

Multifunktionale Außenwand-systeme

von Erich Hahne,
Rainer Pfluger
und Claus Twerdy

Prof. Dr.-Ing. Erich Hahne ist Mitglied des Vorstandes und Dipl.-Ing. Claus Twerdy ist wissenschaftliche Mitarbeiter im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart.

Dipl.-Ing. Rainer Pfluger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart.

Überblick

Fassaden werden in Zukunft eine Vielzahl von Funktionen zu erfüllen haben. Alle werden letztlich energieorientiert sein; gesamtheitliche Betrachtungen von der Produktion über die Nutzung bis zur Entsorgung werden eine wesentliche Rolle spielen. Für ein Ein- und Mehrfamilienhaus werden Beispiele für die Fassadenkonstruktion und Gerätschaften angeführt. In einem Fernheizkraftwerk dient eine „Solarwand“ zur Vorwärmung der Verbrennungsluft. Fortschrittliche Fassaden-Elemente werden in sogenannten Testzellen untersucht hinsichtlich ihres Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten, ihrer Wärmekapazität und ihres Gesamtenergie-Durchlaßgrads. PV-Module werden gegenwärtig in diesen Zellen untersucht, um Testregeln für PV-Hybridkomponenten für die Europäische Union auszuarbeiten.

Facades will have a multitude of functions in the future. All of them will be energy-oriented and overall energy balances considering production, utilization and destruction will become an important factor. For a detached house and multiple dwelling, examples of facade constructions and appliances are discussed. A „Solar Wall“ facade provides preheating of combustion air in a combined heating/power station. Progressive facade elements are being investigated in so-called „Test Cells“ for determining their heat transfer coefficient (k), their heat capacity (C) and their energy transport factor (g). PV modules are investigated in such cells in order to work out European Rules for the testing of PV-hybrid components.

1. Einleitung

„Multifunktionale Außenwandssysteme“ – bei diesem Wortungetüm fragt man sich unwillkürlich „Ist unsere gute alte Fassade auch nicht mehr das, was sie früher war?“ Ja, die „facacia“, das Gesicht des Hauses allein, ist sie nicht mehr; sie hat sich enorm weiterentwickelt.

Sie erfüllt im heutigen Gebäudebau neben den üblichen Funktionen einer Hülle – die schön sein soll – vor allem die Funktion, Energie einzusparen und zu nutzen. Es darf in den Räumen

nicht zu kalt und nicht zu warm werden, es soll hell sein, aber nicht blenden, es soll gut gelüftet sein, aber nicht „ziehen“; Schmutz, Staub, Großstadtmief und Straßenlärm sollen ausgeschlossen sein, aber die Fassade muß ein attraktives und repräsentatives Erscheinungsbild geben. Diese, oft konträren, Forderungen stellen Architekten und Bauindustrie vor viele Probleme.

Es bedarf sicher keiner prophetischen Gabe vorauszusagen, daß energieorientierte gesamtheitliche Betrachtungen auch im Bau die Zukunft bestimmen werden. Die Energieorientierung beruht letztlich auf Energiekosten. Eine gesamtheitliche Betrachtung – die für viele Produkte heute schon üblich ist – schließt einerseits alle Kosten von der Planung bis zur Entsorgung ein und vergleicht sie mit dem Nutzen des Produkts. Das triviale Ergebnis ist: Alle aufzuwendenden Energien möglichst klein zu halten, alle gewinnbaren aber möglichst groß zu machen. Da sich der Nutzen im Bauwesen über lange Zeiträume erstreckt, ist es nahelegend, ihn zu maximieren.

Dies geschieht heute schon in der Entwicklung besonderer Fassaden, wie die folgenden Beispiele zeigen.

2. Beispiele im Wohnbereich

In der Nähe von Rottweil steht ein sogenanntes Ultrahaus, dessen eine Seite „Ultra“ ist und die andere „Niedrig-Energie“ hinsichtlich des Heizbedarfs. Auf der „Ultra“-Seite befinden sich hinter sehr großen Fensterflächen „Sonnenräume“ (sun-spaces), um viel Sonnenwärme zu sammeln. Der jährliche Wärmebedarf soll unter 20 kWh/m² liegen. Das ist gelungen, allerdings wurde es in diesen Sonnenräumen mit mehr als 35 °C im Sommer zu warm. Nachträglich angebrachte Jalousien behoben dieses Übel.

