

Jahresbericht 2002

Messung und Simulation von transparenten Bauteilen mit Sonnenschutz

Autor	Hans Simmler
beauftragte Institution	EMPA Bauphysik
Adresse	Ueberlandstr. 129, CH-8600 Dübendorf
E-mail,	hans.simmler@empa.ch
BFE Vertrags-Nummer	37'227
Dauer des Projekts (von – bis)	1. April 2000 bis 30. September 2003

ZUSAMMENFASSUNG

Die EMPA entwickelt im Rahmen der IEA Solar Task 27 Rechenmodelle für Glasfassadenbauteile mit Sonnenschutz, die durch Messungen im Aussenklima verifiziert werden. Vereinfachte Ansätze für Gebäudesimulationsprogramme werden erarbeitet, damit Gebäude bezüglich Kühllasten und thermischer Behaglichkeit in der Planungsphase optimiert werden können. Daneben wird das reale Verhalten von solaren Wandheizsystemen mit transparenter Wärmedämmung untersucht, um gesicherte Grundlagen für die Berücksichtigung der Gewinne in Energienachweisen (SIA 380/1) bereitzustellen.

Im Berichtsjahr wurden detaillierte Berechnungen und Messungen im Aussenklima an einer mehrschichtigen, belüfteten Glasfassade mit Sonnenschutz durchgeführt. Die Vergleiche von Messungen und Berechnungen zeigen eine gute Übereinstimmung des dynamischen Verhaltens. Vereinfachte Modelle zur Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades können jedoch zu relativ grossen Abweichung führen, falls die effektiven Strömungsverhältnisse komplexer sind als für die Berechnung angenommen wird.

Die realen Eigenschaften von transparenter Wärmedämmung wurden weiter untersucht. Es zeigte sich, dass der Gesamtenergiegewinn im eingebauten Zustand durch Wärme- und Strahlungstransmissionsverluste merklich reduziert werden kann.

Projektziele

Fassadenbauteile mit solar durchlässigen Komponenten haben einen grossen Einfluss auf den Kühl- und Heizenergiebedarf, den thermischen Komfort und die Tageslichtnutzung in Gebäuden. Bei mehrschichtigen Glasfassaden und Sonnenschutzsystemen geht es primär um die Vermeidung von Überhitzungsproblemen, bei solaren Wandheizungen steht der Wirkungsgrad im Vordergrund. Mit den heute gebräuchlichen Rechenverfahren für Fenster können die Eigenschaften solcher Systeme nur ungenau berücksichtigt werden.

Im IEA Solar Task 27, "Performance assessment of solar building components", wirken deshalb rund 15 Institute aus 10 Ländern an der Bearbeitung folgender Problemstellungen 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 entwickelt Rechenmodelle von Glasfassadenbauteilen mit Sonnenschutz, die durch Messungen im Aussenklima getestet werden (Fig. 1), und stellt vereinfachte Modelle für Gebäudesimulationsprogramme zur Verfügung, damit Gebäude bezüglich Kühllasten und thermischer Behaglichkeit in der Planungsphase optimiert werden können. Daneben wird das reale Verhalten von solaren Wandheizsystemen mit transparenter Wärmedämmung untersucht, um Grundlagen für eine korrekte Berücksichtigung der Gewinne in Energienachweisen (SIA 380/1) zu erhalten.



Fig. 1: Fassadenprüfstand auf dem EMPA-Areal für die Untersuchung der solaren und thermischen Eigenschaften von transparenten Fassadenbauteilen

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

MEHRSCHICHTIGE GLASSFASSADEN MIT SONNENSCHUTZ

Die Strömungsverhältnisse und deren Einfluss auf das Temperatur- und Energiedurchlassverhalten wurde an einer mehrschichtigen, mechanisch belüfteten Glasfassade (Doppelfassade) ohne Rahmenkonstruktion untersucht [1]. Der Schichtaufbau (Fig. 2, 3) besteht aus einer äusseren Isolierverglasung mit Sonnenschutzglas und einem inneren Einfachglas mit Belüftungsöffnungen. Im dazwischen liegenden Luftspalt befindet sich ein textiler Sonnenschutz mit metallisierter Aussenoberfläche.

