

*Schlussbericht 2002*

# TWD-FASSADENELEMENT MIT INTEGRIERTEM LATENTSPEICHER UND SONNENSCHUTZ

Autor und Koautoren	Dietrich Schwarz und T. Nussbaumer, EMPA-Dübendorf
beauftragte Institution	Architekturbüro Dietrich Schwarz, Dipl. Architekt ETH/SIA
Adresse	Via Calundis 8, CH 7013 Domat/Ems
Telefon, E-mail, Internetadresse	T: 081 630 35 30, F: 081 630 35 31 <a href="mailto:schwarz@schwarz-architektur.ch">schwarz@schwarz-architektur.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	38108/79204
Dauer des Projekts (von – bis)	1./4 2000 bis 3./4 2002

## **Zusammenfassung**

### **Prototypen:**

1./4 2000 – 2./4 2000 wird erfolgreich ein Bauelement entwickelt. Dieses enthält alle für die Solararchitektur relevanten Komponenten: TWD – Absorber – Speicher – Überhitzungsschutz.

### **P&D Anlage:**

3./4 2000 – 4./4 2000 werden an einem Einfamilienhaus in Ebnat-Kappel 40 m<sup>2</sup> dieses neuen Bauelementes eingebaut. Das gesamte Gebäude entspricht dem Passivhausstandard. Die Behaglichkeit für die Bewohner war sowohl im Winter 2000/01, wie auch im Sommer 2001 gegeben. Das Projekt erhielt in der Kategorie „Bestintegrierte Anlage“ den Schweizer Solarpreis 2001.

### **Erfolgskontrolle:**

Das Gebäude wird durch eine einfache Messwerterfassung begleitet. Als wichtigsten Gradmesser für die Behaglichkeit im Gebäude dienen die Bewohner, diese sind mit dem Komfort sowohl im Winter, wie auch im Sommer sehr zufrieden. Das zu untersuchende Bauelement wird detailliert am Solarprüfstand der EMPA-Dübendorf als Musterfassadenelement ausgemessen. Die Messdaten des Sommers 2001 zeigen einerseits, dass durch das Fassadenelement keine Überhitzungsprobleme im Innenraum auftreten. D.h. dass sowohl das Prismenglas als Überhitzungsschutz, wie auch das Paraffin als thermischer Latentspeicher den Gesamtenergiedurchlass effizient reduzieren. Andererseits zeigen die Messdaten im Winter 01/02, dass die Einlagerung der solarthermischen Energie in den Latentspeicher und die verzögerte Energieabgabe an den Innenraum den Vorstellungen eines passivsolaren Systems entsprechen.



## Projektziele

Eine sowohl für den Neubau als auch für Sanierungen bestehender Altbauten wichtige Option der passiv-solaren Nutzung von Sonnenenergie mit dem Ziel der Senkung des Primärenergieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses ist die Technologie der transparenten Wärmedämmung. In den deutschsprachigen Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz entwickelt sich derzeit ein Nischenmarkt, der jedoch immer mehr Firmen anzieht.

Ein Hindernis bei der breiten Umsetzung der transparenten Wärmedämmung (kurz: TWD) ist das Fehlen zuverlässiger und kostengünstiger Möglichkeiten, die solaren Gewinne im Sommer effektiv zu reduzieren, damit Übertemperaturen im Gebäude bei grossen TWD-Flächen vermieden werden können. Des weiteren ist die TWD beschränkt auf Bauten mit massiven Wandbauteilen. Kostengünstige Holz- und Leichtbaukonstruktionen sind im allgemeinen wegen der fehlenden thermischen Speicherfähigkeit nicht geeignet.

Die Passivhaus-Bauweise verspricht dagegen bei Einsatz entsprechend hochwertiger und auch hochpreisiger Bauteile bei Einsatz von Lüftungswärmerückgewinnung und kontrollierte Be- und Entlüftung eine grosse Reduktion des Heizenergiebedarfes im Neubau, gerade auch mit Leichtbaukonstruktionen.

Durch die Entwicklung eines neuartigen TWD-Systems mit integriertem Latentspeicher besteht nun die Möglichkeit, beide Ansätze zu kombinieren. Vorteil der TWD wären weniger extreme Anforderungen an den Wärmeschutz und die Lüftungstechnik mit weniger Risiken bei der Bauausführung. Ebenso wird hier ein System erprobt, das sich auch bei Sanierungen und im Niedrigenergiehausbereich ohne Lüftungswärmerückgewinnung breiter einsetzen liesse. Nachteilig ist eventuell für das TWD-Passivhauskonzept die im Vergleich zur "Reinform" etwas höhere Heizleistung bei aber niedrigerem Energiebedarf.

Transparente Wärmedämmung mit Latentspeicher werden bereits seit längerem diskutiert, sind auch in einer wissenschaftlichen Dissertation auf der Basis von Salzen realisiert worden (Manz, 1996), jedoch wurde bisher kein Produkt entwickelt, das kommerzialisierbar gewesen wäre. Dies scheint im vorliegenden Fall jedoch möglich zu sein, da eine Kombination kommerziell erhältlicher Produkte vorliegt, die als Einzelbestandteile erprobt sind.

Die TWD besteht im wesentlichen aus einer Dreifachverglasung mit integriertem statischen prismatischen Sonnenschutz und einem Absorber mit eingefülltem Paraffin mit geeignetem Schmelzpunkt als Latentspeicher.

Die Fragestellungen hierbei sind:

Wie effizient ist ein solches System?

Welche dynamischen und praxisbedingten Effekte treten bei diesem System auf, die nicht in kleinen Labormustern erkannt werden können (zeitliche Veränderungen, Hystereeffekte, Degradation, Randeffekte etc.)?

Wie vertragen sich Latent-TWD und Passivhauskonzept, insbesondere die Lüftungstechnik und Heizung, miteinander und wie empfindet der Nutzer dieses Wechselspiel?

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### P&D-ANLAGE:

### SITUATION – KONTEXT



Die Bauparzelle liegt in Ebnat-Kappel im Toggenburg 635 M.ü.M., oberhalb der Nebelgrenze, an windexponierter Lage. Im Toggenburg entspricht der Holzbau der traditionellen Bauweise. Diese ist noch an alten Ökonomiegebäuden der Landwirtschaft unverfälscht ablesbar: Glatte, vertikale Holzschalungen auf einer Pfosten-Riegelkonstruktion, zum Teil mit einem Schindelschild versehen, bei Wohnbauten wärmegeklämmt, minimale Vordächer an der Traufe, ein einfaches Ortbrett als Dachabschluss an der Stirnseite.

Der Neubau bezieht sich auf die ländliche, von Landwirtschaft geprägte Umgebung. Hingegen ist er als industrieller, vorgefertigter Holzelementbau konstruiert. Er liegt als eingeschossiger Baukörper flach und quer zum Tal. Die nur 3.3 Meter hohe, aber 25.7 Meter lange Rückseite des Hauses

ist die Wetterseite und bietet ohne Vordach, dem Wind kaum eine Angriffsfläche. Das über dem Wohnbereich, nach Süden aufgespannte Pultdach bietet auf der besonnten Vorderseite dem Vorplatz Windschutz. Die Umgebungsgestaltung ist unprätentiös, sie dient dem Hobby der Bewohner, dem biologischen Landbau.

An diesem Standort besteht eine Quartierplanstudie in der die passive Nutzung der Solarenergie explizit gewünscht wird. Zu diesem Zweck wird im QP festgehalten, dass das Dach als ein nach Süden orientiertes Pultdach und die Südfassade als solare Gewinnfassade ausgebildet werden soll.

## **GRUNDRISS – SCHNITT**

Die Bauherrschaft hat sich mit diesem Gebäude ihren Alterssitz verwirklicht. Es resultierte die Bedingung, dass im Hinblick auf allfällige Altersgebrechen, alle Zimmer auf einer Etage angeordnet werden sollen.

Alle Haupträume sind unmittelbar an der passivsolaren Südfassade angeordnet, so profitieren diese uneingeschränkt von deren Wärmeabstrahlung. Ein grosszügiges Bandfenster begleitet auf der Nordseite die Verkehrszonen und die Nasszellen. Dusche, Bad und WC sind als semitransparente Kojen dem Erschliessungsgang der Schlafzimmer zugeordnet, es entsteht eine einladende Badsituation mit einem hellen Erschliessungsgang. Im Wohnraum sind die Zonen zueinander offen. Dieser ist von der Südfassade zur Nordfassade durchgehend und gibt so den Blick sowohl talaufwärts wie –abwärts frei. Die Küche ist als Wohnküche gestaltet, eine Schiebtür ermöglicht eine direkte Verbindung zum Wohnbereich.

