

Jahresbericht 2001

Messung und Simulation von transparenten Bauteilen mit Sonnenschutz

Autor	Dr. Hans Simmler
Beauftragte Institution	EMPA Bauphysik
Adresse	Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 1 823 4276, hans.simmler@empa.ch , www.empa.ch
BFE Vertrags-Nummer	76'985
Dauer des Projekts	1. April 2000 bis 30. September 2003

Für eine zuverlässige Planung von solaren Bauteilen sind Kenntnisse der Eigenschaften und geeignete Planungswerkzeuge erforderlich, welche die Kopplung zwischen Fassade und Gebäude berücksichtigen. Beides ist bis heute nicht ausreichend vorhanden. Aufbauend auf ersten Messresultaten an Sonnenschutzsystemen werden im vorliegenden Projekt messtechnische Untersuchungen an mehrschichtigen Verglasungen mit Sonnenschutz durchgeführt. Daneben werden numerische Modelle solcher Systeme entwickelt und überprüft. Auch das thermische Verhalten von solaren Wandheizsystemen (TWD-Fassaden) wird messtechnisch erfasst und mit verschiedenen Rechenverfahren zur Bestimmung von Solargewinnen verglichen.

Im laufenden Jahr wurde zur detaillierten Modellierung von Strömungsvorgängen in Fassadenbauteilen ein CFD-Programmpaket in Betrieb genommen und validiert. Daneben wurden Arbeiten an einem vereinfachten numerischen Fassadenmodell fortgesetzt, für das eine Benutzerschnittstelle realisiert wird. In verschiedenen Messungen im EMPA-Solarprüfstand wurden Glasfassaden mit Sonnenschutzsystemen und solare Wandheizsysteme untersucht.

Projektziele

Transparente Bauteile wie Isolierverglasungen, solare Wandheizsysteme und Beschattungssysteme beeinflussen den Energiebedarf, den thermischen Komfort und die Tageslichtnutzung in Gebäuden stark. Während die optische bzw. thermische Charakterisierung einzelner Materialien und einfacher Schichtstrukturen heute weitgehend standardisiert ist, gibt es bei komplexen Komponenten wie Verglasungen mit integrierten Beschattungssystemen, belüfteten transparenten Komponenten und Fassadenbauteilen mit transparenter Wärmedämmung (TWD) keine anerkannten messtechnischen und rechnerischen Verfahren zur Leistungsbestimmung im eingebauten Zustand. Entsprechend können die Eigenschaften solcher Komponenten in Gebäudesimulationswerkzeugen und vereinfachten Nachweisverfahren nur ungenau berücksichtigt werden. Im IEA Task 27 / Task 27 "Performance Assessment of Solar Building Components" wirken rund 15 Institute aus 10 Ländern an der Bearbeitung folgender Projektziele mit:

- Bestimmen der thermischen Eigenschaften und Verbesserung von Modellen solarer Komponenten unter Einbezug der Integration in eine Fassade.
- Erarbeiten von Empfehlungen für standardisierte Mess- und Rechenverfahren für die integrale thermische und/oder visuelle Charakterisierung von solaren Fassadenbauteilen inklusive Beschattungssystemen.

Die EMPA will insbesondere Rechenmodelle für transparente Fassadenbauteile mit Sonnenschutz entwickeln, mit Messungen im Aussenklima vergleichen (Fig. 1) und für Gebäudesimulationsprogramme aufbereiten, damit Gebäude bezüglich Kühllasten und thermischer Behaglichkeit in der Planungsphase optimiert werden können. Daneben wird das reale Verhalten von eingebauten Verglasungen und solaren Wandheizsystemen untersucht mit dem Ziel, verifizierte Grundlagen für eine korrekte Berücksichtigung dieser Systeme in Energienachweisen (SIA 380/1) bereitzustellen.



