

Planungshilfsmittel bei der Auslegung von Doppelfassaden

Joachim Borth (Referent), Elia Zaccheddu
Sulzer Infra Lab AG
Zürcherstr. 19, 8401 Winterthur
Joachim.borth@sulzer.ch, elia.zaccheddu@sulzer.ch

Zusammenfassung

Doppelfassaden sind seit einigen Jahren besonders bei Architekten sehr beliebt. Dafür sind vielfach ästhetische Gründe Ausschlag gebend. Gleichzeitig verspricht man sich aber auch Energieeinspareffekte. Grundsätzlich sollte in einem Sulzer-internen Entwicklungsprojekt ein klares Vorgehen bei der Auslegung und Optimierung von Doppelfassaden festgelegt werden.

Es wurde ein dreistufiges Vorgehen gewählt. 1.: Für die Phase des Vorprojekts wurde ein einfaches Auslegungstool entwickelt, mit dem die prinzipielle Funktionsweise des Konzepts überprüft werden kann. 2.: Mit der thermischen (dynamischen) Gebäudesimulation wird die Kopplung der Doppelfassade an das ganze Gebäude erfasst, der Energiehaushalt berechnet und auch die Regelstrategie optimiert. 3.: Die numerische Strömungssimulation (CFD) liefert detaillierte Ergebnisse zur Strömung und Temperaturverteilung in der Doppelfassade. Bei diesem Verfahren wurden wichtige Fortschritte bei der Modellierung des Strahlungswärmeaustauschs erzielt.

Das Vorgehen und Resultate werden anhand von Praxisbeispielen erläutert. Dem Planer werden durch die Berechnungsverfahren Methoden zur Verfügung gestellt, um vom Konzept bis zur endgültigen Auslegung Doppelfassaden sicher berechnen zu können.

Der Anlagenbauer, der für die einwandfreie Funktion des Systems und für den Komfort der Benutzer mit garantieren muss, kann die Funktionsweise eines vorliegenden Entwurfs überprüfen, um Risiken bei der Ausführung von Anlagen weitestgehend auszuschalten.

Résumé

Les doubles façades sont devenues très populaires chez les architectes ces dernières années. Des raisons esthétiques sont la plus souvent cause. Au même temps on attend aussi des effets d'économie d'énergie. Un projet de développement interne de Sulzer avait comme base de fixer un procédé clair pour l'aménagement et l'optimisation des doubles façades.

Un procédé à trois étapes a été choisi: 1. Pour la phase de l'avant-projet un instrument d'aménagement simple était développé, avec lequel le fonctionnement principal du concept peut être testé. 2. Avec la simulation thermique (dynamique) du bâtiment le couplage de la double façade au bâtiment entier est enregistré, l'état énergétique calculé et aussi la stratégie de réglage est améliorée. 3. La simulation numérique des fluides (CFD) fournit des résultats détaillés concernant l'écoulement et la distribution des températures de la double façade. Ce procédé permettait des importants progrès avec le modelage de l'échange de chaleur par radiation.

Le procédé et les résultats sont expliqués à l'aide des exemples pratiques. Grâce aux procès de calculs des méthodes sont à disposition du planificateur qui permettent des calcul sûrs du concept jusqu'à l'aménagement définitif des doubles façades.

Le constructeur qui doit garantir le fonctionnement impeccable du système et le confort des utilisateurs peut tester la manière de fonctionnement d'un plan pour éliminer largement les risques durant la réalisation des systèmes.

1. Ausgangslage und Ziel des Projektes

Doppelfassaden sind seit einigen Jahren besonders bei Architekten sehr beliebt. Um die Fassade im ursprünglichen Sinn, die die Innenseite des Gebäudes von der Umgebung trennt, wird eine weitere Hülle meist aus Glas gelegt. Dafür sind vielfach ästhetische Gründe ausschlaggebend. Gleichzeitig verspricht man sich aber auch Energieeinspareffekte, weil der Zwischenraum nicht nur als weitere Wärmedämmung wirkt, sondern auch durch den Treibhauseffekt zusätzlich erwärmt wird. Vielfach wird daraus die Erwartung an den Planer und auch an den Anlagenbauer abgeleitet, eine auf ein Minimum reduzierte Haustechnik zur Verfügung stellen zu können. Die mögliche Überhitzung im Sommer wird häufig unterschätzt.

