

Forschungsberichtsblatt

Titel: Optimierung von Fassaden zur Vermeidung von sommerlicher Überhitzung

Zuwendungs-Nr.: ZO3K 23001

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Das Thema Doppelfassaden und die damit zusammenhängende Diskussion über den tatsächlichen Wärmeeintrag in dahinter liegende Räumlichkeiten ist in den letzten Jahren ein „heiß“ diskutiertes Thema in der Fachwelt. In zahlreichen Veröffentlichungen wird auf die Vor- und Nachteile, aber auch auf grundsätzliche Anwendung von Doppelfassaden an Gebäuden eingegangen. Die Palette der Meinungen, die im Bezug auf Doppelfassaden vertreten werden, ist sehr unterschiedlich. Für die einen ist es eine energieeffiziente Lösung, um auch in Hochhäusern mit freier Lüftung zu arbeiten, für die anderen ist es schlichtweg eine „Hitzefalle“, deren Auswirkungen nur mit aktiven Kühlsystemen in den Griff zu bekommen ist.

Pauschalaussagen über die thermische Wirkung von Doppelfassaden sind allerdings nur in begrenztem Maß möglich. Zum jetzigen Zeitpunkt bestehen zum Teil Planungsunsicherheiten bezüglich der Luftbewegung in Doppelfassadensystemen. Allgemein anerkannte Richtlinien für die Abschätzung bzw. Berechnung des Kühl- und des Heizenergiebedarfs gibt es bisher nicht.

Die vorliegende Forschungsarbeit sollte Aufschluss über das Strömungsverhalten und die dazugehörigen Wärmeübergänge in durchströmten Fassadenkonstruktionen geben, um insbesondere den thermischen Eintrag in den dahinter liegenden Raum zu bestimmen. Um die Entwicklung weiterer Fassaden- und Sonnenschutzsystemen zu beschleunigen, sollte aus den Untersuchungsergebnissen eine Planungssoftware entwickelt werden.

Das Strömungsverhalten in Doppelfassaden wurde im Labor hauptsächlich an einem Plattenprüfstand mit dem Strömungsmessverfahren „Particle image velocimetry“ (PIV-System) durchgeführt. Betrachtet wurden die unterschiedlichsten Plattentemperaturen (symmetrisch und unsymmetrisch beheizt) in den Bereichen zwischen 13°C und 50°C. Dabei wurde das sich einstellende Strömungs- und Temperaturprofil ermittelt und mit Strömungssimulationen verglichen. Damit war es möglich die Strömungssimulationen (durchgeführt mit FLUENT) zu validieren, um daraus wiederum die Wärmeübergangskoeffizienten des Systems zu erhalten. Ebenfalls wurden in der vergleichenden Untersuchung verschiedene strömungstechnische Berechnungsmodelle (laminar, $k\varepsilon$ -, $k\omega$ -Modell) den Messungen gegenübergestellt, die sich hinsichtlich der

Turbulenzberechnung unterscheiden. Um allgemein gültige Berechnungsgleichungen für die Nusselt-Korrelationen zur Verwendung in einem Berechnungsprogramm zu erhalten, erfolgte ein Vergleich mit verschiedenen in der Literatur vorhandenen Angaben. Die Berechnungsgleichungen mit den besten Übereinstimmungen für die drei Fälle Eigenkonvektion, Mischkonvektion und erzwungene Strömung wurden in ein dynamisches Simulationsprogramm integriert. Das entwickelte, benutzerfreundliche Simulations-Tool zur Berechnung des thermischen Verhaltens von Doppel-Fassadensystemen in der Planungsphase, lässt sich in das kommerzielle Gebäude- und Anlagen Programm TRNSYS einbinden, kann aber auch als eigenständiges Programm verwendet werden. Es können zum einen Gesamtenergiedurchlassgrade von Fassadensystemen, als auch die resultierenden Heiz- und Kühlenergie berechnet werden.

Um reale Messdaten zu erhalten, erfolgte eine Vor-Ort-Messung am Zeppelin-Carre´ in Stuttgart. Neben dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Fassade (bei unterschiedlichen Stellungen des Sonnenschutzes), wurden die durch die Temperatur- und Strömungsrandbedingungen induzierten Luftwechselraten in den Innenraum bestimmt.

