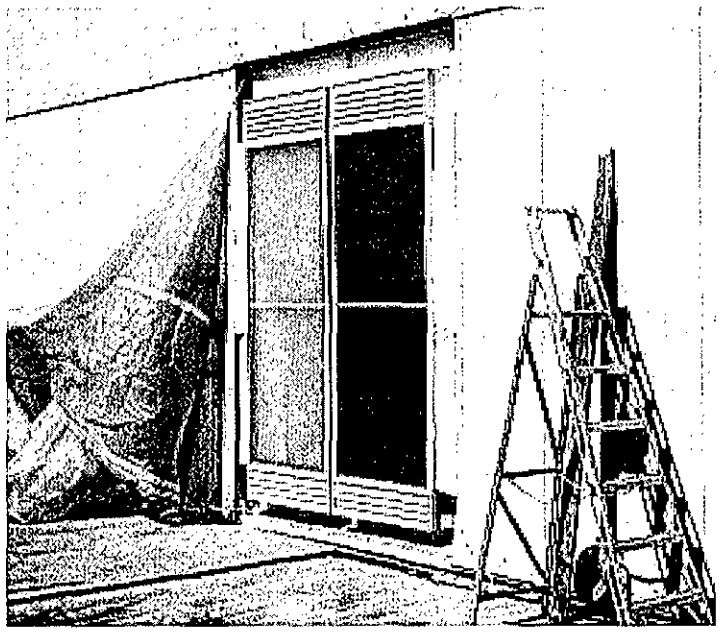
ENET
9658128-3



Titel des Projektes: **Hinterlüftete, transparent wärmegedämmte Vorhangfassadenelemente**

Ziel des Projektes: Grossflächige solare Wandheizung mit transparenter Wärmedämmung (TWD) benötigt meistens eine Regelung der solaren Gewinne. Häufig wird das durch eine Beschattung erreicht. Unerwünschter Wärmeeintrag in das Gebäude im Sommer kann aber auch durch Hinterlüftung der TWD verhindert werden. Ziel des Projektes ist es, den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften der Materialien (TWD, Absorber) und den konstruktiven Grössen (Abmessungen, Luftdichtigkeit etc.) zu klären. Dies ist die Voraussetzung für die konstruktive Optimierung sowie die kosteneffektive Umsetzung des Konzeptes in die Praxis.

Für 1998 waren folgende Arbeiten vorgesehen:

- Vermessung der Prototypen an einem Freilufteteststand und Identifikation von Optimierungspotential (wegen Verzögerungen beim Bau des Teststandes um 1 Jahr verschoben)
- Fluiddynamische Untersuchungen von Variationen für Luftverschlüsse
- Entwurf, Konstruktion und Bau von Prototypen für Luftverschlüsse

Dauer des Projektes: Oktober 1996 bis Oktober 1998 - verlängert bis Oktober 1999

Beitragsempfänger:	Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen
Berichterstatter:	Andreas Haller
Adresse:	Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen
Telefon:	01 / 763 63 80
Vertrags Nr.:	58'128 (Projekt Nr.: 18'562)
E-mail:	andreas.haller@eschweizer.ch

1 PROJEKTZIELE 1998

Beim Bau und der Inbetriebnahme des Freilufttestandes beim Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (FhG ISE) in Freiburg i.B. gab es 1997/98 eine grössere Verzögerung, die bei der Projekteingabe nicht absehbar gewesen war. Dadurch musste mit dem Start der Vermessung der Prototypen bis Mitte 1998 zugewartet werden. Entsprechend dem verzögerten Projektplan ergaben sich für 1998 die folgenden Arbeiten und Ziele:

- Evaluation des effektiven g-Werts für beide Prototypen bei Hinterlüftung (Sommerfall). Messungen, Bewertung der Messwerte und Schlussfolgerungen.
- Fluiddynamische Berechnung der funktionell notwendigen Öffnungsquerschnitte und experimentelle Überprüfung der Resultate.
- Beurteilung verschiedener Verschlusskonzepte.
- Entwurf, Konstruktion und Bau von Prototypen für Luftverschlüsse.
- Evaluation der Leistungsfähigkeit der solaren Wandheizung (Winterfall).