Fig. 1: Der EMPA-Solarprüfstand besteht aus zwei symmetrischen, räumlich getrennten Testzellen (hier mit Prüfraumen und eingebauten Testkomponenten). Dazwischen befindet sich die Aussenklimadatenerfassung mit dem Nachführsystem für die Direktstrahlungsmessung. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

MEHRSCICHT-GLASFASSADEN MIT SONNENSCHUTZ

Im Bereich von Glasfassaden mit Sonnenschutz wurden verschiedene Messungen und Arbeiten an numerischen Modellen durchgeführt. Die abgeschlossene erste Messreihe an verschiedenen Konfigurationen von Sonnenschutzsystemen (Fig. 2) wurden in einem Bericht ausführlich dokumentiert [1]. Die Resultate zeigen, dass unbelüftet in die Verglasung integrierte Sonnenschutzsysteme kritische Wärmelasten im Sommerfall zur Folge haben. Nur mit gut reflektierenden, geschlossenen Lamellen und geeigneten Gläsern kann ein genügender Sonnenschutz erreicht werden. Mit raumseitigem Sonnen- bzw. Blendschutz und normaler Wärmeschutzverglasung ist auch bei günstigen Materialeigenschaften kein ausreichender sommerlicher Wärmeschutz möglich.

Weitere Messungen der EMPA haben gezeigt, dass dazu eine stark absorbierende Sonnenschutzverglasung erforderlich ist, da die Reduktion des Gesamtenergiedurchlassgrades durch den raumseitigen Sonnenschutz relativ nur etwa 15 bis 25 % beträgt.

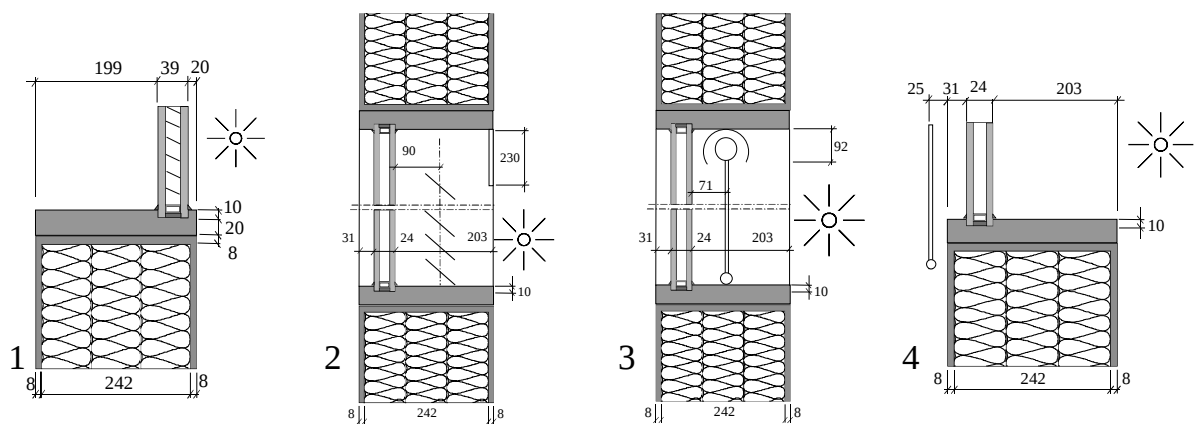


Fig. 2: Untersuchte Kombinationen von Isolierverglasungen und Sonnenschutz

Die detaillierte Modellierung von Glasfassaden wurde durch die Installation des CFD-Programms *FLOVENT* und einen mehrmonatigen Aufenthalt eines Mitarbeiters bei Flomerics (Entwicklungsfirma des Programms) gestartet [2]. Durch den Vergleich von empirischen und CFD-berechneten Korrelationen zwischen konvektivem Wärmetransport und strömungstechnisch-geometrischen Eigenschaften einer Kavität konnte die Qualität des Rechenverfahrens aufgezeigt werden [3]. Im Herbst 2001 wurden Messungen (Solarprüfstand) und Berechnungen an einer 3-Schicht-Fassade mit mechanisch belüftetem Sonnenschutz gestartet (Fig. 3). Die definitiven Auswertungen liegen noch nicht vor.

Das Mehrschicht-Glasfassadenmodell *WinSim* der EMPA wurde bereinigt und liegt nun intern als funktionsfähiger *FORTTRAN*-Code vor. Die Eingabe- und Materialdaten werden noch durch Textfiles definiert. Die Realisierung einer Schnittstelle zur EMPA-Glasdatenbank *GLAD* und einer Benutzerschnittstelle hat im Spätherbst 2001 begonnen.