Die Schnitte sind so ausgebildet, dass die Verkehrszonen des Baukörpers und der Nebenbau, mit Garage und Geräteraum, mit einem Flachdach eingedeckt sind. Dies und das durchgehende Bandfenster überspielen den Übergang von Nebenbau zu Hauptbau auf der Gebäuderückseite. Der Charakter des flachen, liegenden Gebäudekörpers in der Landschaft wird so unterstützt. Das Pultdach über den Haupträumen öffnet diese gegen Süden und zeichnet diese in der Südfassade mit den passivsolaren Aussenwänden klar ab.

Der grossflächige Grundriss ist nur zur Hälfte unterkellert. Der Holzbau steht auf der restlichen Fläche über einem durchlüfteten Hohlraum. Die Lüftungsrohre der kontrollierten Raumlüftung werden innerhalb des Gebäudes konzentriert in der abgehängten Decke der Verkehrszone geführt. Die Sanitärleitungen sind unter dem aufgeständerten Boden in den Badkojen verlegt. Die grossformatigen Holzbaulemente der gedämmten Gebäudehülle werden so nicht tangiert.

## **KONSTRUKTION – PASSIVHAUSSTANDART**

Das gesamte Gebäude ist als ein industriell gefertigter Holz-Elementbau ausgeführt. Die Aussenwände, das Dach und der Boden sind als hochgedämmte, 40 cm dicke Hohlkasten konstruiert und mit 35 cm Isofloc ausgeblasen, die äussere Beplankung bildet eine Lärchendreischichtplatte die innere eine aus Fichte. Es resultiert ein U-Wert von 0.11 W/m<sup>2</sup>K. Diese Konstruktionsweise stellt auch ein Optimum bezüglich der Ökologie dar, der grauen Energiebedarf ist minimal. Die Dämmwerte und die Winddichtigkeit entsprechen dem Passivhausstandart, es werden nur Dreifach-Isoliergläser eingesetzt, die Fensterrahmen bestehen aus wärmegeprägten Lärchenprofilen.

Die Südfassade entspricht ganz der Gewinnstrategie der Solararchitektur, sie ist zu 38% mit Isolierglas-Fenstern und zu 62% mit einer neuentwickelten Solarwand versehen. Die thermische Speicherfähigkeit der Solarwand erübrigt eine massive Speichermasse über Terrain. Dies hat den Bauablauf vereinfacht und beschleunigt. Das Gebäude war nach 4 Monatiger Bauzeit bezugsbereit.



## SOLARE GEWINN-SPEICHER-WAND – EINE NEUENTWICKLUNG



Mit der Unterstützung des Bundesamtes für Energie BFE, ist es erstmals gelungen ein einstückiges Bauelement zu fertigen, indem alle relevanten Komponenten der thermischen Solartechnik integriert sind: Die transparente Wärmedämmung, der Absorber, der thermische Energiespeicher und der Überhitzungsschutz.

Als TWD wurden Low-E-Isolierglasschichten gewählt, wobei die Zweitäusserste durch die prismatische Ausformung als saisonalen Überhitzungsschutz funktioniert. Steiles Sommerlicht wird durch Totalreflexion zurückgespiegelt. Flaches Winterlicht kann hingegen die Prismen passieren. Der Clou ist die enorme Speicherkapazität des Bauelementes. Kunststoffkästchen sind, mit Paraffin abgefüllt, hinter den Isolierglasschichten angeordnet. Das speziell ausgewählte Paraffin besitzt die Eigenschaft, dass es bei Raumtemperatur schmilzt, es funktioniert so als Latentspeicher. Durch die Phasenverschiebung von fest zu flüssig und umgekehrt kann Paraffin zehnmal mehr Energie als Beton aufnehmen, respektive abgeben. Durch die Einfärbung der Kunststoffkästchen wird das Licht direkt in der Speichermasse absorbiert, was ein gleichmässiges Aufschmelzen gewährleistet.

Das Bauelement wirkt als passivsolare Gewinn-Speicher-Wand. Das heisst, dass nach dem einfachen Einbau des Bauelementes keine Wartung nötig ist. Die Unterhaltskosten sind gleich Null.

Verblüffend ist dabei seine interaktive Funktionsweise, welche sinnlich wahrnehmbar ist. Nach einem sonnigen Wintertag wird die Wand durchs Aufschmelzen des Paraffins lichtdurchlässiger und heller. Bei einer Kaltwetterperiode gibt sie die gespeicherte Energie durch angenehme Strahlungswärme zum Gebäudeinnenraum wieder ab, gleichzeitig verdunkelt sie sich wieder. Da im Sommer kein Licht die Glasschichten passieren kann, wird das Paraffin auch nicht aufgeschmolzen, die Wand bleibt dunkel. Trotz der physikalischen Gesetzmässigkeiten bleibt der Gestaltungsspielraum beträchtlich, da die innerste Glasscheibe mit einem keramischen Siebdruck beschichtet ist. Dieser kann in allen Farben und Mustern gewählt werden, auch in neutralem Weiss. Bei dem vorliegenden Objekt ist die Beschichtung diffus durchsichtig, so bleiben die Paraffinkästchen zu Demonstrationszwecken gut sichtbar. Das Bauelement wird in vielerlei Hinsicht sinnlich wahrnehmbar.