2 ARBEITEN UND ERGEBNISSE

2.1 Vorgehen

Die Projektarbeiten teilten sich 1998 in vier Bereiche auf mit unterschiedlichen Zuständigkeiten:

1. Montage und Überwachung Fassadenelemente; Zuständigkeit Schweizer.
2. Theoretische und messtechnische Untersuchungen zur Ausgestaltung der Luftöffnungen; Zuständigkeit FhG ISE.
3. Konzepte und konstruktive Varianten für den Verschluss der Luftöffnungen; Zuständigkeit Schweizer.
4. Energetische Messungen am Fassadenteststand; Zuständigkeit FhG ISE.

Die Teilprobleme 2 und 3 sind stark miteinander verknüpft. Konzepte und konstruktive Varianten für den Verschluss der Luftöffnungen sind direkt von den notwendigen Abmessungen und Charakteristika abhängig. Für die Bearbeitung war ein schrittweises Vorgehen mit enger Zusammenarbeit zwischen FhG ISE und Schweizer notwendig.

2.2 Montage und Überwachung der Fassadenelemente

Anfang April 1998 konnten die Prototypen am neu erstellten Fassadenteststand montiert werden (siehe Bilder auf der ersten Seite dieses Berichts). Vorgängig wurden die Elemente mit Temperaturfühler und geeichten Wärmeflusssonden ausgestattet.

Im Verlauf der zweiten Jahreshälfte 1998 wurden auch regelmässig Zustand und Lage des TWD-Materials untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei der Variante mit selektivem Absorber die Konvektionssperre für die TWD-Platte konstruktiv unbefriedigend gelöst war. Obschon die TWD im Bereich des Elementrahmens mit Metallwinkeln massgerecht in Position gehalten wird, entsteht nach kurzer Einsatzzeit über eine grössere Fläche ein Spalt von 3 - 4 mm

zwischen frontseitiger Glasabdeckung und TWD-Platte (siehe Abbildung 1). Der Grund liegt darin, dass sich die Glasabdeckung durch Windlasten und Temperaturgradienten zeitweise gegen innen durchbiegt. Dadurch wird die TWD-Platte im Zentrum ebenfalls gegen innen gedrückt. Die Rückstellkräfte der TWD-Platte sind aber nicht ausreichend, damit sie selbständig in die Ausgangslage zurückzukehren kann. Als Abhilfe wurden nachträglich spezielle Drahtfedern zwischen Absorber und TWD eingebaut, welche diese permanent an die Glasabdeckung drücken.

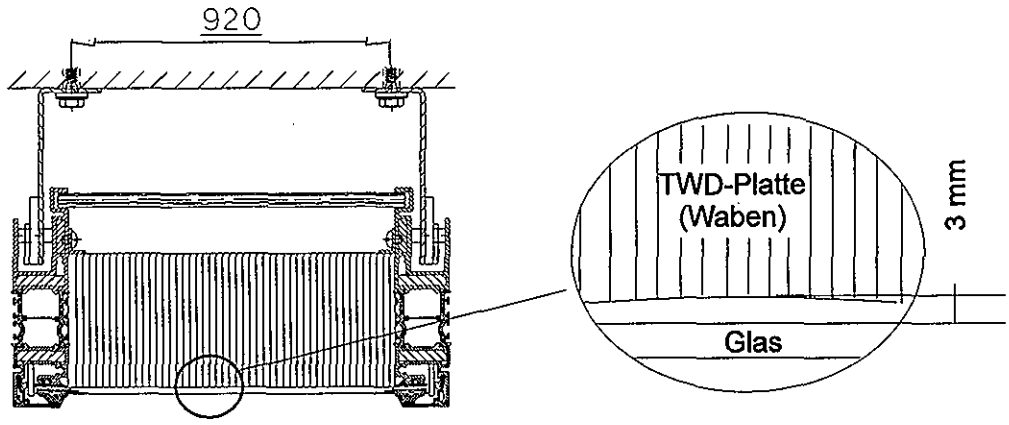


Abbildung 1: Schematischer Vertikalschnitt Element mit selektivem Absorber: Der Luftspalt von wenigen Millimetern zwischen Glasabdeckung und TWD-Platte führt zu Konvektion und Wärmeverlust durch die Wabenstruktur.