Allgemein anerkannte Richtlinien für die erste Abschätzung des Kühl- und Heizenergiebedarfs oder der erforderlichen Spitzenleistungen liegen bisher nicht vor. Grundsätzlich sollte in einem Sulzer-internen Entwicklungsprojekt ein klares Vorgehen bei Auslegung und Optimierung von Doppelfassaden entwickelt werden. Mit diesem Vorgehen sollten zwei Punkte erreicht werden:

- Dem Planer sollen Methoden zur Verfügung stehen, um vom Konzept bis zur endgültigen Auslegung Doppelfassaden sicher berechnen zu können.
- Der Anlagenbauer, der letztendlich für die einwandfreie Funktion der Haustechnik und den Komfort der Benutzer garantieren muss, soll in der Lage sein, die Funktionsweise eines vorliegenden Entwurfs zu überprüfen, um Risiken bei der Ausführung von Anlagen weitestgehend auszuschalten.

2. Vorgehen

Es existieren die verschiedensten Typen von Doppelfassaden. Um eine sichere Auslegung zu gewährleisten muss ein Vorgehen bzw. müssen Methoden und Hilfsmittel entwickelt oder eingesetzt werden, die ein breites Spektrum von unterschiedlichen Fassadenvarianten zulassen und eine grosse Freiheit bei der Untersuchung der relevanten Parameter anbieten.

Bei der Bearbeitung von Projekten, mit denen sich Gesellschaften von Sulzer bisher in den letzten beiden Jahren beschäftigten, hat sich herausgestellt, dass für die folgenden Fragestellungen bzw. Projektphasen bestimmte Hilfsmittel benötigt werden:

- In der Konzeptphase soll eine einfache und schnelle Berechnungsmethode bei der Vorauswahl für verschiedene Fassadenentwürfen helfen. Durch die Variation von Parametern, wie der Eigenschaft eines Sonnenschutzes, wie dem g- und k-Wert der Verglasung von innerer und äusserer Fassade oder wie den Öffnungsflächen zur Lüftung des Innenraums soll die Wirkung auf die äusseren Lasten oder den Komfort in angrenzenden Räumen untersucht werden. So sollen Entscheidungen erleichtert werden, ob eine durchgehende oder geschossweise getrennte Doppelfassade geplant wird oder ob z.B. bei nicht klimatisierten Gebäuden in der Nordwestfassade ein Sonnenschutz erforderlich ist.
- In der Planungsphase muss der Energiebedarf für Heizen und Kühlen bestimmt und die HLK-Anlagen bezüglich Heiz- und Kühlleistungen dimensioniert werden. Um diese Werte sicher zu bestimmen aber auch um weitere Einsparpotentiale zu erkennen, muss die Berechnungsmethode möglichst grosse Freiheit bei der Modellierung des Gebäudes zulassen. Aufgrund des komplexen Zusammenspiels von zeitabhängigen äusseren Lasten, Gebäudedynamik und Benutzerverhalten ist hier ein transientes Verfahren erforderlich.
- Auch für die Regelung/Steuerung der Doppelfassade ist eine instationäre Berechnungsmethode erforderlich, die die Modellierung von Bedingungen für die Steuerung der Lüftungsklappen in der Fassade, für den Sonnenschutz, für die gesamte HLK-Technik oder für das elektrische Licht zulässt.
- Detailanalyse des Komforts im Innenraum, der nicht nur von der Innentemperatur sondern auch von Strahlung und Luftgeschwindigkeit beeinflusst wird.

- Strömungsanalyse in der Doppelfassade, um den natürlichen Luftwechsel und um die lokale Geschwindigkeitsverteilung zu ermitteln. Vibrationen bzw. ein Flattern des Sonnenschutz sollen ausgeschlossen werden.