## **ENERGIEKONZEPT – EIN NULLENERGIEHAUS**

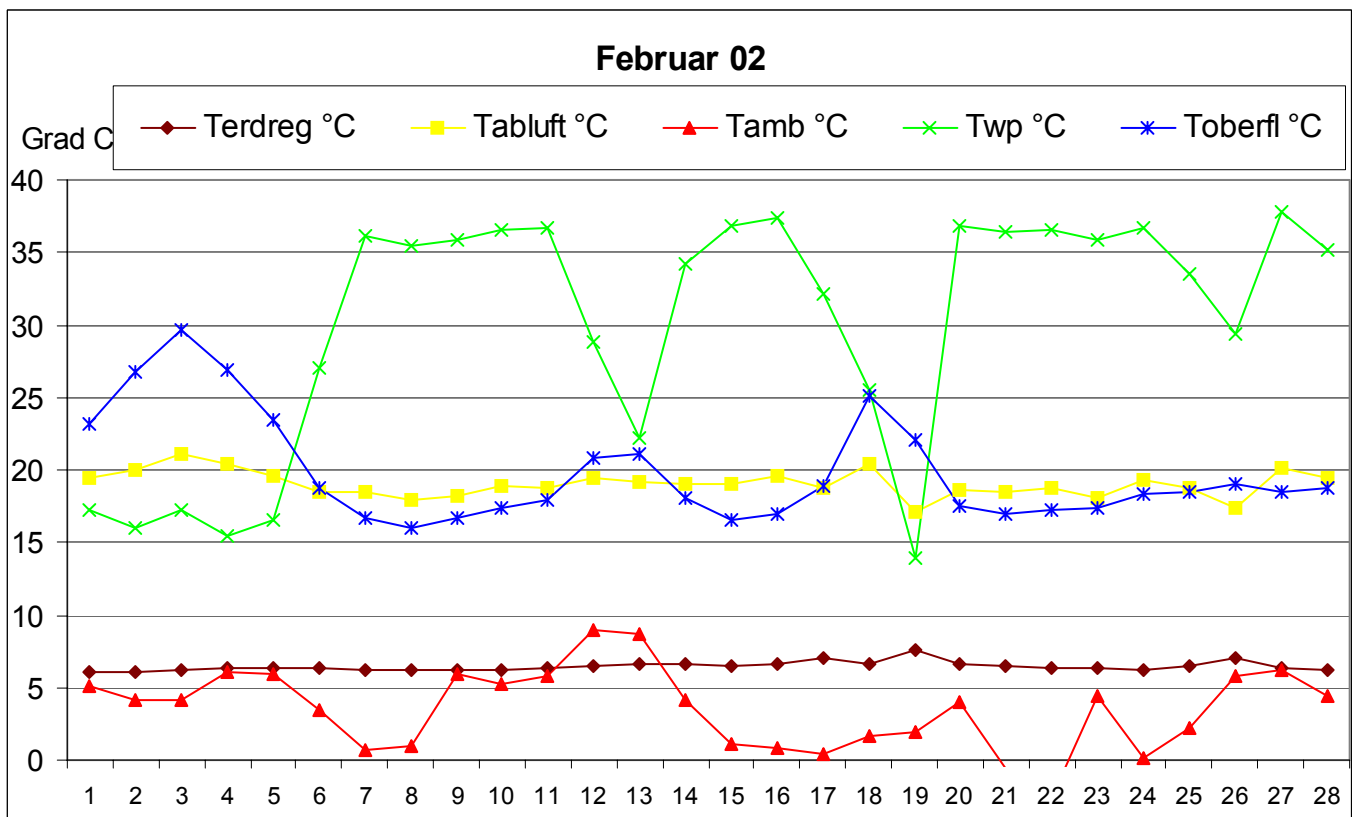
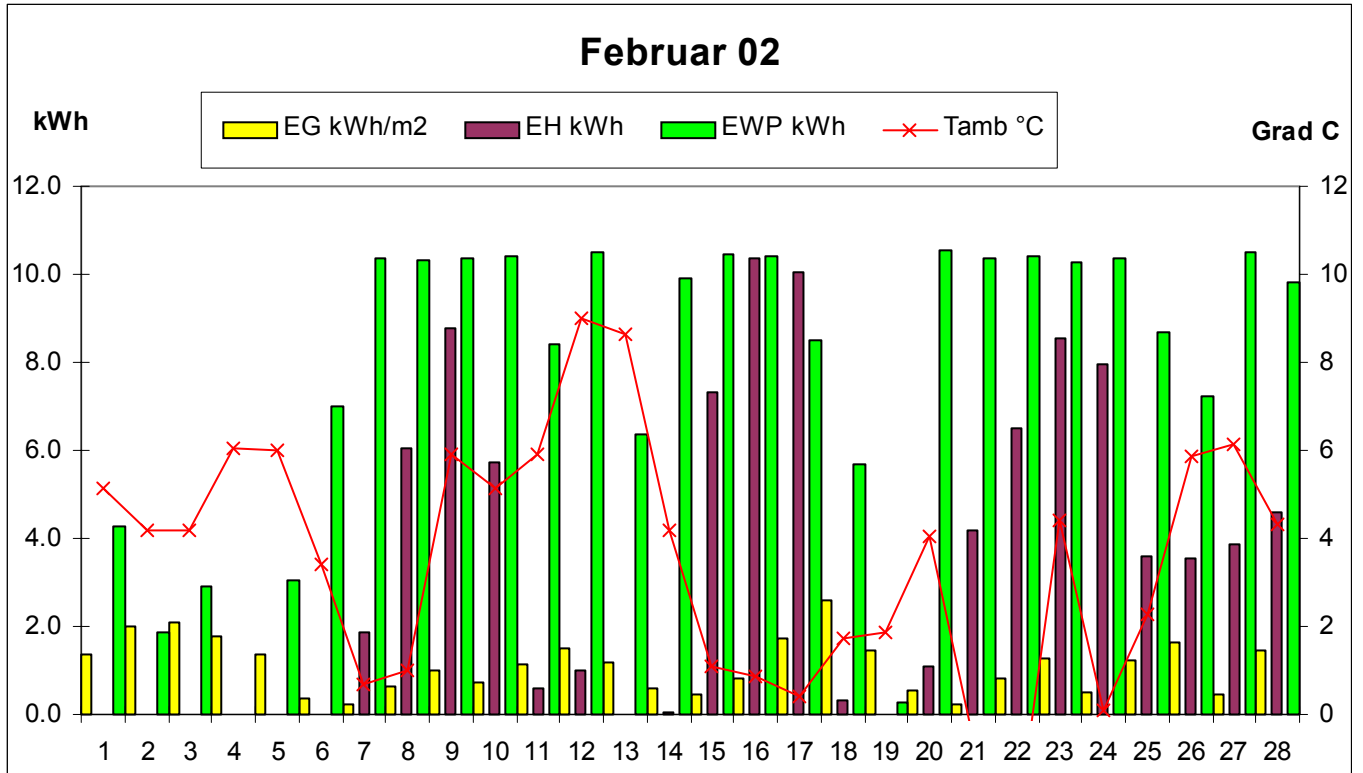
Das Gebäude nutzt mit allen Mitteln der Kunst, die passiven und architektonischen Möglichkeiten aus, um einerseits wenig Energie durch Transmission zu verlieren und andererseits viel solare Energie kontrolliert zu gewinnen.

Das Konzept wird durch aktive Systeme ergänzt. Eine mechanisch kontrollierte Raumlüftung mit einem grosszügig dimensionierten Erdregister, integrierten Wärmerückgewinnungsgerät WRG und einer Wärmepumpe WP deckt den restlichen Heizleistungsbedarf bei Schlechtwetterperioden ab. Die Wärmepumpe nutzt die warme Abluft als Energiequelle und gibt die benötigte Energie mit einer JAZ 3.3 an die Raumzuluft ab. Während der Nacht arbeitet die gleiche WP bei Bedarf auf den Wasserspeicher (450 Liter). Durch das ausgeklügelte System der Marke Maico Aerex wird der Primärenergiebedarf mehr als gedrittelt. Ein zusätzlicher Warmwasserkollektor erwärmt den Wasserspeicher und deckt so bei schönem Wetter den Warmwasserbedarf ab. Es resultiert für den thermischen Energiebedarf ein minimaler Primärenergiebedarf von 500 bis 700 kWh/a. Als ideale Ergänzung zur Wärmepumpe bietet sich eine Photovoltaikanlage PV an. Die installierte PV (16.7 m<sup>2</sup>) liefert ca. 2200 kWh/a. Somit ist mit Hilfe von sparsamen elektrischen Geräten auch der Strombedarf des Haushaltes abgedeckt. Durch die Rückspeisung der PV ins Netz des EW's im Sommer und dem Bezug im Winter entsteht übers Jahr eine ausgeglichene Energiebilanz. Es resultiert für Fr. 660'000 (BKP 2) ein Nullenergiehaus inkl. Garage und Geräteraum.