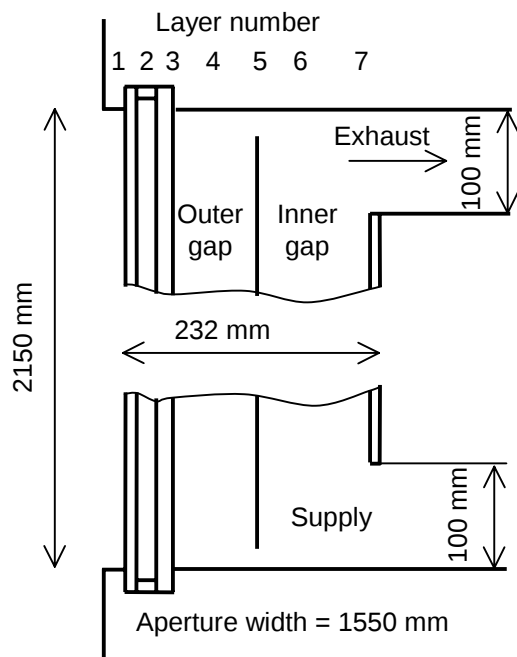


Fig. 2: Vertikalschnitt durch die Doppelfassade mit dazwischen liegendem Sonnenschutz. Der Sonnenschutz wurde oben und unten mit je 20 mm Belüftungsöffnung eingebaut. Das Innenglas hat unten und oben Zu-/Abluftöffnungen von 100 mm Höhe auf der ganzen Breite.

Schicht Nummer	Bezeichnung	Dicke (mm)	Emissionsgrad aussen (-)	Emissionsgrad innen (-)	Solarer Reflexionsgrad aussen (-)	Solarer Reflexionsgrad innen (-)	Solarer Transmissionsgrad (-)	Solarer Absorptionsgrad (-)
1	Solar protective low-ε glass	10	0.89	0.05	0.32	0.39	0.39	0.33
2	90% Argon / 10% Air	18	-	-	-	-	-	-
3	Laminated security glass	14	0.89	0.89	0.07	0.07	0.78	0.03
4	Air gap	70	-	-	-	-	-	-
5	Metallised shading screen	1	0.51	0.81	0.48	0.46	0.09	0.17
6	Air	113	-	-	-	-	-	-
7	Low-ε glass (hard coating)	6	0.22	0.86	0.11	0.09	0.68	0.004

Fig. 3: Schichteigenschaften der Doppelfassade (optische Daten für Normaleinfallswinkel)

In Fig. 1 ist die Glasfassade wärmebrückenfrei in den hochisolierten Prüfraumen des Fassadenprüfstandes eingebaut. Während der Messzeit wurden in einem Zeitintervall von einigen Minuten alle relevanten Luft- und Oberflächentemperaturen, Solarstrahlungs- und weitere Klimadaten sowie Heiz- und Kühlleistung im thermisch isolierten Testraum erfasst.

Die Doppelfassade wurde strömungsmechanisch und thermisch instationär mit dem Softwaretool FLOVENT 3.2 [2] modelliert. Dieser CFD-Code basiert auf einer "finite-volume"-Methode mit rechteckigem Gitter und verwendet das k- ϵ Turbulenzmodell sowie logarithmische Wandfunktionen. Aufgrund der uniform angenommenen Schichtabsorptionen und der geringen Randeffekte wurden die Berechnungen aus Zeitgründen 2-dimensional durchgeführt.