2.3 Ausgestaltung der Luftöffnungen und g-Wert bei Hinterlüftung

Ausgehend von den allgemeinen Anforderungen (siehe Jahresbericht 1997) waren für die konkrete Ausgestaltung der Luftöffnungen weitere Aspekte zu klären:

- Minimal notwendige freie Querschnitthöhe: Abhängig von der konstruktiven Variante ergibt sich dadurch der minimale Einbau- oder Bruttoquerschnitt. Die notwendige freie Querschnitthöhe wurde mittels zweidimensionalen fluiddynamischen Berechnungen abgeschätzt.
- Einfluss der Verengung der Querschnittbreite bei Ein- und Auslass: Um die minimale Einbauhöhe gering zu halten, ist der Einbau von Antriebselementen seitlich der Öffnung von Vorteil. Auch bei anderen Verschlusskonzepten ist eine Einschränkung des offenen Querschnitts im Randbereich denkbar. Eine erste qualitative Beurteilung dieses Effekts wurde mittels Messungen an einem Testelement vorgenommen.

Die Wirksamkeit der Hinterlüftung kann mit dem effektiven Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) definiert werden. Dieser wird auch zur Beurteilung der oben erwähnten Aspekte verwendet. Bei Messungen wird ein Mittelwert von mindestens 24 Stunden herangezogen. Bei Resultaten aus Berechnungen handelt es sich um stationäre Werte.

Resultate: Abbildung 2 zeigt, dass sich der Kühleffekt nicht mehr stark steigern lässt, wenn die
freie Querschnitthöhe grösser als die Tiefe des Hinterlüftungsspalts wird (60 mm). Ohne Berücksichtigung der Randeffekte ergibt sich daraus ein effektiver g-Wert von 5 - 6 %. Die Messungen ergaben allerdings einen gemittelten effektiven g-Wert von 8 % bei maximaler Öffnungsbreite und von 12% bei einer von 915 mm auf 820 mm reduzierten Öffnungsbreite (für Variante mit selektivem Absorber und reduzierter Emissivität gegen das Mauerwerk). Das lässt darauf schliessen, dass die Randeffekte bei den vorliegenden Abmessungen nicht mehr vernachlässigt werden können.