Der geringe Wärmebedarf (etwa 1/3 des heute empfohlenen) ist nur durch gute Materialien und durch einen stark wärmedämmenden Aufbau der Fassade zu erzielen: Konstruktionseinzelheiten der Fassade sind in [Abbildung 1](#) gezeigt.

Tragende Kalksteinwände von 17,5 cm

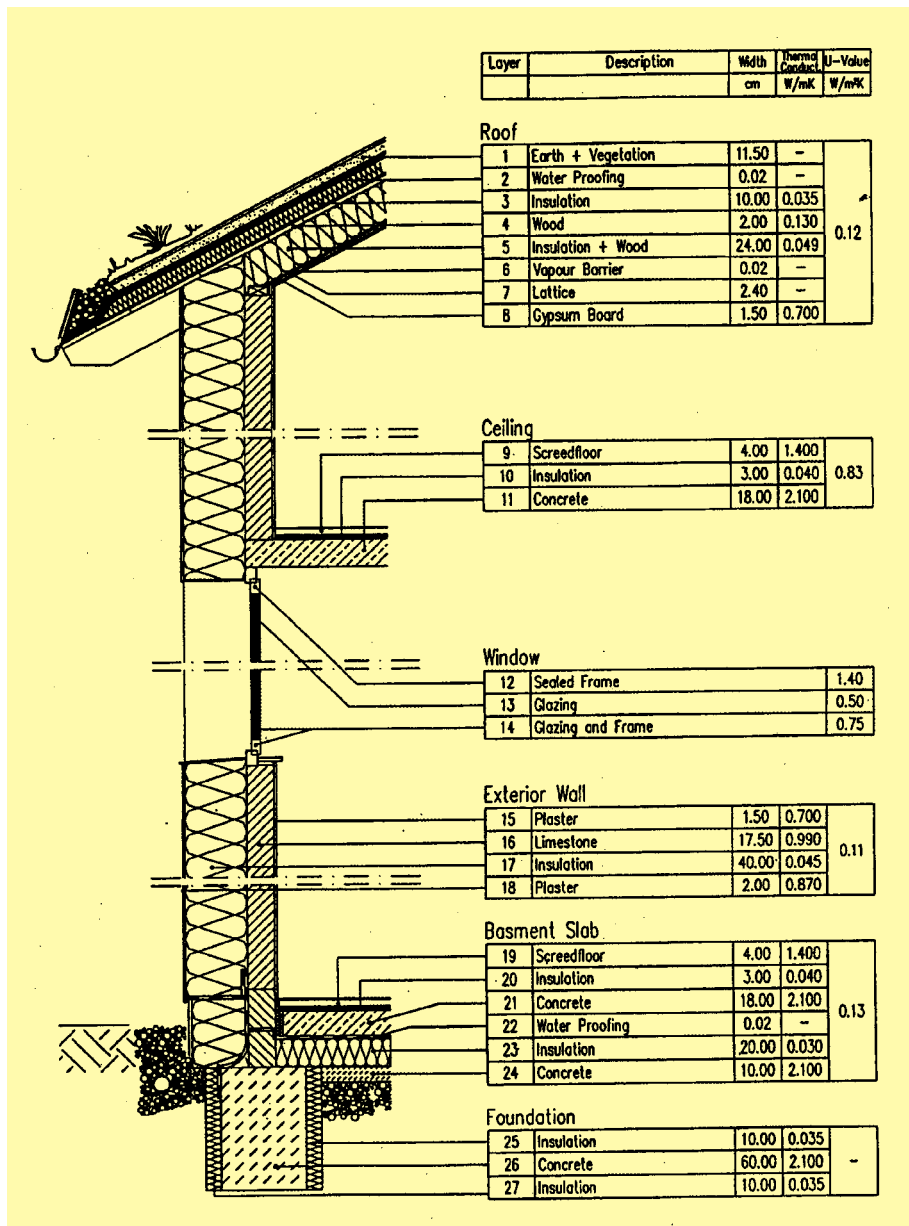
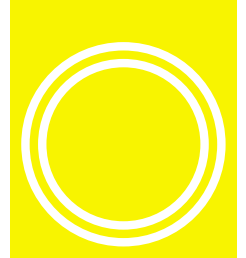


Abbildung 1: Fassaden- und Dachaufbau des Ultrahauses Rottweil

Dicke und eine 40 cm dicke Wärmedämmung liefern einen Wärmedurchgangskoeffizienten $k = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Fenster sind dreifach verglast und mit einer Niedrig-Emissionsbeschichtung und einer Xenongas-Füllung versehen. Sie haben zusammen mit dem Fichtenholzrahmen einen k-Wert von $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Heizung und Belüftung erfolgt durch Ventilatoren, die ganzjährig betrieben werden. Über deren Stromverbrauch ist nichts gesagt.