Für den ersten Vergleich wurden Messdaten vom 8. September 2002 gewählt (Solarstrahlung bis 800 W/m^2 , Lufttemperatur bis 28°C). Die Temperatur in der Testzelle war ca. 24°C . Der aufwärts gerichtete Luftvolumenstrom im Luftzwischenraum lag bei $60 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. 100-facher Luftwechsel). Als Beispiel der Auswertung zeigt Fig. 4 die Temperaturen im äusseren Luftspalt. Die Sensoren 1 (unten) bis 3 (oben) sind vertikal übereinander in der Mitte des Fassadenelements angeordnet. Da die berechneten Temperaturen durch ein längeres Zeitintervall etwas geglättet sind, wird die Temperaturschichtung in Funktion der Zeit gut wiedergegeben.

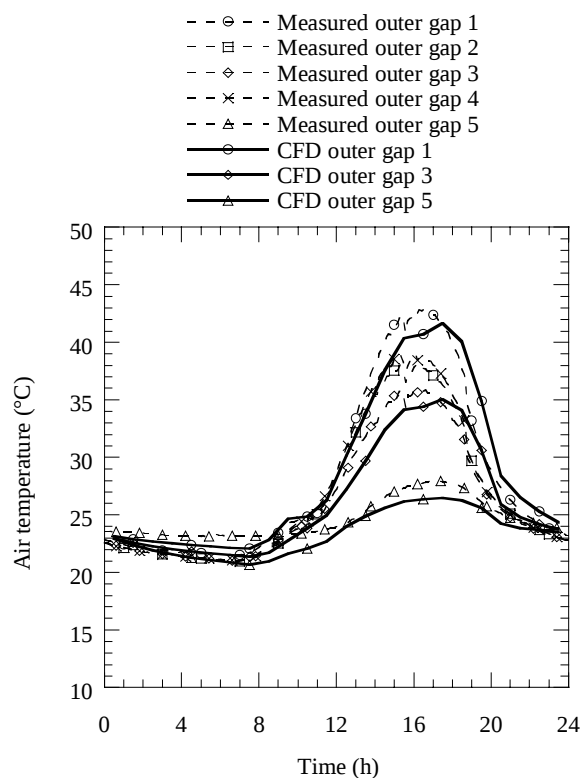


Fig. 4: Vergleich der gemessenen und berechneten Temperaturschichtung im äusseren Luftspalt der Doppelfassade während eines sonnigen Tages (September 2002)

3 % der eingestrahlten Globalstrahlung werden direkt in den Raum transmittiert, 4 % gelangen als sekundäre Wärme in den Testraum. Bei aufwärts gerichtetem Belüftungsstrom (Luftabsaugung oben) ist der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) also rund 7 %. Damit sind keine Überhitzungs- und auch keine Komfortprobleme zu erwarten, da die Oberflächentemperatur innen immer weniger als 5 K über der Lufttemperatur liegt. Bei abwärts gerichtetem Luftstrom (Luftabsaugung unten) wird eine deutliche Zunahme des sekundären Wärmestroms in den Raum berechnet. Dies rührt daher, dass der erzwungene Luftstrom nach unten durch den thermischen Auftrieb behindert wird. Es resultiert dann ein g-Wert von rund 15 %, während vereinfachte Berechnungen (Basis ISO/DIS 15099) g-Werte um 10-12 % ergeben. Diese Untersuchungen werden für andere Konfiguration erweitert. Die Anwend-

barkeit von vereinfachten Modellen für belüftete Glassfassaden mit Sonnenschutz wird innerhalb des IEA-Projekts weiter geklärt.

TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMUNG (TWD)

Messungen an einem TWD-Fassadenmodul, einer Aluminium-Rahmenkonstruktion mit 14 cm *OkaLux*-TWD und integriertem Absorber [3], ergaben einen rund 10 % tieferen g-Wert als eine Schichtberechnung, die auf Europäischen Normen für Verglasungen basiert (siehe Jahresbericht 2001).

Als mögliche Verlustbeiträge wurden Wärmeverluste und Strahlungsabsorption im Rahmenbereich genauer untersucht.