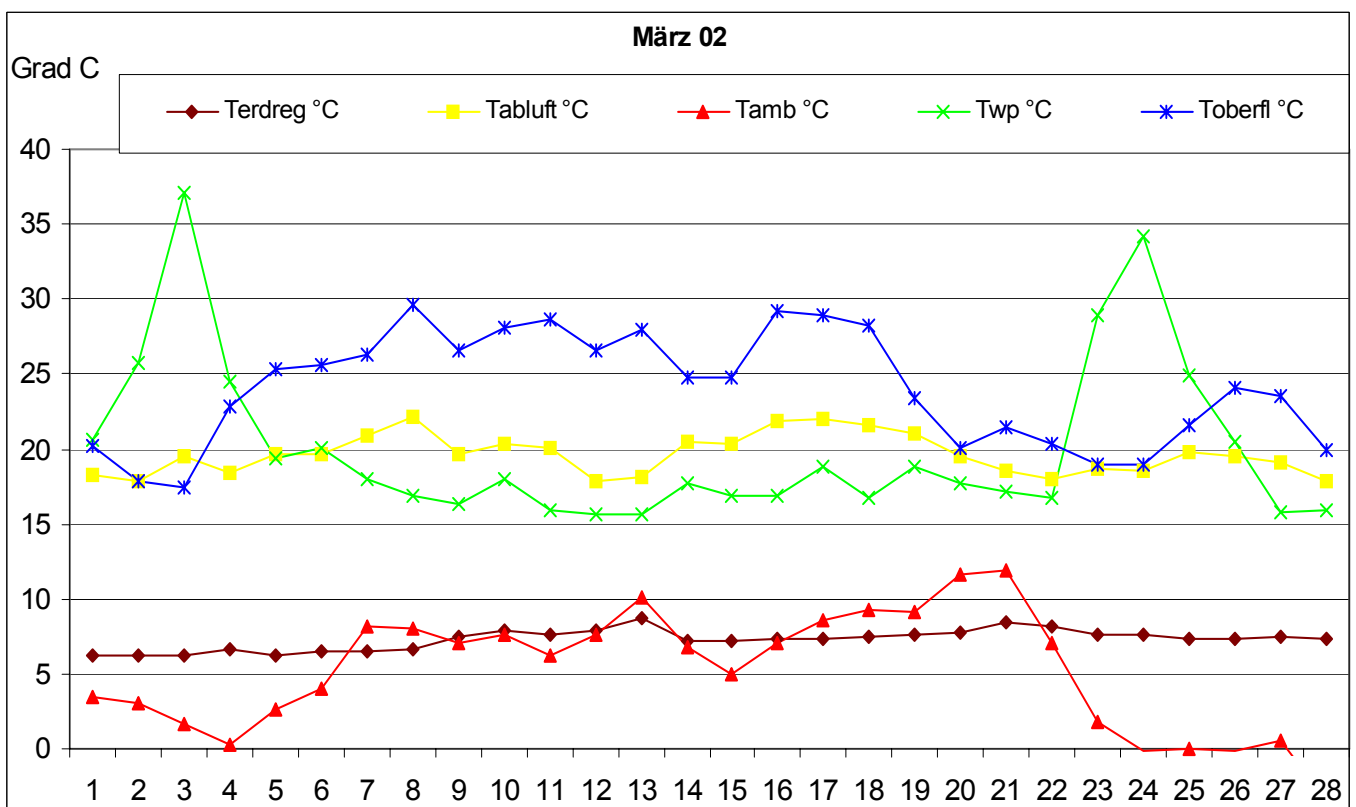
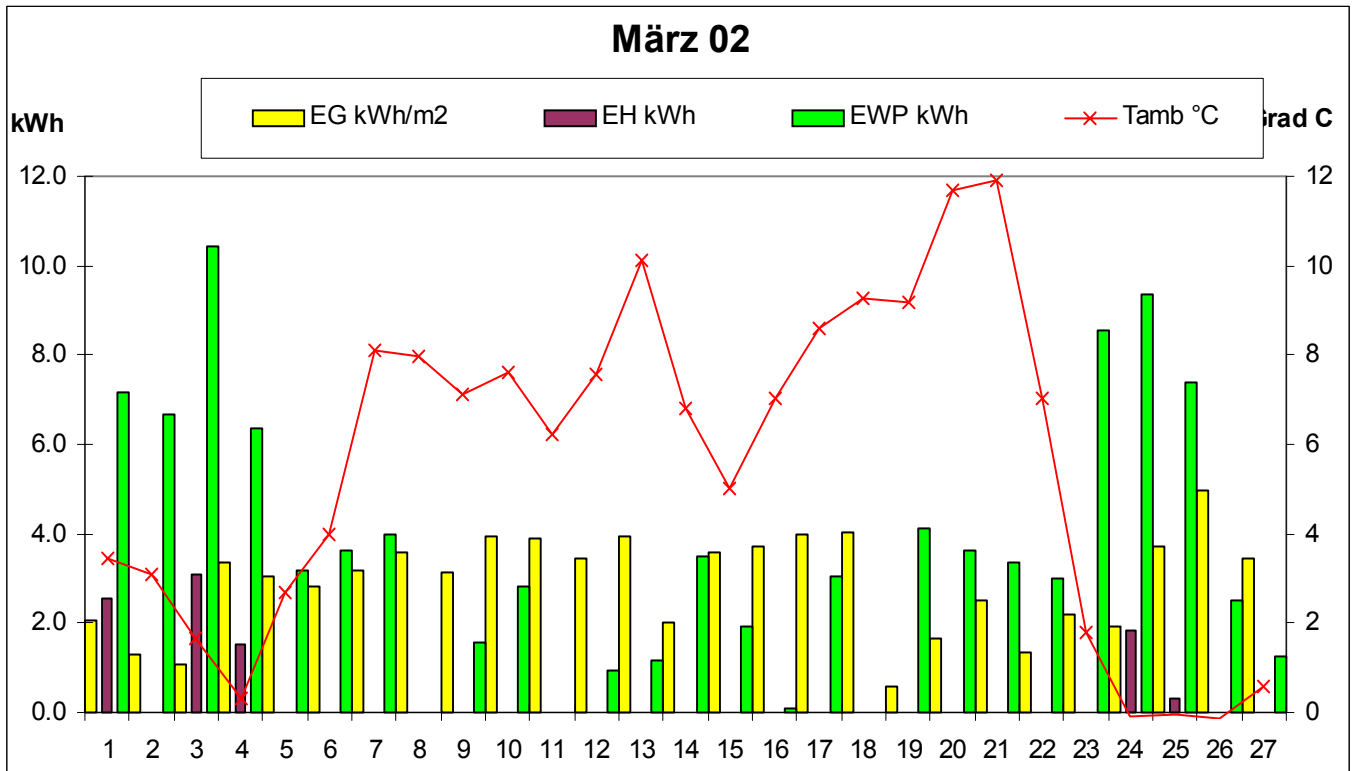
## **MESSPROJEKT AM BAUOBJEKT:**

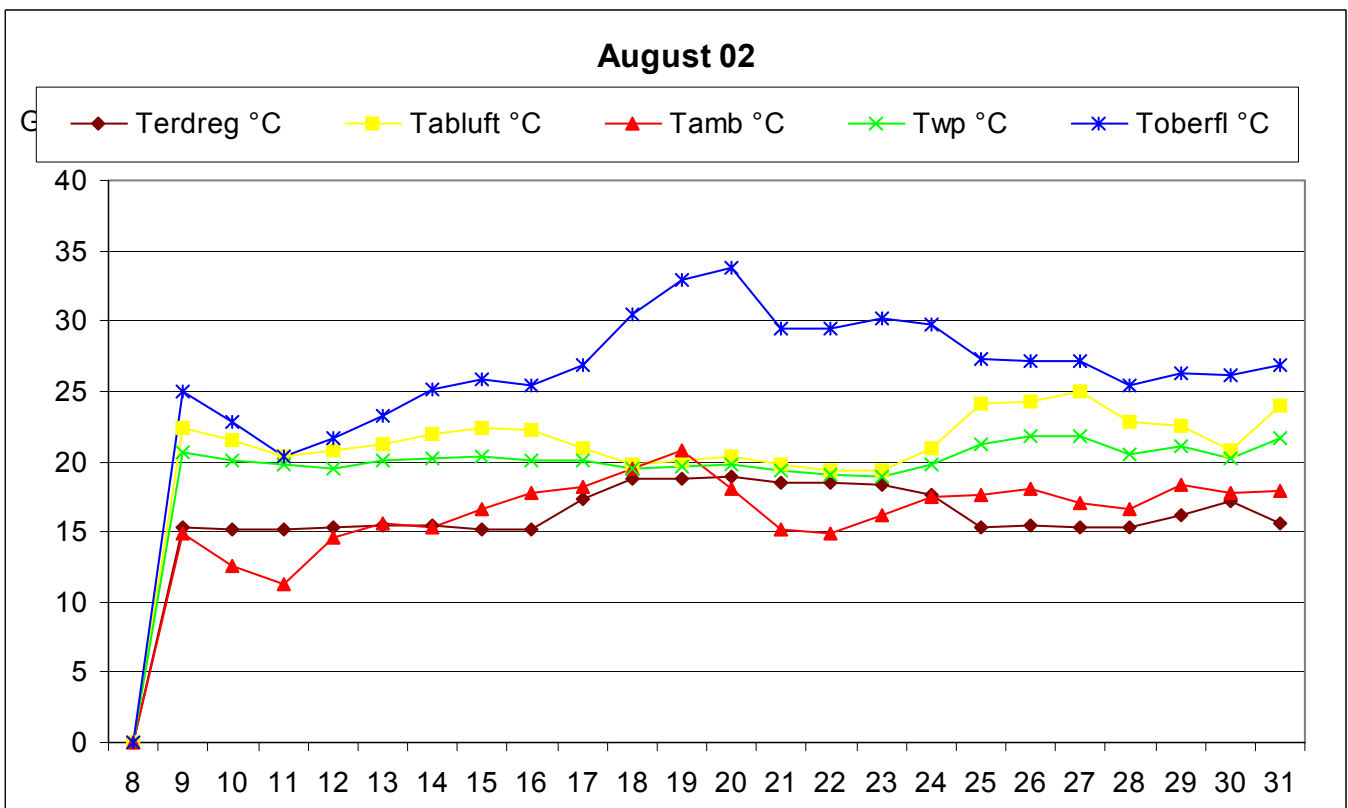
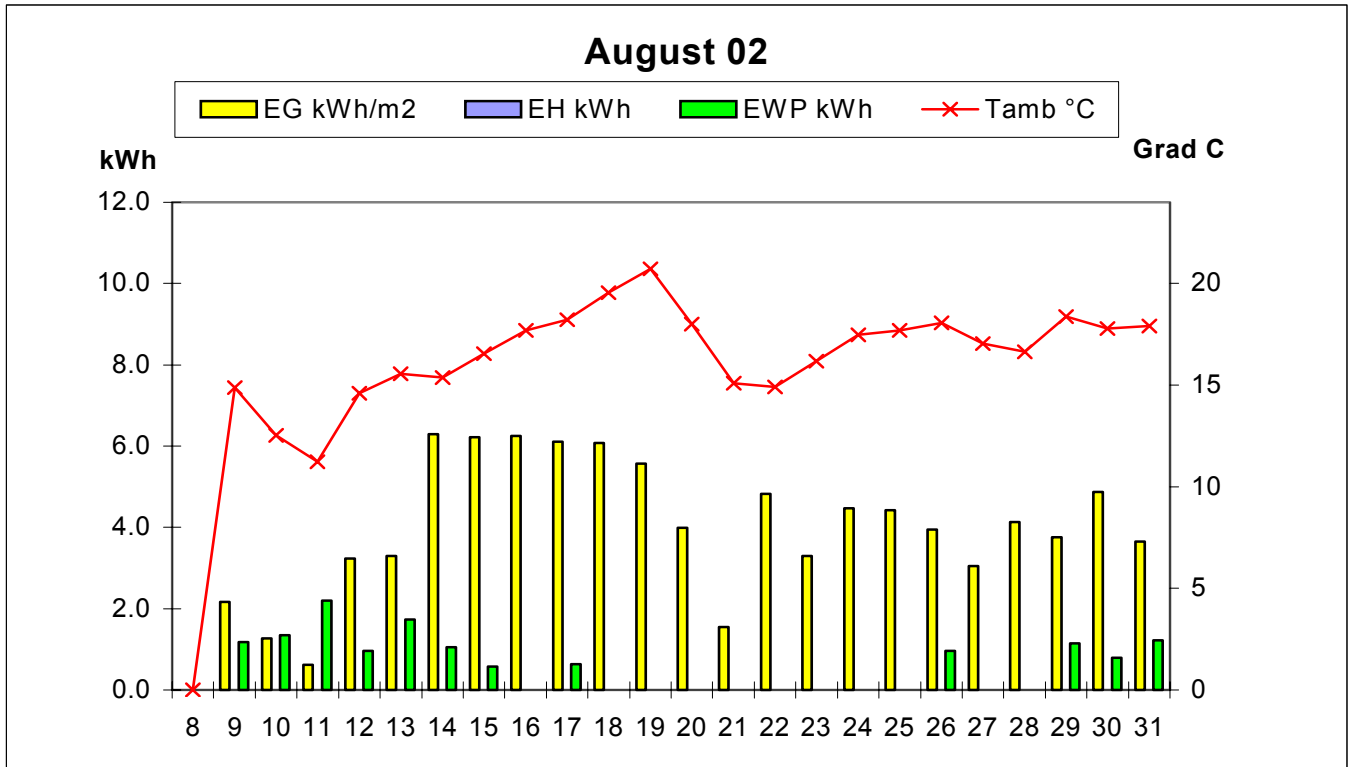
### **DIAGRAMM MONATSÜBERSICHT**

