

Dipl.-Ing. Herwig Hengsberger
Institut für Hochbau für Architekten
E-Mail: hengsberger@tugraz.at
Tel: 0316 873 6807



Ao.Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr.iur.
Dr.techn. Peter Kautsch
Institut für Hoch- und Industriebau
E-Mail: kautsch@tugraz.at
Tel: 0316 873 6245



Thermisch-hygrisches Verhalten von GlasDoppelFassaden unter solarer Einwirkung – Theorieevaluierung durch Vorort-Messung

Hygrothermal Behaviour of Double-skin Facades in Solar Irradiation - Theory Evaluation by Means of On-location Measurements

Unter dem Gesichtspunkt einer umfassenden Bewertung von GlasDoppelFassaden bildet die messtechnische Erfassung der kombinierten Wärmetransportmechanismen im Fassadenzwischenraum und die Untersuchung der Korrelation zwischen den Messergebnissen und thermischen bzw. fluidmechanischen Simulationsberechnungen den Schwerpunkt der gegenständlichen Forschungsarbeit.

Motivation

Im Zuge des sprunghaften Anstiegs der „Glas-Architektur“ werden seit über 10 Jahren sogenannte GlasDoppelFassaden (GDF) international äußerst kontroversiell diskutiert.

Von den einen als innovative, ökologische und zukunftssträchtige Konzepte gepriesen, werden sie von anderen als unwirtschaftlich, bauphysikalisch problematisch und in unseren Breiten als fehl am Platz bezeichnet.

Grundsätzlich bestehen Glasdoppelfassaden aus einer inneren oder Primärfassade, meist in Form einer Zweischeibenisolierverglasung, einem Fassadenzwischenraum von etwa 20 - 100 cm Tiefe und einer äußeren oder Sekundärfassade aus Einscheibensicherheitsglas. Unterschiede zwischen den zahlreichen Ausführungsvarianten bestehen vor allem in der Unterteilung des Fassadenzwischenraumes und in den Lüftungskonzepten.

In Baden bei Wien wurde 1998 der vom Grazer Architekturbüro Florian Riegler/Roger Riewe geplante Neubau des Bundesinstituts für Sozialpädagogik fertiggestellt. Das fünfgeschossige, allseitig verglaste Gebäude bot die Möglichkeit, zwei Extremfälle einer vorgehängten Glasfassade zu untersuchen: die freie, solar- und windinduzierte Strömung in dem 17 m hohen und 14 cm tiefen, nicht unterteilten Luftspalt zwischen Beton- und Glasfassade und den Fall der komplex turbulenter Strömungsverhältnisse im Bereich der doppelten Glasflächen und der „Fensterkästen“. Eine vorgehängte Glasfassade mit Fensterkästen stellt einen interessanten Sonderfall von GlasDoppelFassaden dar, indem sie die Vorteile einschaliger Fassaden – wie zB die Möglichkeit der direkten Fensterlüftung – mit den wärmetechnischen Vorteilen von „klassischen“ GDF verbindet.

Das vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ geförderte

Projekt wurde in fakultätsübergreifender Kooperation mit den Instituten für Wärmetechnik (Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Streicher) bzw. für Strömungslehre und Wärmeübertragung (Ass.-Prof. DI Dr. Walter Meile) sowie dem Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Abteilung Bauphysik der TU Wien (O.Univ.-Prof. DI Dr. Jürgen Dreyer) durchgeführt und von der Fa. Morocutti Stahlbau unterstützt.

Ein Folgeprojekt, das im Zuge der laufenden Ausschreibung zum 6. EU-Rahmenprogramm für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration von einem Konsortium der TU Graz in Zusammenarbeit mit der Industrie eingereicht wird (Koordinator: Prof. DI Dr. Wolfgang Streicher), soll die Untersuchung der Energiebilanzen sowie der Interaktion von GlasDoppelFassaden mit dem dahinterliegenden Gebäude unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens zum Inhalt haben.

Die Messfassade

Das 53,7 m lange, 14 m breite und 17 m hohe, Ost-West orientierte, fünfgeschossige Gebäude ist mit einer allseitigen Glasfassade ausgestattet, welche als sogenannte unsegmentierte Vorhangfassade bezeichnet werden kann. Das heißt, es gibt abgesehen von einzelnen Fensterkästen, welche gegen den Fassadenzwischenraum durch gedämmte Metallpaneele abgeschottet sind, weder horizontale noch vertikale Unterteilungen des Fassadenzwischenraumes.

Die Fensterkästen ermöglichen eine direkte Lüftung der dahinterliegenden Räume unter Umgehung des Fassadenzwischenraumes. Dadurch wird im Sommer ein Hereinlüften von warmer Spaltluft in das Gebäude vermieden. Zudem verhindert diese Konstruktion weitgehend die Schall- und Geruchs- bzw. Brauchübertragung über den Fassadenzwischenraum.