An High-Tech erinnert schon ein anderes Beispiel: Ein Mehrgeschoßbau (4 Geschosse) in den Niederlanden. Von den 42 Apartments sind 16 nach einem sogenannten „fortschrittlichen

solarunterstützten Konzept“ gebaut. Während beim Ultrahaus jeglicher Durchbruch durch die Gebäudehülle vermieden wurde – was Verzicht auf Balkone und Vordächer bedeutet –, gibt es beim niederländischen Haus Durchbrüche für Balkone. Es wurden zwar besondere Maßnahmen ergriffen, die damit verbundenen Wärmebrücken gering zu halten, doch erhöhen diese Wärmebrücken die Wärmeleitungsverluste um 16 %. Der Wandaufbau dieser Fassade hat einen k-Wert von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, ist also schlechter als im Ultrahaus, weil nur eine Isolierdicke von 24 cm vorliegt. Auch die Fenster haben fast doppelt so hohe Wärmedurchgangskoeffizien-

ten von $1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, obwohl auch dreifache Verglasung verwendet wurde. Die Belüftung kann sowohl durch öffnen von Fenstern als auch durch Zwangskonvektion erfolgen. Wenn ein Fenster geöffnet wird, schaltet die Heizung automatisch ab. Außerhalb der Heizsaison zeigt ein rotes Licht in jedem Raum, daß die Fenster geöffnet werden können. Dann schaltet sich der Ventilator für die Zuluft ab; der Abluftventilator läuft immer. Der Stromverbrauch für Ventilatoren und Pumpen wird angegeben; er liegt – bezogen auf Wohnfläche und Primärenergie – 20 % höher als die Heizenergie.

3. Beispiele im industriellen Bereich: Fassadenkollektoren

Das Gebäude des Heizkraftwerks Göttingen war zu renovieren; die Fassade und das Dach sollten erneuert werden. Dies sollte unter Gesichtspunkten der Energieeinsparung geschehen. Dazu wurde das Dach mit Solarkollektoren belegt, die das aus den Heizungen kommende Rücklaufwasser vorwärmen. Die Fassade wurde als sogenannte Solarwand ausgeführt; damit wird Luft aus der Umgebung angewärmt und vorgewärmt dem Heizkessel zugeführt.

Ein Element dieser Wand zeigt [Abbildung 2](#). Durch die zahlreichen Löcher der Aluminiumverkleidung wird Luft angesaugt, sie erwärmt sich beim Aufwärtströmen an der Innenseite der Verkleidung. Der Strömungskanal ist zum Gebäudeinnern durch eine Folie und eine Wärmedämmung abgedichtet.

Die bei der Luftvorwärmung erzielten Wirkungsgrade liegen im Bereich von 20 bis 38 % und zeigen deutlich die Abhängigkeit von der Absaugrate, die im Bereich von 18 bis $32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ liegt. Wenn sie groß ist, ist auch der Wirkungsgrad groß.

4. Untersuchung von Fassadenelementen

Die Fassade des oben erwähnten niederländischen Wohnhauses wurde aus vorgefertigten Elementen aufgebaut, welche Wand, Fenster, Türen, Ventilatoren und Konvektoren bereits enthalten. Diese Fassadenelemente waren vor ihrer Verwendung in einer so-

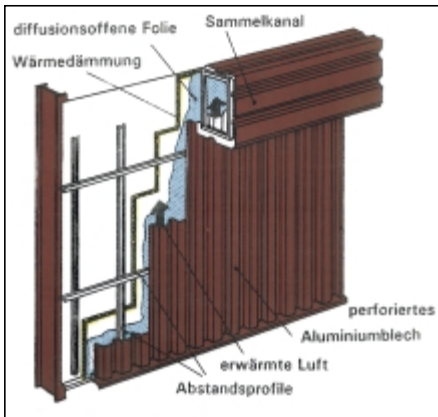
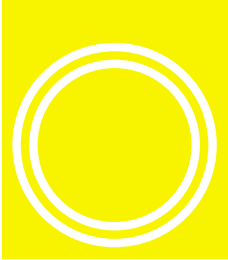