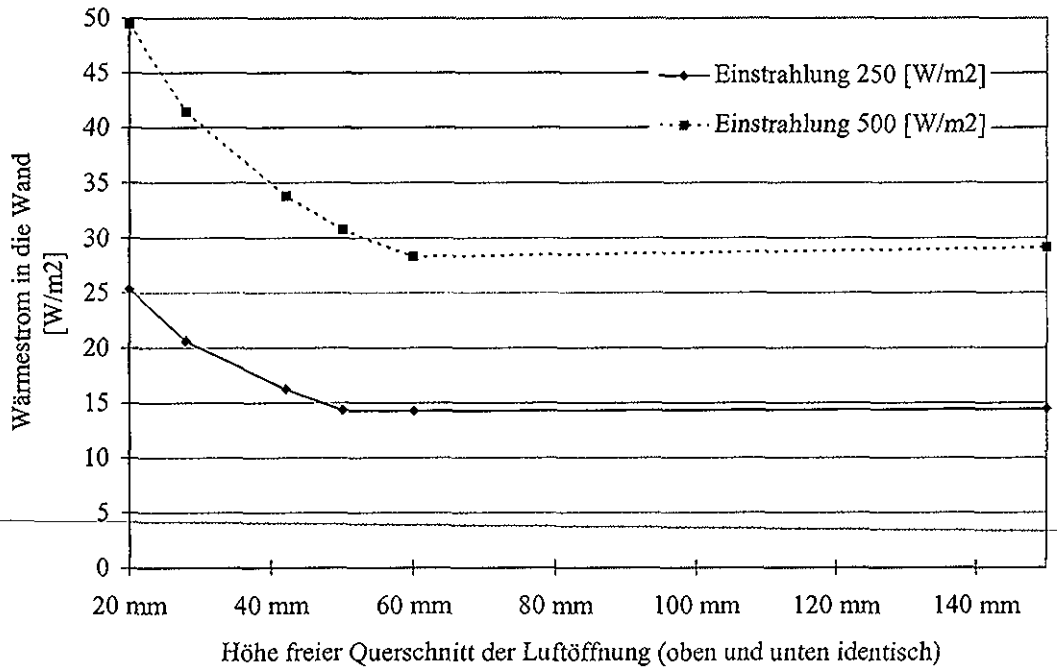


Abbildung 2: Berechnete Wärmeströme in die Wand in Funktion der Querschnitthöhe der Luftöffnungen bei Hinterlüftungsspalt von 60 mm und einer Einstrahlungsleistung von 250 W/m², resp. 500 W/m² (Variante mit selektivem Absorber und reduzierter Emissivität gegen das Mauerwerk).

Der freie Querschnitts der Luftöffnungen sollte gleich wie der Hinterlüftungsspalt gewählt werden. Damit lässt sich mit Hinterlüftung ein effektiver Gesamtenergiedurchlassgrad g von 8% - 12% erreichen.

2.4 Konstruktive Konzepte für Luftverschlüsse

Allgemein ist festzuhalten, dass marktgängige Fensterbeschläge (Schieber, Klappen) für kontrollierte Luftwechsel wegen den kleinen freien Querschnitten für unsere Anwendung ungeeignet sind. Das Verhältnis von Bruttofläche zu freiem Öffnungsquerschnitt ist bei den meisten Produkten im Bereich von 20%. Damit sind auch konstruktiv keine effizienten Lösungen

möglich. Aus diesem Grund sind Alternativen gefordert. Es wurden die folgenden Konzepte näher untersucht: Schlauchdichtung, modifizierter Drehlüfter und Doppelklappe.
Für alle drei Varianten wurden die Wärmedämmwerte mittels thermischen 2-D Rechnungen ermittelt und die Kühlleistung bei verschiedenen Einstrahlungen mit einem fluiddynamischen Programm berechnet. Als weitere Evaluationskriterien wurden die Kosten für die Verschlusselemente abgeschätzt.

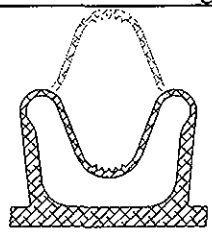
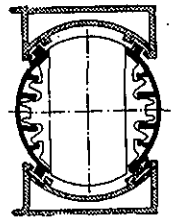
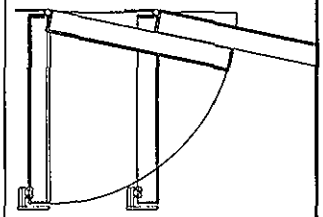
Kriterien	Schlauchdichtung	mod. Drehlüfter	Doppelklappen
Prinzip			
Materialien	EPDM	Alu, PA, PUR,	Alu, PUR, EPDM, Messing
Freier Querschnitt	ca. 40% des Bruttoquerschnitts; seitlich zusätzlich reduziert	ca. 40% des Bruttoquerschnitts	ca. 65% des Bruttoquerschnitts
Rel. Luftstromvolumen	ca. 65%	ca. 75%	100% (Referenz)
U-Wert zentral (W/m^2K)	> 3.0	< 0.8 (mit gedämmten Sektoren)	< 1.3
Gesamt U-Wert inkl. Rahmenanteil (W/m^2K)	>3.7	< 2.2	< 2.0
Einzelkosten ohne Antrieb; Einstandspreis oder Herstellkosten	Fr. 320.-- bei 1000 Stück und 1m Breite (Offerte Hübner)	Standardprodukt mit ungenügendem ∅: Fr. 300.-- bei 1m Breite	< Fr. 100.-- / lm
Investitionsbedarf (Werkzeugkosten)	in Einzelstückkosten enthalten	hoch; Kunststoffformteile und -profile (ca. 50 - 80 kFr.)	gering; ev. 1 - 2 Aluprofile

Tabelle 1: Schematische Darstellung der untersuchten Verschlusskonzepte: Schlauchdichtung (links), modifizierter Drehlüfter (Mitte) und Doppelklappe (rechts); dazu eine Grobbeurteilung der Varianten.