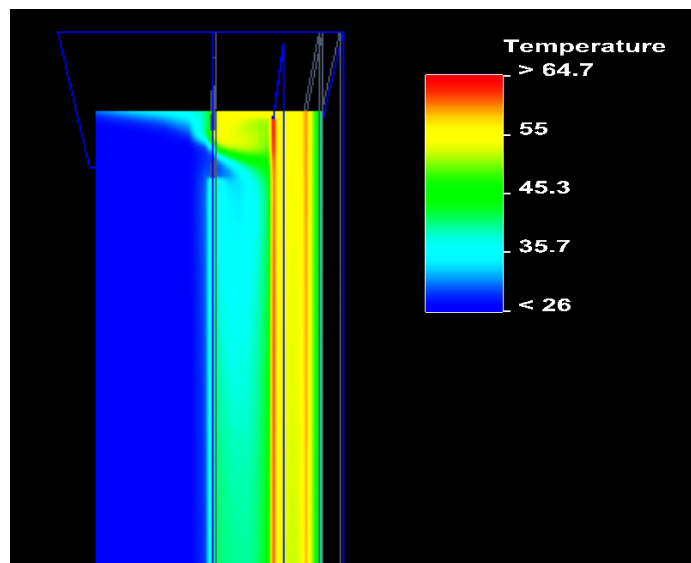


Fig. 3: CFD-berechnete Temperaturverteilung in einer mechanisch belüfteten Doppelfassade (Absaugen von Raumluft oben) mit integriertem Sonnenschutz

WANDANSCHLUSS VON FENSTERN

Im Rahmen einer Vergleichsstudie des IEA Solar Task 27 wurden die Zusatzverluste durch den Anschluss eines Holzfensters an eine aussen isolierte Wandkonstruktion numerisch untersucht [4]. Mit verschiedenen Berechnungswerkzeugen wurde ein integraler linearer Wärmeverlustkoeffizient für den Rahmen-Anschlussbereich bestimmt, der bei üblichen Fenster-Abmessungen etwa dem Wärmeverlust durch die gesamte Glasfläche entspricht (Fig. 4). Die Unterschiede in der Umsetzung von Geometrie, Randbedingungen und der numerischen Behandlung ergaben trotz normierter Berechnungsmethode beträchtliche Abweichungen bei den Resultaten [5]. Eine zweite Vergleichsstudie betreffend g-Wert-Berechnung im eingebauten Zustand (Eigenbeschattung durch Rahmen und Leibungen) ist im Gang.

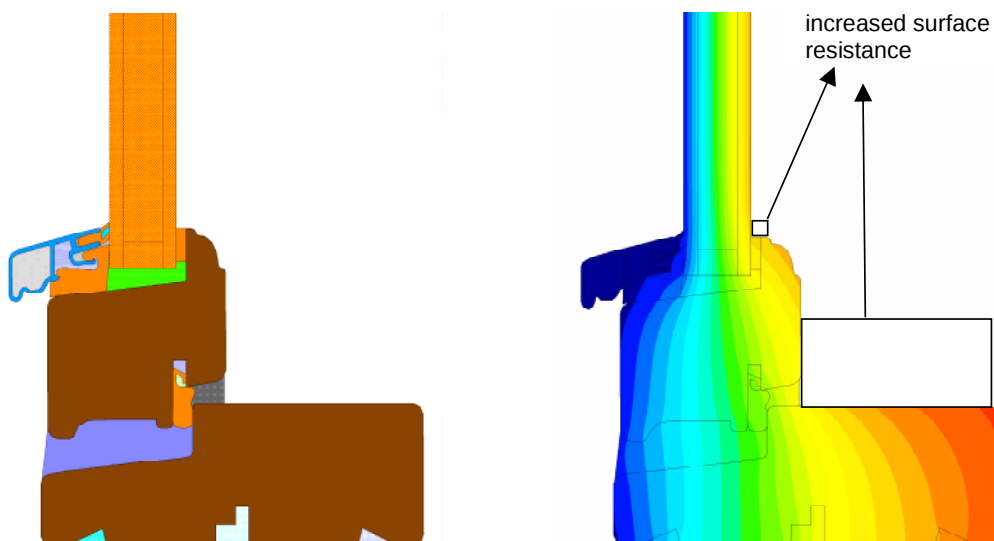


Fig. 4: Schnitt durch ein Fenster mit Wandanschluss (links) und berechnete Isothermen (rechts). Die Wahl der Randbedingungen im Anschlussbereich wirkt sich deutlich auf den berechneten Zusatzverlust aus.