Leider ist die Messwerterfassung vor Ort am Gebäude mehrmals ausgestiegen bis wir nun eine stabile Erfassung erreicht haben. Es fehlt uns der Wintermonat Januar 02, wobei der Februar 02, mit Schön- und Schlechtwetterperioden sehr aussagekräftig ist. Das gleiche gilt für den fehlenden Sommermonat Juli, im August liegen uns aber die Messdaten vor. Die Messwerterfassung wird für den internen Genrauch und zur Überprüfung der Daten um ein Jahr verlängert. Es gilt auch zu sagen, dass die Ladezustände der PCM-Wand im Solarprüfstand unter extremen meteorologischen Bedingungen im Sommer und im Winter detailliert vorliegen.









Im vorliegenden Messprogramm werden folgende Parameter erfasst:

Tabelle oben:

EG = Energieeintag horizontale Solarstrahlung [kWh/m<sup>2</sup>]

EWP = Energiebezug Wärmepumpe, Leistungsaufnahme 440 W, Leistungsabgabe 1500 W [kWh]

EH = Energiebezug Elektronachheizung Warmwasser Leistungsaufnahme/Abgabe 2 kW [kWh]

Tamb = Temperatur aussen [°C]

Tabelle unten:

Terdreg = Temperatur Frischluft nach Erdregister [°C]

Tabluft = Temperatur Abluft vor WRG [°C]

Tamb = Temperatur aussen [°C]

Twp = Temperatur Zuluft nach WRG, nach WP [°C]

Toberfl = Temperatur Oberfläche Solarwand innen [°C]

Der in den Diagrammen gewählte Zeitabschnitt vom 01.02.02 bis 28.02.02, zeigt folgende Erkenntnisse aus der praktischen Erfahrung:

1. Die Heizleistung des Heizung-Lüftungsgerätes, Maico Aerex WP 160, beträgt 1.5 kW, Bedingung ist ein ausreichend dimensioniertes Erdregister wie es im Solarhaus III vorliegt (Länge 33 m, Durchmesser 25 cm). Selbst bei schwacher Solarstrahlung und Temperaturen um den Gefrierpunkt ist die Heizleistung für die Raumheizung ausreichend. Die Innenraumtemperaturen (Tabluft), werden immer über der von der Bauherrschaft gewünschten Minimaltemperatur von 18 °C gehalten. Der Energiebezug für die Raumheizung der WP beträgt max. 10.0 kWh pro Tag.
2. Es gibt aber einige Tage im Februar, wo die Heizleistung der Wärmepumpe nicht ausreicht um auch das Brauchwasser zur Verfügung zu stellen. In diesen Tagen kommt zusätzlich die elektrische Nachheizung im Warmwasserspeicher zum Einsatz. Dieser ist maximal 5 Stunden im Einsatz um die 140 bis 160 Liter Brauchwasser aufzuheizen. Es fällt aber auf, dass diese elektrische Nachheizung in der Energiebilanz stark ins Gewicht fällt. Der Energiebedarf im Februar von 315.2 kWh für die Raumheizung und das Brauchwasser kann trotzdem als sehr gering bezeichnet werden und entspricht auch dem Passivhausstandard. Im Februar resultiert eine Energiekennzahl für Brauchwasser und Raumheizung von 2.9 kWh/m<sup>2</sup>mtl.

#### **Summe 1.-28. Februar 2002**

EG	EH	EWP
kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh
31.2	96.0	219.2

3. Die Heizleistung der WP ist sehr gut auf die Luftmenge der Komfortlüftung abgestimmt. Die Zulufttemperaturen steigen nie über 38 °C. Die Innenraumtemperatur bleibt immer im Komfortbereich zwischen 18 und 21 °C.
4. Das Erdregister liefert auch noch Ende Winter Temperaturen von konstant 6 bis 7 °C. Es ist somit mit 33 m Länge und einem Durchmesser von 25 cm grosszügig dimensioniert.
5. Bei der inneren Oberflächentemperatur der Solarwand ist zu beachten, dass es sich um Tagesdurchschnittstemperaturen handelt und somit keine Aussage über den Ladezustand des Latentspeichers gemacht wird. Der Lade- und Entladezyklus des Latentspeichers in der Solarwand ist zu kurz, dass er in dieser Darstellung erfasst würde. Dies ist aber aus der Messwerterfassung im Solarprüfstand nachstehend sehr detailliert dargestellt. Im vorliegenden Monat Februar sind die Oberflächentemperaturen während den Tagen 01.-06., 12.-14., 17.-20. und 25.-28. Über den Innenraumtemperaturen, somit gibt die Solarwand während diesen Tagen solare Energie an den Innenraum ab. Dies entspricht ca. der Hälfte der Zeit im Februar.

6. Daraus und aus dem Diagramm mit der täglich eintreffenden, horizontalen Solarstrahlungsenergie lässt sich grob ableiten, dass die Solarwand eine tägliche Solarstrahlungsenergie von 800-1000 Wh/m<sup>2</sup> benötigt um gewinnbringend wirken zu können. Dies ist im Monat März bereits während 30 Tagen der Fall. Die Aussentemperaturen sind dabei nicht Match entscheidend. Im März resultiert eine Energiekennzahl für Brauchwasser und Raumheizung von lediglich 1 kWh/m<sup>2</sup>mtl.

**Summe 1.-28. März 2002**

EG	EH	EWP
kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh
79.0	9.3	100.8

7. Die Aussentemperaturen sind hingegen für den Energiebedarf des Gebäudes, der sich aus dem Energiebezug der WP ableiten lässt, von Bedeutung. Die Transmissionsverluste der Gebäudehülle lassen sich direkt daraus ableiten.