Statische Heiz- und Kühllastberechnungen sind nicht geeignet, die Fragen in Zusammenhang mit Doppelfassaden zu beantworten, da wichtige Modellierungsschritte für diese Anwendungen fehlen. Analysiert man Methoden wie die thermische Gebäudesimulation und die numerische Strömungssimulation hinsichtlich ihrer Modellierungsmöglichkeiten aber auch bezüglich der Komplexität und des Aufwandes bei der Bearbeitung, so ergibt sich für die vorher genannten Aufgabenstellungen die Wahl folgender Verfahren:

Konzeptentwurf bzw. -überprüfung	neues Hilfsmittel wird auf der Basis einer Mathematiksoftware programmiert
Gebäudeenergie- und Leistungsbedarf	thermische Gebäudesimulation mit speziellem Modell für die Doppelfassade
Regelung/Steuerung der Doppelfassade	thermische Gebäudesimulation mit speziellem Modell für die Doppelfassade
Einflüsse auf dem Komfort im Innenraum	numerische Strömungssimulation; Berücksichtigung des kurzwelligen und langwelligen Strahlungswärmeaustauschs oder thermische Gebäudesimulation
Strömungsanalyse in der Doppelfassade	numerische Strömungssimulation

Tabelle 1: Wahl eines Berechnungsverfahrens in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung.

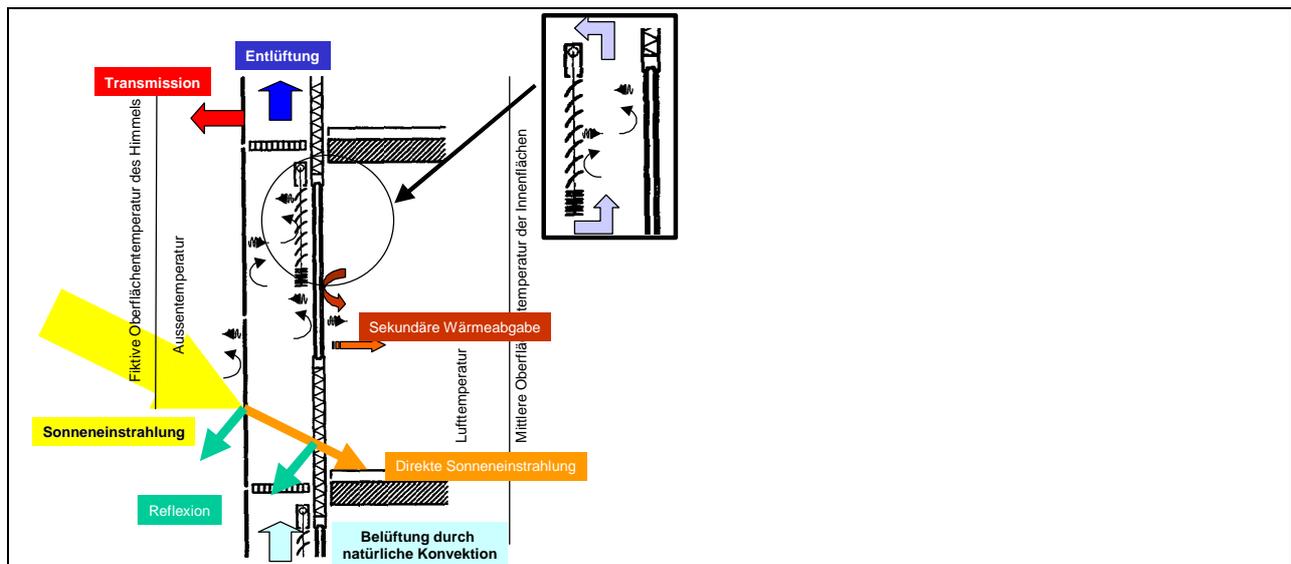


Abbildung 1: Wärmestrombilanzen an einer Doppelfassade

3. Stationäres, Berechnungsverfahren für Doppelfassaden

Methode

Bei dem Verfahren handelt es sich um eine stationäre, eindimensionale Methode, die im wesentlichen dazu dient, den unbekanntem Wärmedurchgang durch das System Doppelfassade zu berechnen, da man auf verlässliche g-Werte für die Kombination aus den drei Schichten von äußerer Glasfassade, Sonnenschutz und innerer Fassade nicht zurückgreifen kann.