Nach dem Umbau bzw. Erweiterung des Sonnensimulators war es möglich den resultierenden Gesamtenergiedurchlassgrad von raumhohen Doppelfassaden im Labor zu bestimmen. Die Fassade am Zeppelin-Carre´ wurde nachgebaut, so dass das entwickelte Planungstool neben den Ergebnissen am realen Gebäude durch zusätzlichen Labormessungen überprüft werden konnte. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messungen und Berechnung mit dem Planungstool.

Die Änderung der Anordnung des Sonnenschutzes innerhalb der Doppelfassade ergab keine nennenswerten Abweichungen im Gesamtenergiedurchlassgrad. Auswirkungen zeigten sich bei der Spaltauslasstemperatur, die den höchsten Wert bei Anordnung des Sonnenschutzes nahe der Innenverglasung ergab. Sonnenschutzeinrichtungen mit geringeren Reflexionskoeffizienten (z.B. 0,43) erhöhen die Oberflächentemperatur des Sonnenschutzes um 2K. Weitere Untersuchungen fanden mit unterschiedlichen Neigungswinkeln der Lamellen und verschiedenen Einströmquerschnitten in die Fassade statt. Bei einem freien Einströmquerschnitt von 10%, ergaben sich dabei Temperaturerhöhungen in der Fassade von 6K. Diese kann bei vollständig freiem Einströmquerschnitt in die Fassade (untersucht bis max. 44%) auf 2 K reduziert werden.

Zusätzlich wurde mit den gemessenen Randbedingungen am Zeppelin-Carre´ eine dynamische Gebäudesimulation durchgeführt und der Lüftungs- und Kühlenergiebedarf im Vergleich zu einer konventionellen Fassade ermittelt. Der Kühlenergiebedarf erhöht sich bei

Verwendung der Spaltemitteltemperatur als maßgebliche Zulufttemperatur in den Innenraum um den Faktor 4,6. Dies führt je nach Außenklima, inneren Lasten und Bauweise zu Temperaturen über 26°C. Bei vollem Komfortbedarf ($\vartheta_{\text{Raum}} < 26^\circ\text{C}$) ist es nur durch den Einsatz von Kältemaschinen, oder wie in verschiedenen Veröffentlichungen vorgeschlagen, mit einer weitestgehenden Umgehung der Fassade möglich, diesem Anspruch gerecht zu werden.

2. Fortschritte für die Wissenschaft/Technik

Zur Validierung von Strömungssimulationen mit der CFD-Software FLUENT wurden Strömungs- und Temperaturprofile an einem speziellen Fassadenprüfstand ermittelt. Die Messungen im Labor erfolgten dabei (ohne Beeinflussung der Strömung) mit dem Strömungsmessverfahren „Particle image velocimetry“ (PIV-System). Da diese Art der Strömungsermittlung in Fassaden einen neuen Ansatz darstellt, musste die Anpassung und Einrichtung der Messmethodik im Vorfeld durchgeführt werden.

Der Versuchsaufbau und die Messungen des Strömungsverhaltens in einer Doppelfassade dienten neben der Strömungsvisualisierung, dem Vergleich von numerischen Simulationsrechnungen. Da vor allem bei freier Konvektion die Auswahl der Simulationsrandbedingungen das Ergebnis stark beeinflusst, sind vergleichende Messungen unbedingt erforderlich.

Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass der aus den CFD Simulationen berechnete konvektive Wärmestrom richtig berechnet wird, wenn Strömungs- und Temperaturprofil den gemessenen Verläufen entspricht. Diese Annahme ist für eine praxisnahe, ingenieurmäßige Betrachtung ausreichend und wird im Weiteren durch Vergleiche mit Nusselt-Korrelationen aus der Literatur bestätigt. Vergleichende Messungen des Wärmestromes mit Wärmestrommessern am Versuchsaufbau lieferten keine aussagekräftigen Ergebnisse, da hier nur der Gesamtwärmestrom gemessen werden kann, der sich aus konvektiven und strahlungsbedingten Anteilen zusammensetzt. Vor allem bei asymmetrischen Fassadentemperaturen erweist sich eine nachträgliche Separation von Strahlungs- und Konvektionsanteil als schwierig, da zum einen die Emissionskoeffizienten der Oberflächen nur unzureichend bekannt sind und zum anderen der theoretische Ansatz zur Berechnung des Strahlungsanteils (unendlich ausgedehnte parallele Platten) im Bereich der unteren und oberen Fassadenbereiche nicht mehr gilt.

