaktoren ist das Verhalten dieser modernen Fassadenart zu komplex, um es allein durch einen vereinfachten Berechnungsansatz zu beschreiben.

In naher Zukunft ist geplant, das bestehende Modell, welches sich bislang auf die „Elementarzelle“ einer Doppelfassade beschränkt, schrittweise auf mehrere Stockwerke auszuweiten, um auch den Einfluss von Luftströmungen an den Außenseiten der Fassade vollständig zu berücksichtigen.

Weitere Untersuchungen sollen in Richtung solarer Einbauten wie z.B. photoaktiven Sonnenschutzsystemen angestellt werden. Werden Lamellenraffstores beispielsweise mit Photovoltaik belegt, zeigt der Sonnenschutz hohe Absorptionseigenschaften, was das thermische Verhalten der Doppelfassade nachhaltig beeinflussen dürfte.

### LITERATUR

- Zöllner A. 2001. Experimentelle und theoretische Untersuchungen des kombinierten Wärmetransports in Doppelfassaden, Dissertation, TU München, Germany.
- Spinnler M. Artmann, N. Sattelmayer, T. 2004. Double Skin Facades with Diverse Sunscreen Configurations, In: Proceedings of ISAAG 2004 Conference, Neubiberg, Germany
- Brandl T. 2005. Numerische Untersuchungen zum thermischen Verhalten von Glasdoppelfassaden mit spaltintegriertem Sonnenschutz, Diplomarbeit, TU München, Germany.