SOLARE WANDHEIZUNG

Verschiedene Messungen wurden an solaren Wandheizsystemen durchgeführt (Fig. 5). Für das TWD-Fassadenmodul *SolFas* [6] (Aluminium-Rahmenkonstruktion mit 14 cm *Okalux*-TWD und integriertem Absorber) sind die Messwerte im Aussenklima und Vergleichswerte in folgender Tabelle zusammengestellt.

Kennwert	Einheit	Messwert	Vergleichswert	Methode Vergleichswert
$g_{\text{transparente Fläche}}$	1	0.49	0.55	Schichtberechnung EN410, EN 832
$U_{\text{Einbaufläche}}$	W/(m ² K)	0.96	0.80	Messung ISO 8990

Zwischen Mess- und Vergleichswerten zeigen sich deutliche Unterschiede, die mit den unterschiedlichen Randbedingungen und systematischen Effekten im eingebauten Zustand zusammenhängen (hohe Temperaturen, Luftaustausch, Feuchteinfluss, Eigenbeschattung, diffuses Strahlungsfeld). Diese Effekte werden durch detaillierte Modellierung weiter untersucht.

Beim *Lucido*-Holzlamellensystem [7] (Holzständer mit Homathermfüllung und Fermacell-Beklankung, aussenseitig horizontaler Holzlamellenschicht mit Luftspalt und Glasabdeckung) wurde ein g-Wert von rund 3 % gemessen, was bei dieser Konstruktion im erwarteten Bereich liegt. Eine Optimierung ist vorgesehen.

Weitere Messungen wurden an einer 4-fach Isolierverglasung mit integrierter Prismenbeschattung und Latentwärmespeicherschicht im Rahmen eines BFE-unterstützten Projekts durchgeführt [8] (Fig. 6). Die Messungen haben gezeigt, dass mit der PCM-Schicht (Phase Change Material) eine wirksame Temperaturregelung und Phasenverschiebung erreicht werden kann, bei einem g-Wert (Sommer) von knapp 20 %.



Fig. 5: TWD-Fassadenmodul *SolFas* (links) und *Lucido*-Holzlamellensystem (rechts) eingebaut im EMPA-Solarprüfstand.

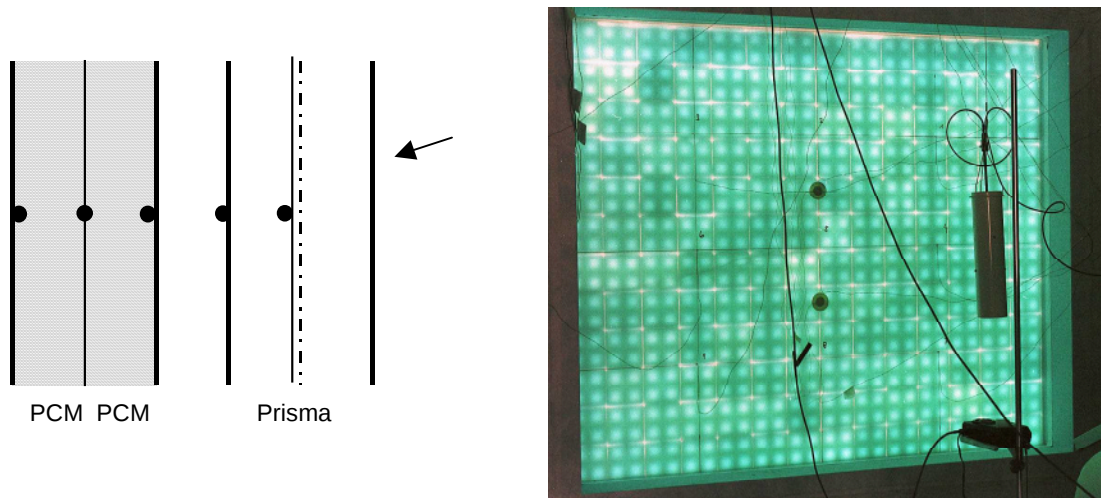


Fig. 6: Schichtaufbau der untersuchten PCM-Verglasung mit integriertem Prisma (links). Die Punkte markieren Temperaturmessstellen. Rechts ein Foto im eingebauten Zustand (Testraum Solarprüfstand). Rechts sind die eingefärbten PCM-Behälter und der unterschiedliche Schmelzgrad des PCMs erkennbar.