Eine erste vorläufige Gegenüberstellung der Beurteilung kann Tabelle 1 entnommen werden. Daraus ergeben sich für die Lösung mit Doppelklappen oder einem analogen Prinzip klare Vorteile. Die totalen Systemkosten sind noch bei allen Varianten noch nicht bekannt, da die konstruktiven Lösungen für die mechanischen Antrieb bei Klappen und Drehzylinder noch nicht erarbeitet sind. Ebenso sind die Abklärungen zu den notwendigen pneumatischen Komponenten für den Betrieb einer Schlauchdichtung noch ausstehend.

2.5 Resultate der Messungen Hinterlüftung

Mit der Messdatenerfassung konnte Anfang Juni 1998 begonnen werden. Bisher liegen die Auswertungen aus der Sommerperiode mit Hinterlüftung vor.

Abbildung 3 zeigt deutlich das unterschiedliche Verhalten der beiden Prototypen: Der Stahlabsorber mit selektiver Beschichtung (Absorption $\alpha > 0.92$, Emissivität $\varepsilon < 0.12$ gegen aussen) erreicht deutlich höhere Temperaturen als der Eternitabsorber mit reduzierter Absorption von $\alpha \approx 0.72$. Andererseits erwärmt sich das Mauerwerk beim Stahlabsorber weniger stark als beim Eternitabsorber. Das bestätigt das Optimierungspotential des Konzeptes durch die Wahl der mauerseitigen Oberflächenemissivität des Absorbers. Dazu sind nichtmetallische Absorber jedoch weniger gut geeignet.

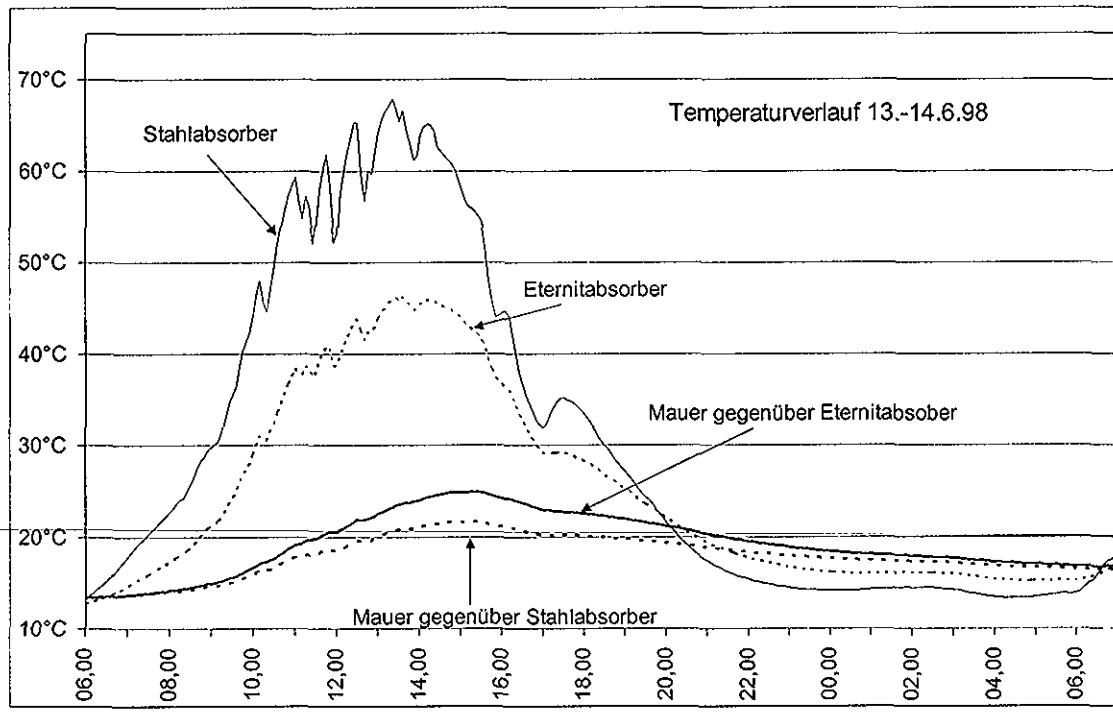
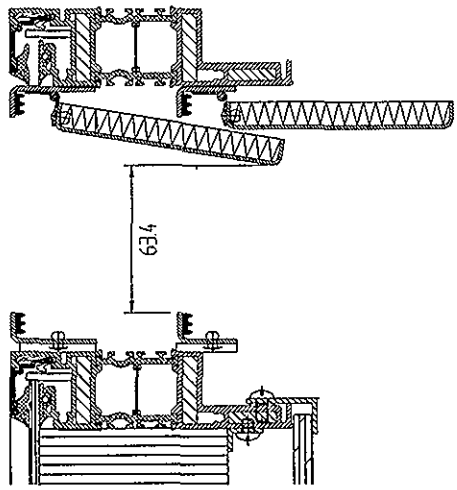