Um die Ausgangssituation für die Simulationsberechnungen möglichst genau nachbilden zu können und Verfälschungen der Messergebnisse durch Querströmungen zu vermeiden, wurden die beiden Messfelder – „Wand“ bzw. „Fenster“ – durch aufblasbare Kunststoff-Schläuche von der übrigen Fassade abgeschottet (Abb. 1).

Vorort-Messung

Zum Vergleich mit den numerischen Simulationsberechnungen



Abb. 1: Südansicht des Versuchsobjektes mit Messfeldern „Fenster“ und „Wand“

wurden von Ende Oktober 2001 bis September 2002 umfangreiche Messungen der Oberflächen- und der Lufttemperaturen, der Luftfeuchtigkeit und der Strömungsgeschwindigkeiten im Fassadenzwischenraum, der Strahlung im Zwischenraum und außen, des Differenzdruckes zwischen Fassadenzwischenraum und außen, des Außenklimas und des Wärmestroms vom Fassadenzwischenraum nach Innen durchgeführt.

Aufgrund der hohen Kosten der Sensorik wurden die Messungen in jeder Jahreszeit mit jeweils dem gesamten Gerätepark für den Messbereich „Wand“ und unmittelbar anschließend für den Messbereich „Fenster“ getrennt durchgeführt.

Thermische Simulation

Das mit dem Programmpaket TRNSYS zu modellierende System umfasst im wesentlichen fünf Komponenten: Außenraum/Außenklima - Sekundärfassade/vorgehängte Glasscheibe - Fassadenzwischenraum - Primärfassade/Betonwand bzw. Isolierglas - Innenraum des Gebäudes.

In den Wintermonaten (Heizperiode) sind bei dem zu untersuchenden Fassadensystem die Lüftungsklappen geschlossen, wodurch der Wärmeaustausch zwischen der Luft im Fassadenzwischenraum und der Außenluft primär über Wärmeleitung durch die Glasscheibe erfolgt. Das Strömungsverhalten der Fassadenluft entspricht jenem eines Fluids in einem geschlossenen vertikalen Spalt, dessen Begrenzungsflächen unterschiedliche Temperaturen aufweisen. An der wärmeren Fläche (Betonwand) steigt die Luft auf, während sie an der kälteren Glasscheibe absinkt.

In den Sommermonaten sind die Ein- und Auslassklappen hingegen geöffnet. Dadurch gelangt Außenluft durch die bodennahen Einlassklappen in den Fassadenzwischenraum und wird dort durch die Begrenzungsflächen erwärmt.

Die sich dadurch einstellende Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Fassadenluft bedingt den thermischen Auftrieb, der durch eine charakteristische, aufwärts gerichtete, mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Fassadenluft (freie Konvektion) quantifiziert wird.

Der Wärmeaustausch zwischen Außen- und Fassadenluft wird also im Sommerfall sowohl über Wärmeleitung an der Glasscheibe als auch über die zu- und abströmende Fassadenluft wirksam.

Die Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Temperaturwerten an der vorgehängten Glasfassade, der Betonoberfläche und der Luft an der Austrittsöffnung des Fassadenspalt war für die untersuchten Messreihen als gut zu bewerten, wobei Abweichungen von maximal ± 3 °C auftraten. Die Messreihen umfassen dabei sowohl Tag- als auch Nachtstunden und beinhalten unterschiedlichste klimatische Bedingungen im Bezug auf solare Einstrahlung, Außenlufttemperaturen und Windverhältnisse.

Die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (v_m) sind ebenfalls reproduzierbar, wobei allerdings für kleine Strömungsgeschwindigkeiten ($< 0,3$ m/s) die berechneten Werte tendenziell größer sind als die gemessenen. Die festgestellten Abweichungen liegen im

Bereich von 0,05 - 0,1 m/s und können zum Teil, insbesondere nahe der unteren Messwertgrenze der eingesetzten Hitzdrahtanemometer von 0,125 m/s mit der maximalen Messwertungenauigkeit von $\pm 0,05$ m/s erklärt werden.

Der Vergleich zwischen Simulation und Messung zeigt die Komplexität und Vielfältigkeit der bei dieser Art von Fassadenkonstruktion auftretenden physikalischen Effekte und den damit verbundenen Anforderungen an die Simulation. Der messtechnisch erfasste und simulationstechnisch untersuchte Fassadenabschnitt stellt in diesem Zusammenhang eine relativ einfache Konstruktionsvariante dar. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse können als Grundlage bei der Weiterentwicklung der Rechenmodelle für komplexere Fassadenkonstruktionen mit teiltransparenten Außenwänden (Doppelfassaden) herangezogen werden.

Strömungssimulation

Mittels des Programmpaketes FLUENT wurden in einem ersten Schritt aus fluidmechanischen Berechnungen die notwendigen Anhaltspunkte für die Positionierung der Fühler zur messtechnischen Erfassung von Geschwindigkeiten und Temperaturen gewonnen. Den Ausgangspunkt bildeten dabei die thermischen Simulationsberechnungen

der Temperaturen der Betonwand bzw. der vorgesetzten Glasfassade, die als Randbedingungen für die fluidmechanischen Berechnungen verwendet wurden. Die Übereinstimmung der Ergebnisse hinsichtlich Lufttemperatur am Austritt des Spaltes sowie der mittleren Geschwindigkeit mit den Ergebnissen der thermischen Simulation kann als sehr gut bezeichnet werden.