Der Verlust durch Wärmeableitung über Wärmebrücken wurde durch eine 2-dimensionale Berechnung eines Randleitwertes L^{2D} abgeschätzt. Der effektive g-Wert ist dann bestimmt durch

$$g_{2D} = g \left(1 - \frac{\ell}{A} L^{2D} \right)$$

mit ℓ Umfang der transparenten Fläche (m),
 A Transparente Fläche (m²)

Mit dem für dieses Fassadenmodul berechneten Wert $L^{2D} = 0.0044$ m ist die Reduktion des g-Wertes etwa 1.7 %. Der gemessene Verlust kann also nicht hauptsächlich durch Wärmebrückeneffekte erklärt werden.

In einem einfachen Versuch mit einem Laserstrahl kann beobachtet werden, dass ein direkter Strahl kegelförmig durch eine TWD-Struktur transmittiert wird (Fig. 5). Falls der Abstand zwischen Strahleintrittspunkt und Rahmen kleiner ist als $d \cdot \tan(\phi)$, wird die Ausbreitung des Kegels durch Absorption an der Rahmeninnenfläche gestört, und der Transmissionsgrad reduziert. Für einen Eintrittswinkel $\phi = 30^\circ$, $d = 140$ mm und $A = 1.345 \times 0.875$ m² ist diese Randzone 80 mm breit und hat einen Flächenanteil von 28 %. Es ist bekannt, dass die Transmission im ungestörten Bereich näherungsweise durch $\tau_{TIM} = (\tau + \rho)^N$ beschrieben wird (2-dimensional, Streuprozesse vernachlässigt), wobei N die Anzahl der Schnittpunkte zwischen Strahl und TWD-Struktur ist.

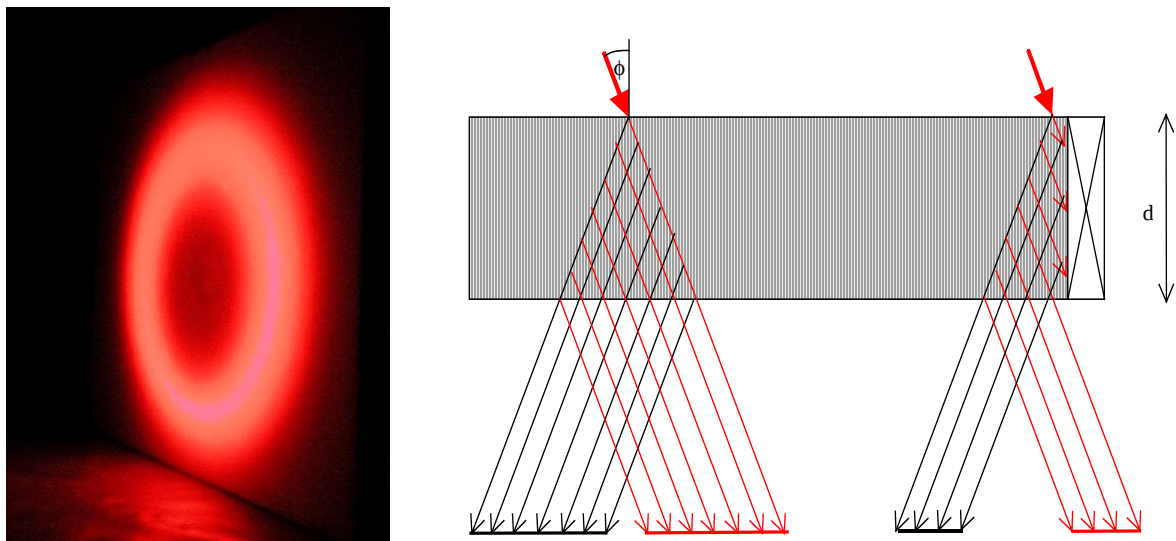


Fig. 5: Bild eines Laserstrahls nach dem Durchgang durch eine TWD-Struktur (links) und schematische Darstellung der Bildung des Strahlkegels durch mehrfache Reflexion resp. Transmission (rechts)

Die Abnahme des Transmissionsgrades in der Randzone kann nicht durch einen geschlossenen Ausdruck angegeben werden. Sie wurde durch ein analytisches 2-d-Modell berechnet. Für die Parameter $\phi = 30^\circ$, $d = 140 \text{ mm}$ ($N = 25$) sowie den Transmissions-/Reflexionswerten $\tau_{\text{TWD}} = 0.8$, $\rho_{\text{TWD}} = 0.18$, $\rho_{\text{Rand}} = 0.3$ ergibt sich die in Fig. 6 dargestellte Intensitätsverteilung bzw. die relative Transmission in der Randzone, die gut durch eine Parabel angenähert werden kann.