Abbildung 3: Vergleich der Temperaturverläufe zwischen den beiden Elementvarianten.

2.6 Prototypen Luftverschlüsse

Auf Grund der Beurteilung der Konzepte gemäss Tabelle 1 wurde als erste Variante ein Prototyp der Doppelklappe konstruiert (Abbildung 4, links), gefertigt und in die Fassadenelemente am Teststand eingebaut. Abbildung 4 (rechts) zeigt das Strömungsbild der Luft im Bereich der oberen Klappen unter stationären Bedingungen (Einstrahlung 250 W/m^2).



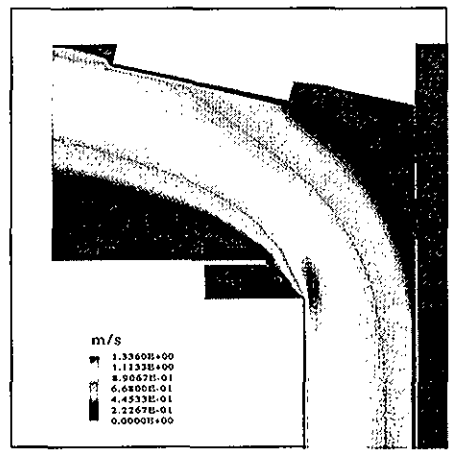


Abbildung 4: Schnittzeichnung der Doppelklappen (links). Gerechnetes Strömungsbild der Luft bei geöffneten Klappen (rechts; Randgeometrien vereinfacht). Das Bild zeigt den Strömungskanal (helle Grautöne), Randzonen (dunkle Grautöne) sowie Wirbelausbildung bei den Kanten (dunkle Grautöne im Kanalbereich).

2.7 Ausstehende Arbeiten aus dem Arbeitsprogramm 1998

Die gemäss Arbeitsplan 1998 vorgesehenen Messungen am Teststand werden erst Anfang 1999 abgeschlossen sein. Dazu sind auch noch mindestens einige Tage mit stabiler Schönwetterlage im Januar 1999 notwendig. Dann können auf Grund der Messdaten die charakteristischen Kennwerte für den Heizfall ermittelt und die Unterschiede zwischen den Varianten beurteilt werden.

3 ZUSAMMENARBEIT

3.1 Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg i.B.

Nach der Fertigstellung des Teststandes intensivierte sich erfreulicherweise die Zusammenarbeit mit dem FhG ISE. Der enge Informations- und Erfahrungsaustausch während den letzten Monate ist aus Sicht des Berichterstatters für beide Seiten sehr fruchtbar.