Abbildung 2: Fassadenelement einer „Solarwand“ am Heizkraftwerk Göttingen

nannten PASSYS-Testzelle in Delft untersucht worden. PASSYS steht für „Passive Solar Components and System Testing“. Diese Untersuchungen erstrecken sich auf die k-Werte solcher Elemente, auf ihre thermische Trägheit (spezifische Wärmekapazität C) und ihren Gesamtenergie-Durchlaßgrad g.

Das ZSW betreibt zusammen mit dem ITW in Stuttgart drei solcher Zellen. Sie

Abbildung 3: Schema einer PASSYS-Testzelle

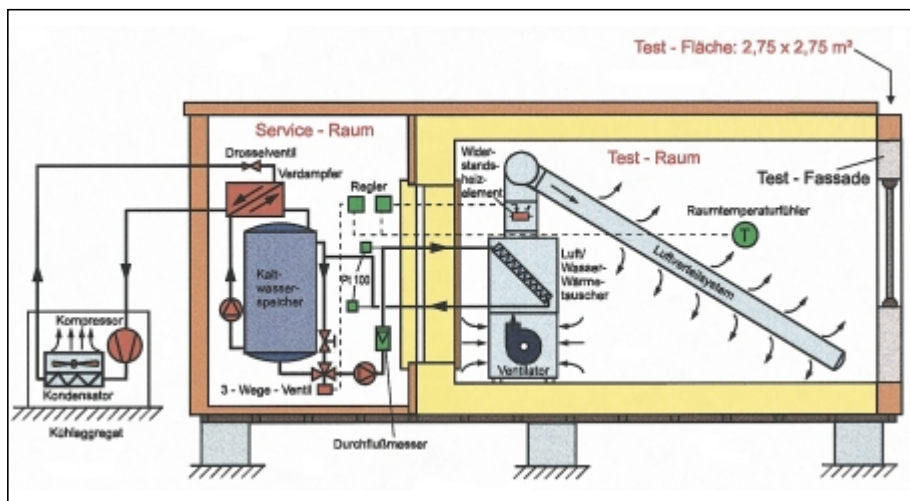


Tabelle: Eine Zusammenstellung verschiedener Ergebnisse

Untersuchte Gebäudefassaden	Gesamtwärmedurchgangskoeffizient k W/m ² K	Gesamtenergie-Durchlaßgrad g
Leichtbauwand mit Isolierglasfenster (Glasanteil f _G = 15 %)	0,78 W/m ² K	0,10
Betonwand mit verglaster TWD (TWD-Anteil f _{TWD} = 81 %)	0,71 W/m ² K	0,35
mit herabgelassenem Rollo	0,50 W/m ² K	0,04
Aerogelfenster (f _G = 86 %)	0,80 W/m ² K	0,28

wurden in einer EU-Aktion hier und an 13 weiteren Stellen errichtet. Sie erlauben Messungen unter den jeweiligen realen Wetterbedingungen (Abbildung 3).

Das zu testende Fassadenelement nimmt die gesamte Südseite ein, es kann die Maße 2,75 x 2,75 m haben. Die Testverfahren sind kompliziert, da instationäre Vorgänge vorliegen und die Randbedingungen (Wetter) willkürlich und nicht regelbar sind. Diese Verfahren erfolgen nach dem Prinzip der Parameteridentifikation; sie wurden nach den Erfahrungen der verschiedenen Testzentren in mehrjähriger Tätigkeit ausgearbeitet. Das Testverfahren steht zur Diskussion für eine europäische Norm.

5. Beispiele von Untersuchungen

Eine Zusammenstellung verschiedener Ergebnisse ist in der Tabelle gegeben. Zur Entwicklung eines energetisch und lüftungstechnisch optimierten Fassadensystems für den Geschößwohnungsbau haben sich mehrere Firmen zu einer Gewerkekooperation zusam-

mengeschlossen. Darin soll das Zusammenwirken von Fassade, Lüftung, Fenster und Heizung hinsichtlich der oben genannten Parameter erforscht, verbessert und schließlich optimiert werden.