Das Modell beruht darauf, dass für jede Fläche, die sich als Knoten betrachten lässt, eine Wärmebilanz aufgestellt wird (Abb. 1). Sie umfasst die Wärmeströme infolge der absorbierten

Solarstrahlung, der ausgetauschten Infrarotstrahlung, der Konvektion und Wärmeleitung. Folgende Flächen werden betrachtet: Aussenseite der äusseren Verglasung, Innenseite der äusseren Verglasung, zur Aussenseite weisende Oberfläche des Sonnenschutzes, zur inneren Fassade weisende Oberfläche des Sonnenschutzes, Aussenseite der inneren Verglasung und die Innenseite der inneren Verglasung. Dies ergibt zunächst 6 unbekannte Oberflächentemperaturen. Durch den konvektiven Wärmeübergang im Zwischenraum von Sonnenschutz und Aussenfassade sowie von Sonnenschutz und Innenfassade ergeben Bestimmungsgleichungen für 2 weitere unbekannte Lufttemperaturen, vor und hinter dem Sonnenschutz. Diese Temperaturen werden mit Hilfe des Energietransport durch den natürlichen Luftwechsel für den Luftraum vor und hinter dem Sonnenschutz gelöst.

Um die Temperaturschichtung in der Fassade zu erfassen und um den natürlichen Luftaustausch zu berechnen, wird die Doppelfassade in praktischerweise 5 Hauptzonen (Temperaturknoten) unterteilt. Die Zonen sind nur über den für die ganze Fassade konstanten Luftvolumenstrom gekoppelt. Die mittlere Lufttemperatur der Zone i ist die Eintrittstemperatur der Zone i+1. Es wird sowohl der Luftwechsel für die ganze Doppelfassade als auch der interne Luftwechsel zwischen Sonnenschutz und Innenhaut für jede thermische Zone berechnet. Die Vorwärmung im Luftspalt zwischen Sonnenschutz und Innenhaut wird direkt an den gegenüberliegenden Luftknoten im Luftraum zwischen Sonnenschutz und Aussenhaut übertragen.

Randbedingungen sind die Sonneneinstrahlung, die Aussentemperatur, eine fiktive Oberflächentemperatur des Himmels, die Innentemperatur der angrenzenden Räume und deren mittlere Oberflächentemperatur an den Wänden.

Für die Lösung des Gleichungssystems wird üblicherweise eine mathematische Software verwendet. Die Berechnung erfolgt in wenigen Sekunden.

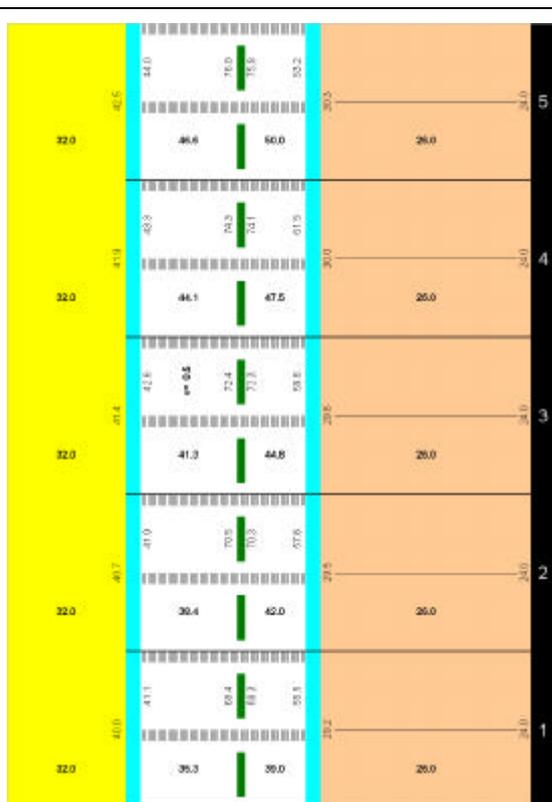


Abbildung 2 Ergebnisse aus dem stationären Berechnungsverfahren für Doppelfassaden für einen nicht reflektierenden Sonnenschutz

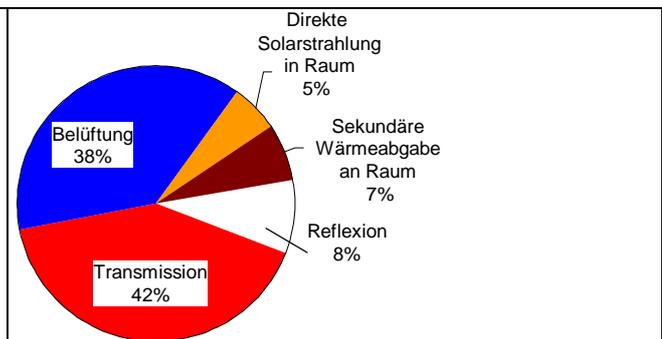


Abbildung 3 Energiebilanz an der Doppelfassade für einen dunklen Sonnenschutz; Belüftung = Wärmeabfuhr durch natürliche Belüftung der Doppelfassade; Reflexion = Reflexion der Solarstrahlung am Sonnenschutz zurück in die Umgebung; Transmission = Wärmeübergang an der Aussenhaut der Doppelfassade