Nationale Zusammenarbeit

National entwickelte sich eine gute Zusammenarbeit mit der Industrie. Verschiedene Fassadenbauteile konnten im Rahmen von F+E sowie für Bauprojekte untersucht werden. An der EMPA fand Ende Mai 2001 eine öffentliche Präsentation des Projekts statt, an der auch Industrievertreter teilnahmen. Ende Oktober 2001 wurde an der EMPA ein Workshop für Fassadenbauer und -planer zum Thema "Feldtestverfahren zum solaren und thermischen Verhalten von Fassadenbauteilen" durchgeführt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Aktivitäten der EMPA sind koordiniert mit dem IEA Solar Task 27 "Performance Assessment of Solar Building Components". Im Bereich der Leistungscharakterisierung von Fassadenbauteilen und Sonnenschutzsystemen wirken rund 15 Institute in einem gemeinsamen Projekt mit. Der Schwerpunkt liegt bei mehrschichtigen Glasfassaden mit Sonnenschutzsystem, die durch eine Vielzahl von Messungen und Rechenverfahren untersucht werden. Die EMPA beteiligte sich an 2 Plenarmeinungen (Leitung des Teilprojekts "Solar building components and integrated assemblies") in Berkeley (März 2001) und Rom (Oktober 2001).

Die EMPA ist am EU-Netzwerk *IQ-TEST* (Improving Quality in Test and Evaluation procedures of Solar and Thermal performances of building components, ERK6-CT1999-20003) beteiligt, in dem ein gemeinsamer Qualitätsstandard bei Mess- und Auswerteverfahren für solare Fassadenbauteile angestrebt wird. Die EMPA ist ausserdem assoziiertes Mitglied von *PASLINK EEIG* [9].

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Die starke Nachfrage hat gezeigt, dass das Thema "Solare Fassadenbauteile" mit Überhitzungs- und Nutzungsfragen aktuell bleibt. Der Kompetenzaufbau für die Detailmodellierung von komplexen Fassadenbauteilen konnte planmässig realisiert werden, ebenso erste Messungen an mehrschichtigen belüfteten Glasfassadenelementen mit integriertem Sonnenschutz. Die Arbeiten an einem vereinfachten Fassadenmodell wurden fortgesetzt, vor einer Veröffentlichung sind jedoch noch Anpassungen und Validierungsarbeiten erforderlich.

Im Jahr 2002 sind weitere Messungen im Solarprüfstand an TWD-Systemen im Winter und an Glasfassaden im Sommerhalbjahr geplant. An einzelnen Beispielen werden Unterschiede zwischen Messungen, Detailberechnungen und vereinfachten Modellen quantifiziert und analysiert. Beim vereinfachten Fassadenmodell *WinSim* werden Anpassungen in Bezug auf den Normentwurf ISO/DIS 15099 gemacht und eine Windows-Benutzerschnittstelle für die interaktive Dateneingabe realisiert. Das vereinfachte Modell wird im Rahmen der Gesamterneuerung von HELIOS (Windows-Version in Bearbeitung) in das Programm integriert (Zeitraum Herbst 2002/Frühling 2003).

Referenzen

- [1] H. Simmler, B. Binder, R. Vonbank, **Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme**, Schlussbericht BFE/EMPA, Dezember 2000.
- [2] **FLOVENT 3.2**, FLomerics Ltd, Hampton Court, Surrey KT8 9HH UK.
- [3] H. Manz, **Numerical Simulation of Heat Transfer by Natural Convection in Cavities of Façade Elements**, eingereicht zur Publikation in *Solar Energy*.
- [4] K. Ghazi Wakili, **Working Document r-A3(5)-CH-2**, IEA Task 27.
- [5] T. Nielsen, **Working Document r-A3(5)-DTU-trn(3)**, IEA Task 27.
- [6] **Ernst Schweizer AG**, CH-8908 Hedingen.
- [7] **Fent Solare Architektur**, Rudenzburg, CH-9500 Wil.
- [8] **TWD-Fassadenelement mit integriertem Latentspeicher und Sonnenschutz**, BFE-Projekt Nr. 38108, Architekturbüro D. Schwarz, CH-7013 Domat/Ems.
- [9] **PASLINK European Economic Interst Grouping of Outdoor Test Centres (EEIG)**, c/o Belgian Building Research Institute (BBRI), Violetstraat 21-23, B-1000 Brüssel (<http://www.paslink.org>).