3.2 Eternit

Die Zusammenarbeit mit den zweiten Industriepartner beschränkte sich auf Grund der Zuständigkeiten in dieser Projektphase auf einen regelmässigen Informationsaustausch über den Projektstand.

3.3 Dritte

Die Softwarefirma silux ag, Bergdietikon stellt uns für die Beurteilung von mechanischen Antriebskonzepten bei der Verwendung von Klappen etc. ein neuartiges Simulationsprogramm zu Spezialkonditionen zur Verfügung. (Bei dem Programm handelt es sich um ein „Mechaniklabor" auf dem Computer.)

4 ERGEBNISTRANSFER IN DIE PRAXIS

Auf Grund des Projektstandes liessen sich noch keine Ergebnisse in die Praxis umsetzen. Im Rahmen des Statusseminars (27.- 28. August 1998 in Freiburg i.B.) des deutschen Bundesministeriums für Bildung Wissenschaft und Technologie (BMBF) wurde das Projekt vorgestellt und innerhalb des anwesenden Fachgremiums diskutiert.

5 PERSPEKTIVEN FÜR 1999

5.1 Messungen

Die Vermessung der Prototypen als solare Wandheizelemente im Winterfall soll im Januar 1999 abgeschlossen sein. Anschliessend werden die Resultate ausgewertet und die charakteristischen Kenngrössen (g- und U-Wert sowie Wirkungsgrad η des Systems mit Kalksandstein als Speicher im Heizfall) für die beiden Varianten der Fassadenelemente bestimmt werden.
Zur Optimierung der Kosten eines zukünftigen Fassadenelementes wird der Einfluss der unteren Verschlussöffnung auf das Verhalten im Heizfall experimentell untersucht. Falls sich dieser Verschluss ohne grosse energetische Nachteile vereinfachen lässt oder sogar ganz weggelassen werden kann, hätte das positive Auswirkungen auf die Kosten des Systems.

5.2 Verschlüsse

Neben dem bereits bestehenden Prototyp der Doppelklappe wird 1999 mindestens noch ein weiteres Verschlusskonzept konstruktiv umgesetzt und gebaut werden. In einem Fensterprüfstand wird die Luftdichtigkeit der Prototypen gemessen werden. Für das am besten geeignete Verschlusskonzept wird der Antrieb mit Ansteuerung konstruiert und gebaut werden.

5.3 Modellierung

Ausgehend von den gemessenen Charakteristika bei Hinterlüftung und im Heizfall wird ein mathematisches „Ingenieurmodell" erstellt und validiert werden. Dieses Modell lässt sich in Softwarepakete für energetische Gebäudesimulationen integrieren. In erster Linie werden dazu die Möglichkeiten bei TRNSAIR und TRNSYS abgeklärt.

5.4 Optimierung und Kostenkalkulation

Basierend auf den Erkenntnissen aus Theorie und Experimenten, eventuell ergänzt durch zusätzlichen Berechnungen mit dem unter 5.3 erwähnten Simulationsmodell, wird die kostenoptimale Variante für das Fassadenelement festgelegt. Für diese Variante inklusive Verschlüsse und notwendige Systemtechnik wird dann die betriebswirtschaftliche Kostenrechnung erstellt.

5.5 Umsetzung und Phase 2 (nur Förderung BMBF)

Das Resultat aus der Kostenrechnung wird die Basis für den Entscheid über die Durchführung der BMBF-finanzierten Phase 2 „Pilot- und Demonstrationsprojekt" bilden. Dieser Entscheid

sollte noch in der ersten Hälfte 1999 fallen. Davon werden auch die weiteren Anstrengungen für die Umsetzung in die Praxis abhängen.

6 VERÖFFENTLICHUNGEN

A.Haller, Dr.W.Platzer, W.Goerdt, Hinterlüftete, transparent wärmegedämmte Vorhangfassadenelemente, Tagungsband Statusbericht „Solaroptimiertes Bauen" 27. - 28.8.1998, Freiburg i.B.