Kleine Ursachen haben oft große Wirkungen: Wärmebrücken sind unerwünschte Energiefresser, doch wer würde schon große Unterschiede für die Befestigung eines Fensterbretts erwarten? Eine relativ einfache zweidimensionale Wärmeleitungsrechnung zeigt aber folgendes: Wird das außenliegende Fensterbrett (meist aus Metall) außen auf den Fensterrahmen (Holz) genagelt, so ergibt sich ein k-Wert für den Rahmen von 1,81 W/m²K. Wird dasselbe Brett in denselben Rahmen 7 mm tief in einen Schlitz eingeschoben (wegen der schnelleren Montage), so erhöht sich der Rahmenk-Wert um ca. 20 % auf k = 2,22 W/m²K.

6. Fassaden mit PV-Modulen

Mit sogenannten PV-Hybridkomponenten wird einerseits elektrischer Strom gewonnen, andererseits kann Wärme aus der Luft erhalten werden, wobei die Module gekühlt werden. Die EU hat im Rahmen des JOULE III – Programms ein Projekt „PV-Hybrid-Pas“ initiiert mit dem Ziel, Test- und Meßprozeduren für PV-Hybridkomponenten zu finden. Dazu werden an sieben Stellen Europas gleiche Komponenten untersucht, davon an drei Stellen besondere Einzelphänomene. In Stuttgart ist dies die thermische Untersuchung, insbesondere das Strömungsverhalten und die Wärmeabfuhr im Kanal hinter dem PV-Modul.

In Abbildung 4 ist die Testanordnung und die Entwicklung der Strömungs- und Temperaturverteilungen im Kanal gezeigt. Jedes Modul ist 0,874 m² groß und enthält Zellen aus polykristallinem Silizium. Die Temperaturen der PV-Module auf der Kanalseite sind deutlich höher als die Temperaturen der Wand. Daher sind – wegen des erhöhten Auftriebs – auch die Geschwindigkeiten am PV-Modul höher als an der Wand und damit auch die Wärmeabgabe. Aus Labormessungen (in ISPRA) sind die Strom/Spannungswerte der Module für verschiedene Temperaturen bekannt. Gut gekühlte

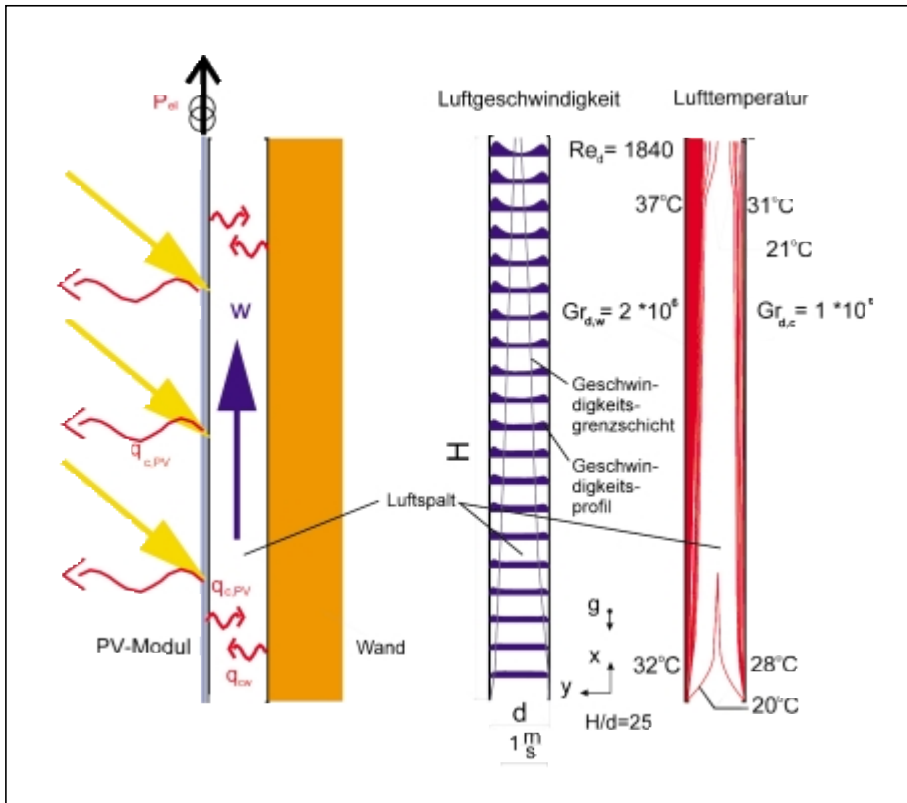
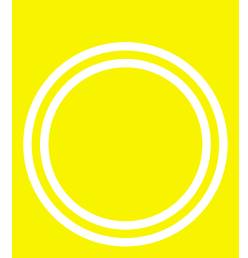
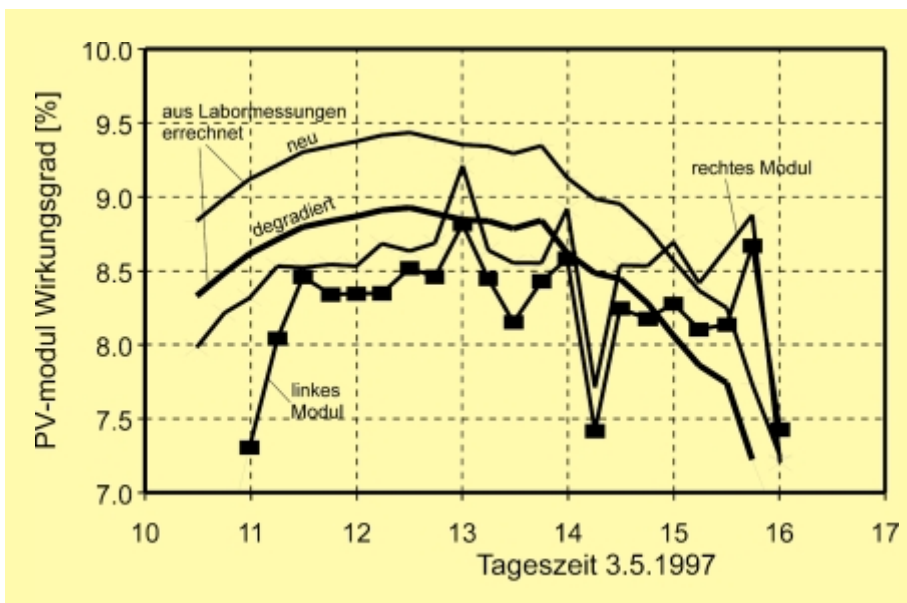