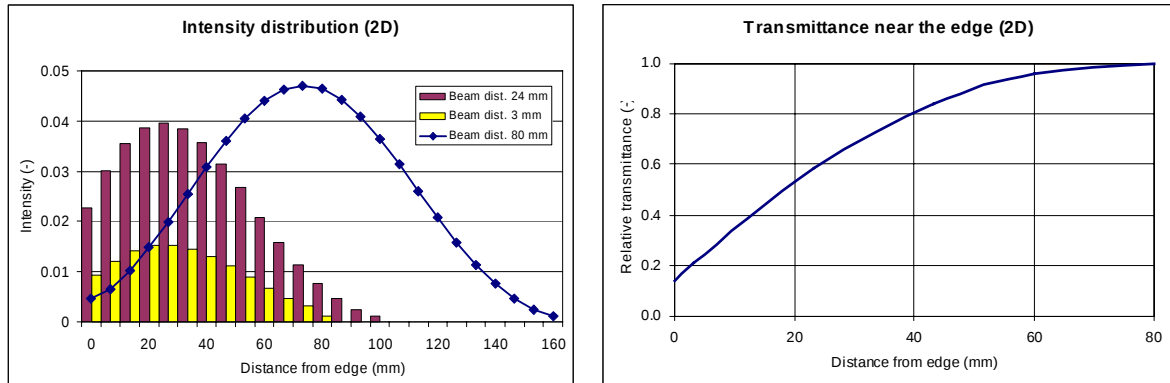


Fig. 6: Intensitätsverteilung der transmittierten Strahlung im Randbereich bei unterschiedlichen Abständen des auftreffenden Direktstrahls (links), resultierender relativer Transmissionsgrad im Randbereich (rechts)

Die mittlere relative Transmission in der Randzone ist in diesem Beispiel 0.72. Für das ganze TWD-Modul ergibt sich daraus eine Reduktion des g-Wertes um 8 %. Damit ist klar, dass der Transmissionsgrad eines relativ kleinen, "dicken" TWD-Moduls durch Randabsorption merklich reduziert werden kann.

HOLZLAMELLEN-WANDSYSTEM

Die Messungen an einem Holzlamellen-Wandsystem *lucido* [4] mit Glasabdeckung (Fig. 7) wurden auf der Basis eines erweiterten dynamischen Modells genauer ausgewertet.

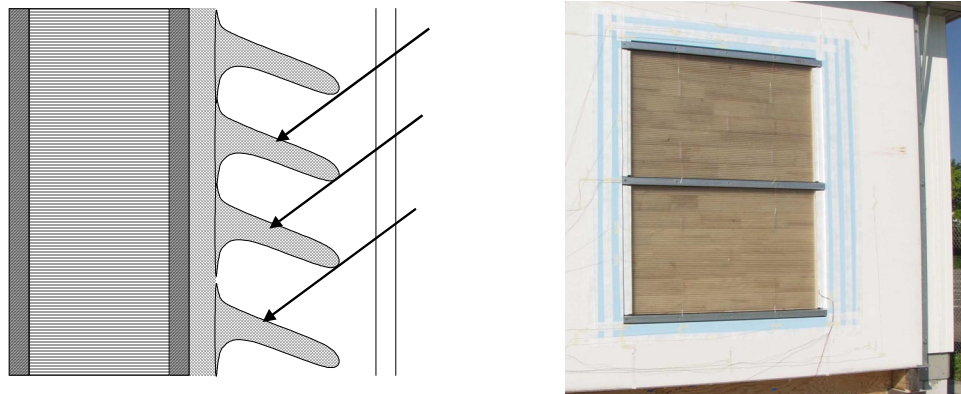


Fig. 7: Vertikalschnitt durch das *lucido*-Holzlamellen-Wandsystem (links), eingebaut im Fassadenprüfstand der EMPA (rechts)