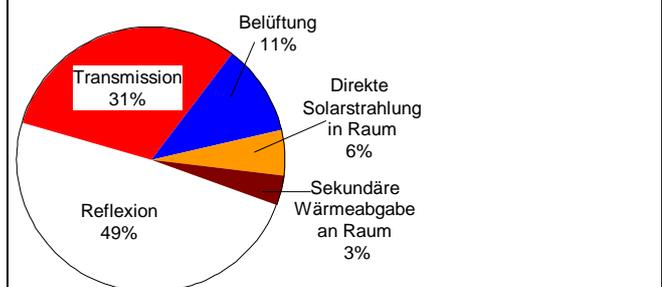


Abbildung 4 Energiebilanz an der Doppelfassade für einen weissen reflektierenden Sonnenschutz;

4. Resultate am Beispiel eines Bürohauses mit Doppelfassade

Als Beispiel dient hier das Projekt eines Bürohauses in Blandonnet. Im Auftrag von Sulzer Infra Romandie wurde die Wirkung von verschiedenen Sonnenschutztypen beurteilt. Als Ergebnis liegen Temperaturprofile über die Höhe der Doppelfassade vor (Abb. 2). Für jede Zone lassen sich so die Lufttemperatur in der Doppelfassade und hinter dem Sonnenschutz bestimmen. Für die Beurteilung des Komforts ist insbesondere an der inneren Fassade die Oberflächentemperatur der Scheibe zum Raum von Interesse.

Aus der Energiebilanz an der Doppelfassade sind für die Beurteilung des Kühlbedarfs im Gebäude die Anteile für direkte Solarstrahlung und für den indirekten Wärmeeintrag durch Solarstrahlung in den Raum ausschlaggebend (Abb. 3 - 4). Die mittlere vertikale Luftgeschwindigkeit ergibt sich aus der Berechnung der natürlichen Konvektion durch die Fassade bei geöffneten Klappen.

5. Anpassungen bei der thermischen (dynamischen) Gebäudesimulation

Die thermische Gebäudesimulation ist das Verfahren, mit dem am besten eine genaue Ermittlung des Energiebedarfs des Gebäudes vorgenommen werden kann. Das hier eingesetzte Verfahren TRNSYS bietet die umfangreichsten Möglichkeiten, die gesamte Haustechnik in Verbindung mit der Doppelfassade transient zu modellieren. Die zeitliche Steuerung von Licht, die Eingabe des Benutzerverhaltens oder der Einsatz der WRG lassen sich optimieren.

Um Doppelfassaden mit einem Durchtritt der Solarstrahlung in die Büroräume berechnen zu können, waren spezielle Anpassungen des Modells notwendig, die nun in der jüngsten Version standardmässig als Modell verfügbar sind. Für die Modellierung der freien Konvektion in der Doppelfassade wurde ebenfalls ein eigenes Modell entwickelt, das alle Zonen miteinander verknüpft und Strömungswiderstände durch Gitter und Lüftungsklappen zulässt.

6. Berücksichtigung des Strahlungswärmeaustausch in der numerischen Strömungssimulation

Mit der numerischen Strömungssimulation werden die Luftgeschwindigkeiten nach Betrag und Richtung sowie die Temperaturverteilung berechnet. Der Strömungsraum, z.B. die Doppelfassade muss vorher als Geometrie eingegeben und dann durch ein Gitternetz in Volumenelemente aufgeteilt werden. Die Genauigkeit wächst mit der Anzahl der Volumenelemente und ist nur durch die Computerkapazität begrenzt.

Der Wärmetransport wird nicht nur aufgrund der konvektiven Vorgänge berechnet sondern auch mit Modellen für die Solarstrahlung und den infraroten Wärmeaustausch. Für die Anwendung an Doppelfassaden waren Anpassungen der Software und umfangreiche Tests notwendig, die auch bei Sulzer durchgeführt wurden.