Abbildung 4: Testanordnung für PV-Hybrid-Pas mit Strömungs- und Temperaturverteilungen

Abbildung 5: Elektrischer Wirkungsgrad abhängig von der Tageszeit



Zellen (z. B. bei 0 °C) zeigen erst bei deutlich höheren Spannungen einen starken Stromabfall, als Zellen hoher Temperatur. Auch der Punkt maximaler Leistung (Maximum Power Point) liegt bei kalten Zellen bei höheren Spannungen.

Berechnete und an der PASSYS-Zelle gemessene elektrische Wirkungsgrade sind in [Abbildung 5](#) wiedergegeben. Die Wirkungsgrade sind nach der Definition $\eta = P_{ee}/A_{\text{modul}}$ bestimmt worden. Die Labormessungen und die Berechnungen wurden in ISPra durchgeführt sowohl für die neuen Module wie auch nach ihrem sechsmonatigen Einsatz. Unsere Meßergebnisse an den degradierten Modulen stimmen mit den Angaben aus ISPra angenähert überein.

Die Wärmeleistung wurde für einen Zeitraum von 17 Tagen erfaßt. In diesem Zeitraum wurde mit drei unterschiedlichen Luftdurchsätzen (\dot{m}) gearbeitet. Die Wärmeströme liegen zwischen 100 und 300 W für Einstrahlungen von 400 bis 1.000 W. Die hier verwendeten Module sind aber nicht für Wärmegewinn konzipiert, da es das Ziel der Untersuchungen ist, Test- und Meßverfahren für Hybrid-Komponenten prinzipiell zu erarbeiten.

Zukünftige Fassaden werden eine Vielzahl von Aufgaben erfüllen müssen. Diese Aufgaben greifen ineinander, sie haben gegenseitige Wechselwirkungen und sie beginnen schon vor dem Aufbau der Fassade und enden erst nach ihrer letzten Entsorgung.

Angesichts der Mängel und Bau-sünden, die immer wieder angeprangert werden, ist es sicher an der Zeit, daß sich unsere Fassaden zu High-Tech Produkten als multifunktionale Systeme weiterentwickeln.