Zur Visualisierung der Strömungsverhältnisse im Luftspalt der Doppelfassade wurden kleinste Partikel verwendet, die zum einen in einer ausreichenden Anzahl vorhanden sein

müssen, um statistische Auswertungen zu ermöglichen und zum anderen das Strömungsverhalten nicht beeinflussen. In der vorliegenden Untersuchung wurden hierfür Helium-Blasen und Ölnebel verwendet.

Das strömungstechnische Messverfahren (PIV-System) zeigte sich als sehr geeignete Methode, um Strömungsprofile über die Fassadenbreite (ohne Eingriff durch Anemometer in die Strömung) zu ermitteln und auf dieser Grundlage Simulationsrechnungen zu validieren. Da Simulationsrechnungen stark von den Eingabeparametern abhängen, stellt der Abgleich mit der beschriebenen Messmethodik eine schnelle und aussagekräftige Überprüfung dar. (ohne Eingriff in das System)

3. Empfehlungen für die Praxis

Zur Berechnung des thermischen Verhaltens von Doppel-Fassadensystemen in der Planungsphase wurde ein benutzerfreundliches Simulations-Tool entwickelt, das sich zum einen in das kommerzielle Gebäude- und Anlagen Programm TRNSYS einbinden lässt und zum anderen als eigenständiges Programm verwendet werden kann.

Das instationäre Programm berücksichtigt die thermische Masse der einzelnen Fassadenschichten und beinhaltet verschiedene Nusselt-Korrelationen aus der Literatur zur Berechnung der strömungstechnischen Vorgänge im Fassadenspalt bei Eigenkonvektion. Auch für den Fall von Fassadensystemen mit erzwungener Konvektion sind diverse empirische Korrelationen in das Programm integriert. Zudem wird der Strahlungsdurchgang durch die verglaste Fassade in Abhängigkeit des Sonnenstandes und der optischen Eigenschaften berechnet. Neben der Verwendung für verglaste Doppelfassaden, lassen sich beliebige Fassadenkonstruktionen unter Einbindung unterschiedlichster Schichtaufbauten erstellen.

Alle für die Simulation benötigten Randbedingungen lassen sich als Einzelwert vorgeben oder zeitabhängig aus einem Datensatz einlesen.

Maximal lassen sich Konstruktionen mit bis zu 10 unterschiedlichen Schichten definieren. Optional können jeder Baustoffschicht konstante oder zeitabhängige innere Wärmequellen zugeordnet werden. Für den Fall von transparenten Bauteilschichten entsprechen die Wärmequellen den absorbierten Strahlungsanteilen und werden vom Programm automatisch

in Abhängigkeit des Einfallswinkels automatisch berechnet. Für den Fall mehrerer Verglasungsschichten werden auch Reflexionen zwischen den Scheiben berücksichtigt.

Für die Einbindung dieses Modells in eine Gebäude- und Anlagensimulation wurde der Quellcode umgearbeitet und in Form einer Dynamic Link Library (DLL) kompiliert. Damit lässt sich das Simulationsmodell in bereits vorhandene Simulationsprogramme wie zum Beispiel TRNSYS integrieren.

Alle Vergleiche im Labor und an realen Fassadensystemen zeigen eine hinreichend genaue Übereinstimmung zwischen Messwerten und simulierten Ergebnissen. Damit ist das entwickelte Fassadenmodell bestens geeignet, bereits im Planungsstadium die energetischen Auswirkungen von hinterlüfteten Doppelfassaden vorauszuberechnen.

Neben der Ermittlung des Kühl- und Heizenergiebedarfes durch die dynamische Gebäudesimulation, kann die Entwicklung neuer Fassaden- und Sonnenschutzsysteme damit beschleunigt werden.