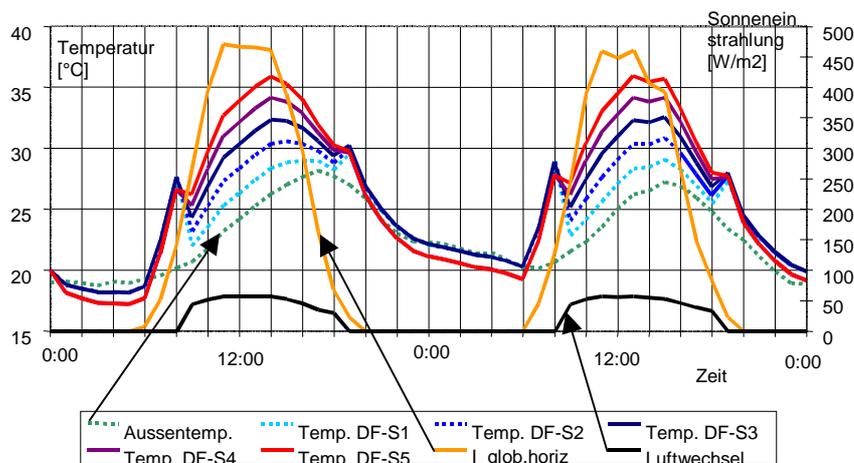


Abbildung 5 Aussentemperatur, Solarstrahlung, Luftwechsel und Lufttemperaturen in der Doppelfassade auf verschiedenen Höhen als Funktion der Zeit

7. Planungsstudie am Umbau des Sulzer Escher Wyss in Zürich

Im Projekt für die Sanierung des ehemaligen Hochhauses von Sulzer Escher Wyss ist die Konstruktion einer Doppelfassade vorgesehen. In einer Studie im Auftrag der IE Industriebau Engineering AG wurde durch das Sulzer Infra Lab untersucht, ob die Doppelfassade als Solarluftkollektor zur Erwärmung der Zuluft im Winter beiträgt und so den Energieverbrauch des Gebäudes senkt.

Mit einer thermischen Gebäudesimulation konnte der tiefe Heiz- und Kühlbedarf nachgewiesen werden. Ausserdem konnten verschieden Lastfälle für den Betrieb untersucht werden, um die Spitzenheiz- bzw. -kühlleistungen festzulegen.



Abbildung 6 Projektbild des geplanten Hochhaus-Umbaus

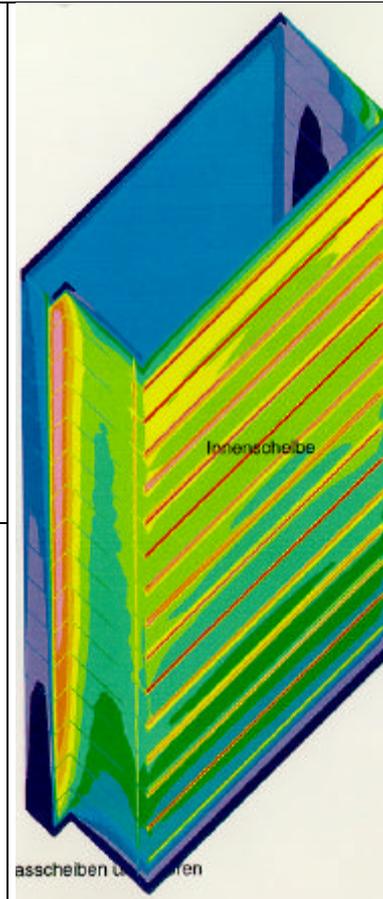


Abbildung 7 Oberflächentemperaturen in der Doppelfassade

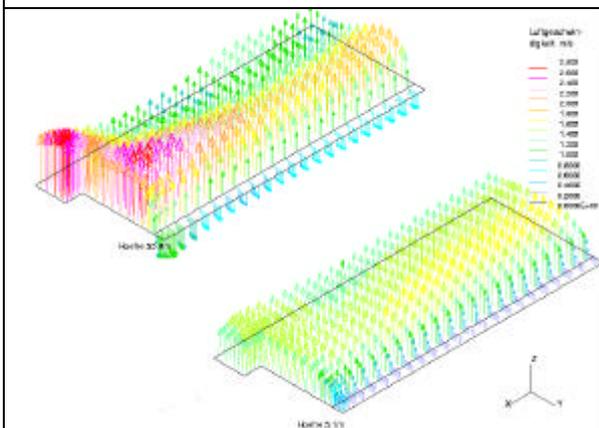


Abbildung 8 Luftgeschwindigkeiten in der Doppelfassade bei Öffnung der Lüftungskappen