Nach vollständigem Vorliegen der Messergebnisse bzw. nach deren Evaluierung wurden fünf Messfälle - jeweils für Zeitpunkte mit und ohne Strahlungseinfall (Tag bzw. Nacht) - berechnet. Die im Vergleich zum Abschnitt „Wand“ etwas deutlicheren Abweichungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich „Fenster“ können plausibel erklärt werden, indem insbesondere die Geschwindigkeiten in der Umgebung der Messpunkte in allen Richtungen deutliche Gradienten aufweisen.

Weiters konnte festgestellt werden, dass die zum Teil nicht unerheblichen Windbelastungen, die zu einigen Messzeitpunkten auftraten, insbesondere bei geöffneten Lüftungsklappen aber auch infolge von Undichtigkeiten im geschlossenen Zustand, die Strömungssituation im Fassadenspalt gravierend beeinflussen (Ausbildung von gerichteten vertikalen Strömungen anstelle zu erwartender Walzenbildung).

Im Hinblick auf die baupraktische Anwendung zur Auslegung von Doppelfassaden kann festgestellt werden, dass fluidmechanische Simulationen in der hier angewandten Form aufgrund des enormen Bedarfes an Ressourcen (Hardware, Rechenzeit) eher nicht geeignet erscheinen. Zur wissenschaftlichen Bearbeitung in Einzelfällen kann diese Art der Simulation aber mit guter Aussagekraft eingesetzt werden.

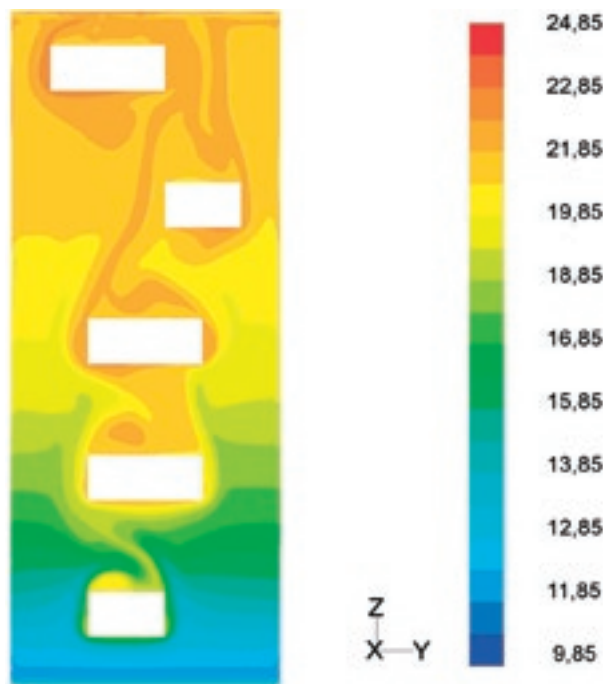


Abb. 2: Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation der Temperaturen [°C] im Fassadenzwischenraum; Winterfall, Zu- und Abluftklappen geschlossen

Hygrothermal Behaviour of Double-skin Facades in Solar Irradiation - Theory Evaluation by Means of On-location Measurements

In the course of the boom in "glass architecture", double glass facades, as they are called, have been the subject of controversial international discussion for more than ten years.

In addition to aesthetic aspects, the discussion also emphasises advantages in terms of energy and, particularly, noise and ventilation related benefits. The possible disadvantages, on the other hand, include increased investment and maintenance costs, potential problems in terms of building physics and, not least, considerable uncertainties regarding planning.

The aim of this research project was to evaluate transient thermal and fluid mechanical simulation models by means of on-site measurements in order to obtain information concerning the importance of the various important base parameters of these very complex models of calculation. Extensive literature research revealed that, in recent years, there has been an increasing number of international research projects focussing on this subject – a fact that underlines the significance of the current research task. And yet completely documented measuring results on real, particularly small and medium-sized facades, are few and far between.

From October 2001 to September 2002, climate and flow conditions were measured on and in the glass facade of the new Federal Institute of Social Education building completed in 1998 in Baden near Vienna and analysed as to their correlation with the results of parallel numerical simulation calculations. The analysis focussed on two extreme cases of the space between two facade layers: free solar and wind induced flow in the undisturbed gap between the primary and the mounted glass facade, and the case of complex turbulent flow conditions in the double glass surface area and around the window boxes installed between the facade layers.

It was shown that the basic version of the TRYNSYS software package lends itself well to describing the thermal situation in the space between the facade layers. The findings may be taken as a base for further development of the calculation model for more complex facade structures with partially transparent outside walls (double facades).

The CFD (Computational Fluid Dynamics) calculations performed with the aid of the FLUENT software package also correlated well, in part, with the measurements, although they are more suited for scientific applications than for construction practice due to the considerable hardware requirements and computational effort.