Der in den Diagrammen gewählte Zeitabschnitt vom 09.08.02 bis 31.08.02, zeigt folgende Erkenntnisse aus der praktischen Erfahrung:

1. Die Messwerterfassung zeigt, dass im August an Tagen mit einer geringen horizontalen, globalen Strahlungsenergie (kleiner als 3 kWh/Tag) die Wärmepumpe in Betrieb genommen wird. Das Aerex-Gerät besitzt eine integrierte Wärmepumpe, welche bei Bedarf auch das Brauchwasser aufbereitet. Der solare Flächenkollektor, welcher denselben Brauchwasserspeicher beliefert wie die WP wurde im vorliegenden Objekt bewusst vertikal in die Fassade integriert. Der Grund liegt darin, dass im Winter die WP an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit kommt und des Öfteren der Elektroinsatz für die Brauchwassererwärmung zum Zuge kommt. Dies ist wesentlich unwirtschaftlicher als der sporadische Einsatz der WP für die Brauchwassererwärmung im Sommerbetrieb. Fazit: der Flächenkollektor wurde bezüglich der Winternutzung optimiert eingebaut.
2. Der Bauherr hat aus diesem Grund, während seiner Abwesenheit vom 17.08.02 bis zum 24.08.02 das Lüftungsgerät komplett ausgeschaltet. Dies wird daraus ersichtlich, dass sämtliche Lufttemperaturen aus dem Lüftungsgerät sich knapp unter 20 °C einpendeln. Die entspricht zu diesem Zeitpunkt ungefähr der Kellertemperatur.
3. Während dem ausgeschalteten Zustand des Lüftungsgerätes können die Oberflächentemperaturen der Solarwand keine Auskunft über den Ladezustand der Solarwand geben. Da nach Rücksprache mit dem Bauherrn, während seiner Abwesenheit, auch die Fenster nicht verschattet wurden, erhöhte sich die Innenraumtemperatur vermutlich zeitweise bis auf 40 °C. Dies hat zur Folge, dass der Sensor der Oberflächentemperatur schlussendlich von der Raumtemperatur stark beeinflusst wurde, wenn nicht sogar diese gemessen wurde. Trotzdem gilt der Situation, wo zwei Monate nach der Sonnenwende während sechs Tagen eine Schönwetterperiode herrscht, besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Frage lautet: Ob nicht bereits zu viel solare Energie die Prismenstruktur in der Solarwand passieren kann und zu einer starken Aufschmelzung des PCM führen kann.
4. Die Innenraumtemperaturen, welche sich in der Ablufttemperatur des Lüftungsgerätes ablesen lässt bleibt für die übrige Zeit im Komfortbereich zwischen 21°C bis 25 °C.
5. Die Erdregistertemperaturen haben sich Ende Sommer um 15 °C eingependelt.

**Summe 9.-31. August 2002**

EG	EH	EWP
kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh
93.1	0.0	13.8

Als wichtigsten Parameter ist das Wohlbefinden der Bewohner zu werten. Diese sind mit dem Gebäude rundum zufrieden und erteilen jährlich mehreren hundert Besuchern gerne Auskunft über Ihr Solarhaus.

Es ist dem Benutzer den Rat zu erteilen in den selbstregulierenden Mechanismus so wenig wie möglich einzugreifen, weil die Mechanismen des Energiehaushaltes eines komplexen Solarhauses von einem Leihen nicht gesteuert werden können. Die saisonale Verschattung behält die Innentemperatur, wie im ersten Diagramm aufgezeigt, auch nach einer mehrtägigen Schönwetterperiode im Komfortbereich.

## **ERFOLGSKONTROLLE:**

### **MESSTECHNISCHE BESTIMMUNG DES GESAMTENERGIEDURCHLASSGRADES (G-WERT)**

Prüfobjekt: Zwei 4-fach Isolierverglasungen mit eingebautem PCM und in einem Fall mit eingebautem Plexiglas-Prisma Typ „Powerglas“ und „Powerglas Sparversion“ Die Sparversion mit Sonnenschutzglas anstelle des Prismenglases führte zu keinen brauchbaren Ergebnissen und wird hier nicht näher beschrieben.

4-IV 6/30/6/12/6/42/6mm und 4-IV 6/12/6/12/6/22/6mm je

mit IR reflektierender Beschichtung und 1-mal PCM-Füllung

Abmessungen: 1.430 m (b) x 1.230 m (h)

Ihr Auftrag vom: 13.09.2001

Anlieferung der Prüfobjekte: 04.04.2001

Abschluss der Messungen: 17.08.2001

Anzahl Seiten (inkl. Anhang): 26

separate Beilagen: keine

Inhalt

Teil 1

1. Auftrag
2. Angaben zu den Prüfobjekten
3. Einbausituation und Messanordnung
4. Mess-Ergebnisse der Sommer-Messungen
5. Zusammenfassung der Sommer-Messungen

## **1. Auftrag**

Im Zusammenhang mit dem Projekt Nr. 38108 des BFE, erteilte der Architekt Herr Dietrich Schwarz, Via Calundis 8; in CH - 7013 Domat/Ems, der EMPA Abteilung Bauphysik mit Schreiben vom 13.09.2001, den Auftrag, die messtechnische Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades (g-Wert) an zwei im Auftrag des Auftraggebers angelieferten Prüfobjekten, nämlich „Zwei 4-fach Isolierverglasungen mit eingebautem PCM und in einem Fall mit eingebautem Plexiglas-Prisma“, auszuführen. Die Messungen sollten während einer Periode im Sommer und für ein Element nochmals eine Messung auch im Winter erfolgen. Letztere Resultate werden im Schlussbericht festgehalten sein.

## **2. Angaben zu den Prüfobjekten**

### **2.1. Allgemeine Angaben (gemäss Herstellerangabe)**

Typ: Zwei 4-fach Isolierverglasungen mit eingebautem PCM und in einem Fall mit eingebautem Plexiglas-Prisma Typ „Powerglas“ und „Powerglas Sparversion“

Die Sparversion mit Sonnenschutzglas anstelle des Prismenglases führte zu keinen brauchbaren Ergebnissen und wird hier nicht näher beschrieben.

Rahmen: es wurden die reinen Verglasungen ohne Rahmen geprüft

Die Prüfkörper haben nachfolgend genannte Bezeichnungen und Aufbau:

a) „Powerglas“ 4-IV 6/30/6/12/6/42/6mm:

äussere Scheibe: 6 mm dicke ESG Planitherm II mit Low-E Beschichtung (normales Emissionsvermögen

auf Pos. 1:  $e_1 = 0.89$ ; normales Emissionsvermögen auf

Pos. 2:  $e_2 = 0.08$ )

SZR: 12 mm mit Argonfüllung; Abstandhalter 6mm breit

Prism im SZR: ca. 5 mm dickes Plexiglas Prism

SZR: 24 mm mit Argonfüllung; 24mm breiter Spezial-Abstandhalter aus Aluminium mit U-Profil zur Halterung des Plexiglases

Scheibe: 6 mm dicke ESG-Scheibe klar ohne Beschichtung (normales Emissionsvermögen

auf Position 3:  $e_3 = 0.89$ ; normales Emissionsvermögen auf Pos. 4:

$e_4 = 0.89$ )

SZR: 12 mm mit Argonfüllung; Aluminium-Abstandhalter 12mm breit

Scheibe: 6 mm dicke ESG Planitherm II mit Low-E Beschichtung (normales Emissionsvermögen

auf Pos. 5:  $e_5 = 0.08$ ; normales Emissionsvermögen auf

Pos. 6:  $e_6 = 0.89$ )

SZR: 20 mm mit Paraffin enthaltenden Kassetten gefüllt; 20mm Al-Abstandhalter

SZR: 22 mm mit Paraffin enthaltenden Kassetten gefüllt; 22mm Al-Abstandhalter

innerste Scheibe: 6 mm dicke ESG (klar ohne Beschichtung (normales Emissionsvermögen

auf Position 7:  $e_7 = 0.89$ ; normales Emissionsvermögen auf Pos. 8:

$e_8 = 0.89$ ) mit Siebdruck (weiss; vollflächig) auf der Innenseite

Glasdicke: bei 22.0°C und 958 mbar Luftdruck:

Scheibenrand ecken: 109.74mm; Scheibenrandmitten: 107.49mm



Abmessungen: Aussenkanten: 1.430 m x 1.230 m = 1.759 m<sup>2</sup>

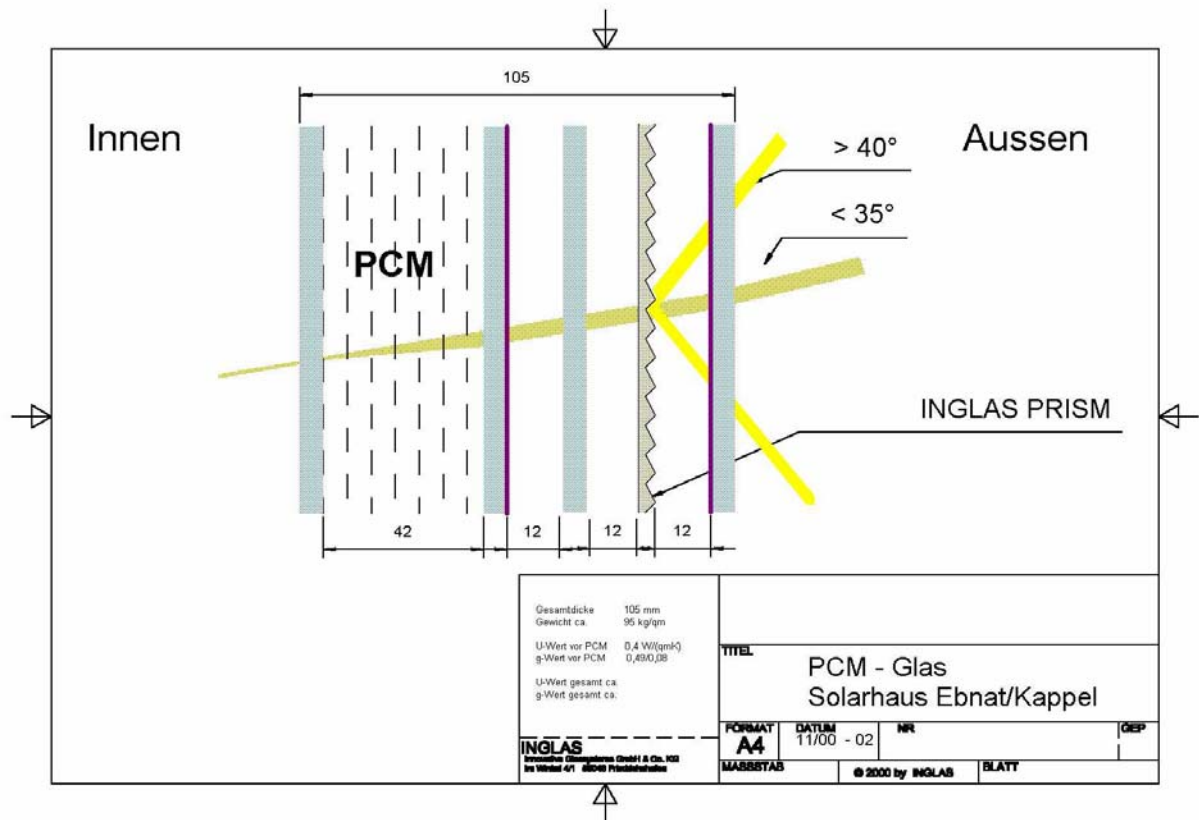


Bild1: Aufbau des Prüfkörpers „Powerglas“

### 3. Einbausituation und Messanordnung

#### 3.1. Einbausituation der Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden in einen Rahmen, welcher eine mittig zentrierte Öffnung aufwies, eingebaut (vergleiche Foto 7, Seite 19). Die lichte Öffnung des Rahmens war etwas grösser als die Prüfkörper. Diese lichte Öffnung wurde deshalb mittels mit einer Nut versehenen Polystyrolplatten verkleinert. Die Nut dieser Platten nahm dann die Prüfkörper auf. Die Prüfkörper wiesen je Aussenabmessungen von 1.430 m (Breite) x 1.230 m (Höhe) auf und wurden jeweils 15mm tief rundum in diese Polystyrolnut eingenuet. Die Position der Prüfkörper waren um 2 cm von der Aussenseite der Testzelle nach innen zurückversetzt (siehe untenstehende Skizze und Foto 7 und Foto 11 im Anhang 1). Der Übergang von der Polystyrolnut zum Probekörper wurde mit Silikon luftdicht verschlossen. Die Übergänge von den einzelnen Polystyrolteilen zum Rahmen wurden mit Klebband überdeckt und so abgedichtet. Die Luftdichtheit der Messzelle bezüglich Aussenklima und Service-raumlufte wurde vor den Messungen kontrolliert, wobei der Grenzwert  $nL50 = 0.5 \text{ h}^{-1}$  immer deutlich unterschritten wurde.

#### 4. Mess-Ergebnisse der Sommer-Messungen

Die Messungen der beiden Gesamtenergiedurchlassgrade der geprüften Probekörper wurde an der

EMPA Dübendorf im Passivsolarprüfstand Zelle West in der Zeitperiode vom 26.06.2001 bis zum 17.08.2001 durchgeführt.

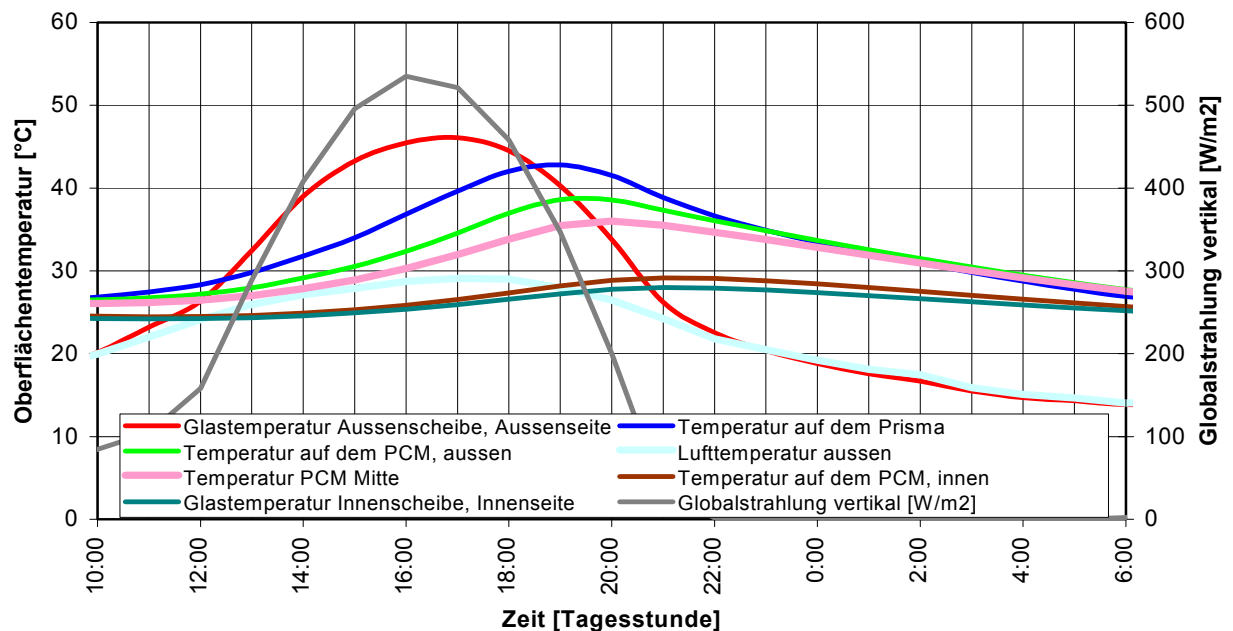
##### 4.1. Gemessene Oberflächentemperaturen auf dem Probekörper innen und aussen

Neben den g-Werten sind auch die Oberflächentemperaturen auf dem Probekörper innen und aussen von Interesse, da einerseits sehr hohe Oberflächentemperaturen aussen mindestens im Erdgeschoss wohl kaum akzeptiert werden und andererseits hohe Oberflächentemperaturen auf dem Probekörper raumseits zu einer Beeinträchtigung des Raumkomfortes führen können. Obwohl das Maximum natürlich zuerst auf der Aussenseite und je nach Probekörper das Maximum erst mehrere Stunden später auf der Innenseite des Probekörpers erreicht wird, wird in der nachstehenden Tabelle 1 der Zeitpunkt für das Maximum auf der Aussenseite angegeben sowie die dazugehörige Strahlungsintensität [ $\text{W/m}^2$ ] und für die dazugehörige Lufttemperatur aussen [ $^{\circ}\text{C}$ ] wurde der Mittelwert zwischen den beiden Maxima (Oberflächenmaximum der äussersten- und der innersten Scheibe) angegeben.

##### 4.2. Phasenverschiebung durch PCM (Phase-Change-Material)

Während der g-Wert-Messung wurden zugleich auch die Oberflächentemperaturen im Prüfkörper (während dem Zusammenbau der Verglasung montiert) miterfasst und sind nachstehend für einen sonnigen Tag (03.07.01 ab 10:00 Uhr bis 04.07.01 06:00 Uhr) in einer Grafik dargestellt.