Um Unsicherheiten des Bauherrn bezüglich der Funktionsweise der Doppelfassade im Hochsommer auszuräumen wurde eine Strömungssimulation durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Luft im Hochsommer um 10 K zwischen der vollgeöffneten Eintrittsklappe am Fuss und dem Austritt am oberen Ende erwärmt. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit erreicht 1.4 m/s. Entsprechende Vorkehrungen für die Stabilität des Sonnenschutzes müssen evtl. getroffen werden. Störende Strömungsgeräusche, die in den Büros zu hören wären, sind nicht zu erwarten. Die Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Fensterscheiben, die das Komfortempfinden der Personen in Büros direkt beeinflussen, liegen mit Maximaltemperaturen von 32°C im unkritischen Bereich und können durch den Einsatz von Gläsern mit niedrigerem k-Wert weiter gesenkt werden.

Ein Vergleich der Oberflächentemperaturen ergab eine gute Übereinstimmung zwischen den Werten aus der Berechnung mit dem stationären, 2-dimensionalen Verfahren, der thermischen Gebäudesimulation und der Strömungssimulation.

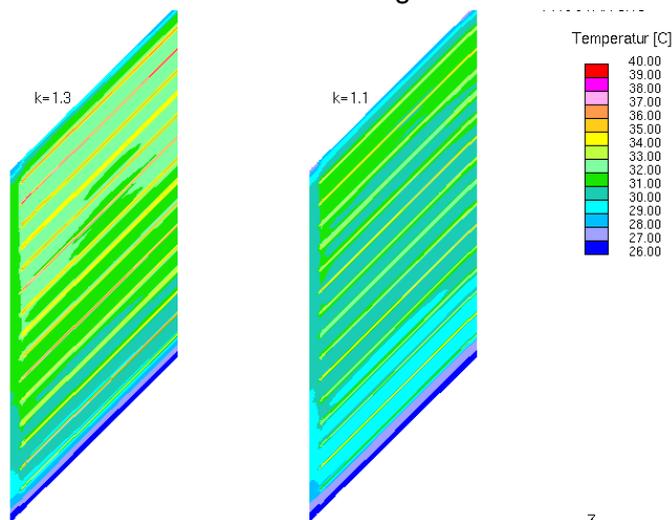


Abbildung 9: Temperaturen an der Innenseite der Bürofenster für die Doppelfassade des Hochhausprojekts Phoenix für verschiedene k-Werte der Innenverglasung

8. Ausblick

Das stationäre, eindimensionale Verfahren stellt natürlich eine Vereinfachung der Wirklichkeit dar. Um die Grenzen der Methode und die Bandbreite der Aussagen besser beurteilen zu können, müssen noch weitere Erfahrung gesammelt werden und die Ergebnisse mit Messungen aus bereits realisierten Projekten verglichen werden. Bei der Verbesserung der Verfahrens steht die Benutzerfreundlichkeit im Vordergrund und eine flexiblere Einteilung in Zonen.

Ein wichtiger Punkt bei allen Simulationsverfahren ist die Ermittlung der Randbedingungen und Stoffwerte. Vielfach fehlen genaue Daten zu den Spektraldaten der Gläsern, wie sie für die thermische Simulation und die Strömungssimulation benötigt werden. Unsere eigene Datenbank wird fortlaufend erweitert. In einem nächsten Projektschritt soll der Einfluss von Stoffdaten und Randbedingungen auf Simulationsergebnisse untersucht werden, um die Randbedingungen zu identifizieren, die die Ergebnisse am stärksten beeinflussen.

Aus der bisherigen Erfahrung lässt sich festhalten, dass die vereinfachten Verfahren gut geeignet sind, um selber von Fachleuten benutzt zu werden, die nicht täglich mit Simulationen befasst sind. Die thermische Gebäudesimulation und die numerische Strömungssimulation dagegen erfordern spezifische Fachkenntnisse und Erfahrungen, so dass diese Simulationen am sinnvollsten von spezialisierten Ingenieuren durchgeführt werden.