Während im Winter der g-Wert bei knapp 3 % liegt, fällt er unter sommerlichen Bedingungen auf unter 1 %. Das System ist zwar keine eigentliche Wandheizung, eine Null-Verlust-Situation kann jedoch für süd-westlich bis süd-östlich orientierte Aussenwände mit relativ geringem Optimierungsaufwand erreicht werden.

Nationale Zusammenarbeit

National wurde die Zusammenarbeit mit der Industrie weiter geführt. Für ergänzende Messungen an Verglasungs-/Sonnenschutz-Kombinationen wurden der EMPA und anderen Partnern im IEA Solar Task 27 verschiedene Systeme zur Verfügung gestellt. Auch im Zusammenhang mit realen Bauprojekten konnten mehrere Fassaden gemessen werden.

Internationale Zusammenarbeit

Die Arbeiten der EMPA sind mit dem IEA Solar Task 27 "Performance assessment of solar building components" koordiniert. Der Schwerpunkt im Bereich der Leistungscharakterisierung von Fassadenbauteilen liegt bei mehrschichtigen Glasfassaden mit Sonnenschutzsystem, die durch verschiedene Partner messtechnisch und numerisch untersucht werden. Die EMPA leitet das Teilprojekt "Solar building components and integrated assemblies" und wirkte an zwei Projektmeetings in Kopenhagen (April 2002) und Ottawa (Oktober 2002) mit.

Die EMPA ist assoziiertes Mitglied von *PASLINK EEIG* [5] und weiter am EU-Netzwerk *IQ-TEST* (Improving Quality in Test and Evaluation procedures of Solar and Thermal performances of building components, ERK6-CT1999-20003) beteiligt. Zur Zeit ist ein Nachfolgeprojekt in Vorbereitung.

Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Der Vergleich von Messungen und detaillierten fluid-dynamisch-thermischen Berechnungen an belüfteten Doppelfassaden hat gute Übereinstimmung gezeigt. Fragezeichen ergeben sich in Bezug auf vereinfachte Modelle, die weiter abgeklärt werden müssen. Die Arbeiten für eine Benutzerschnittstelle des EMPA-internen Berechnungswerkzeuges *WinSim* (basierend auf ISO/DIS 15099) und die Integration in *HELIOS* sind daher vorerst zurückgestellt worden.

Im Jahr 2003 sind weitere Messungen im Fassadenprüfstand geplant. In Zusammenarbeit mit den IEA-Projektpartnern werden schwerpunktmässig belüftete Doppelfassaden und aussenliegende Sonnenschutzsysteme untersucht. Unterschiede zwischen Messungen, Detailberechnungen und vereinfachten Modellen werden anhand von Referenzsystemen analysiert, die teilweise von Schweizer Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Für TWD-Systeme werden verschiedene Verfahren zur Bestimmung der saisonalen Wärmegewinne verglichen und die Untersuchung von "Einbaueffekten" wird abgeschlossen.

Referenzen

- [1] H. Manz, H. Simmler: ***Experimental and numerical study of a mechanically ventilated glass double facade with integrated shading device***, Building Physics Conference, Leuven, 2003
- [2] ***FLOVENT 3.2***, FLomerics Ltd, Hampton Court, Surrey KT8 9HH UK
- [3] ***Ernst Schweizer AG***, CH-8908 Hedingen
- [4] ***Fent Solare Architektur***, Rudenzburg, CH-9500 Wil
- [5] ***PASLINK European Economic Interest Grouping of Outdoor Test Centres (EEIG)***, c/o BBRI, Violetstraat 21-23, B-1000 Brüssel (<http://www.paslink.org>)