#### Phasenverschiebung Element "Powerglas"

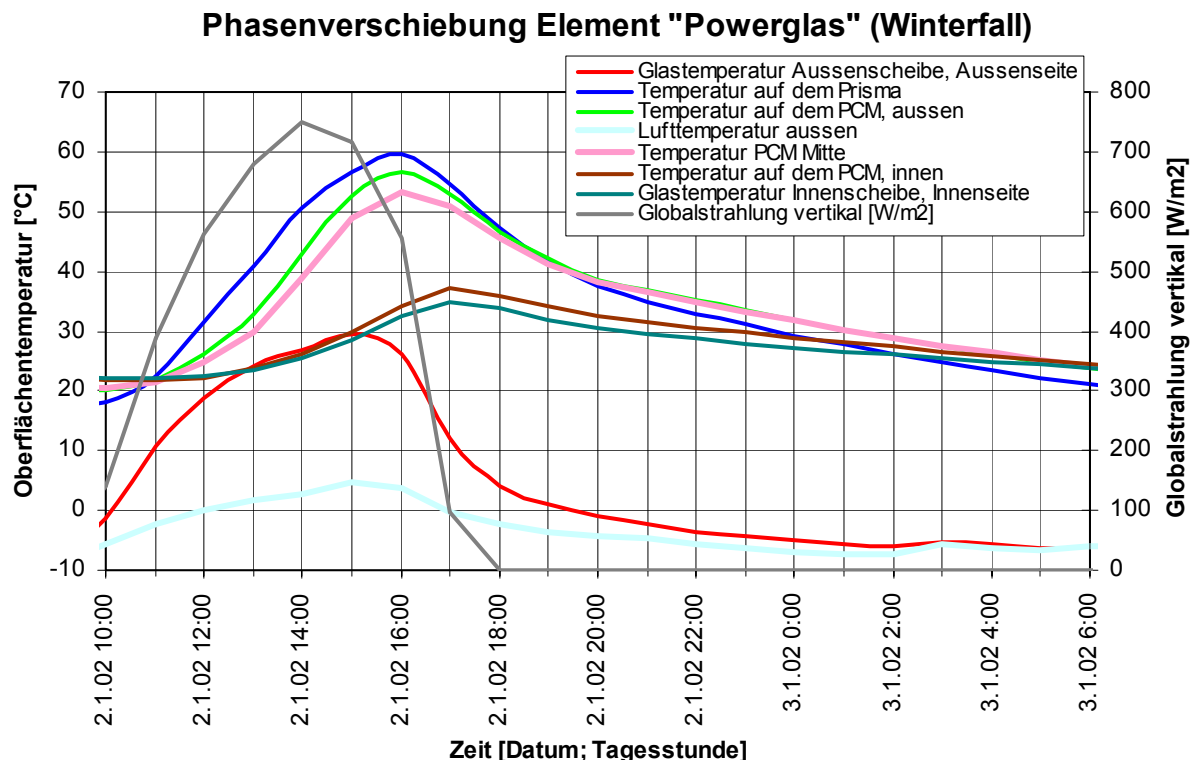


Es zeigt sich dabei sehr schön eine Phasenverschiebung, d.h. die zeitliche Differenz zwischen dem Temperaturmaximum auf der Aussenseite und dem Temperaturmaximum auf der Innenseite, oder die zeitliche Differenz zwischen dem Temperaturmaximum auf dem äusseren PCM-Behälter aussen und dem Temperaturmaximum auf dem inneren PCM-Behälter innen. Der sehr „flache“ Verlauf der Temperatur auf der Innenseite deutet darauf hin, dass der grösste Teil der

auftreffenden Energie von der Änderung des Phasenzustandes in den PCM-Behältern absorbiert wurde und somit die Innenscheibe nicht zu erwärmen vermochte. Es ist von daher anzunehmen, dass der Schmelzvorgang nicht die gesamte Speichermasse geschmolzen hat, sondern ein Rest unverändertes PCM Material übrigblieb.

Zur weiteren Information sind zudem noch die dazugehörige Strahlungsintensität vertikal [W/m<sup>2</sup>] sowie die dazugehörige Lufttemperatur aussen [°C] auf dem Diagramm miteingezeichnet worden.

Auch für die Wintermessung am Prüfkörper wurde die Phasenverschiebung mittels der gemessenen Oberflächentemperaturen veranschaulicht. Nachstehend auch hierzu die Graphik für den Zeitraum vom 02.01.02 ab 10.00 Uhr bis 03.01.02 06.00 Uhr.



Gut ersichtlich ist die Abhängigkeit der Glastemperatur auf der Aussenseite von der Lufttemperatur aussen. Auch der Ordinaten-Unterschied der Glastemperatur auf der Aussenseite im Vergleich zur Prismen-temperatur ist auf die winterliche Aussenlufttemperatur zurückzuführen. Es zeigt sich nur eine geringe Phasenverschiebung (ca. 1 Stunde), d.h. die zeitliche Differenz zwischen dem Temperaturmaximum auf dem äusseren PCM-Behälter aussen und dem Temperaturmaximum auf dem inneren PCM-Behälter innen.

Der relativ markante Temperaturanstieg auf der Innenseite des PCM-Behälters innen deutet darauf hin, dass ein Teil der auftretenden Energie von der Änderung des Phasenzustandes in den PCM-Behältern absorbiert wurde und das PCM-Material somit weitgehend geschmolzen war und der noch verbleibende Teil der aufgetroffenen Energie das geschmolzene Material in ein höheres Temperaturniveau überführt hat, so dass sich die Innenscheibe um ca. 10 °C zu erwärmen vermochte.

Die Erhöhung der Scheibeninnen-Oberflächentemperatur führt im Winterfall zu einer leichten Erhöhung des sekundären Wärmeabgabegrades gegenüber dem Sommerfall. Zur weiteren Information sind zudem noch die vorhandene Strahlungsintensität vertikal [W/m<sup>2</sup>] sowie die dazugehörige Lufttemperatur aussen [°C] auf dem Diagramm miteingezeichnet worden.

#### 4.4. g-Wert Messungen

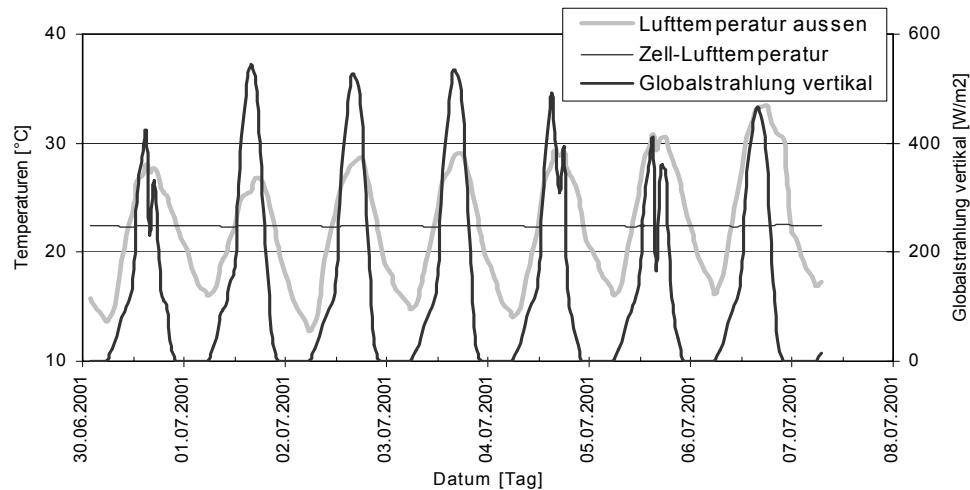
##### Prüfobjekt: Powerglass (Sommerfall)

Messperiode: Ausgewertete Messperiode:

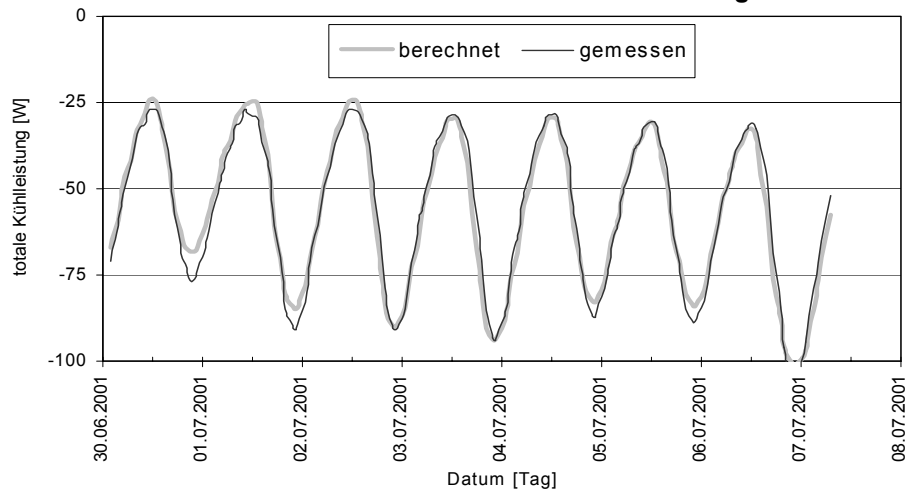
Messstart: 26.06.2001 16:00 Auswertbeginn: 30.06.2001 02:00

Messende: 10.07.2001 09:00 Auswertende: 07.07.2001 07:00

##### Basisdaten während der Messperiode



##### Fitkurve mit der Lordauswertung



##### Resultate Lord

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 60.151 [W/ K] (berechnet)	C4 = 1.257 [MJ/ K] (berechnet)
H54 = 6.010 [W/ K] (berechnet)	C5 = 0.386 [MJ/ K] (berechnet)
H65 = 12.145 [W/ K] (berechnet)	
<b>resultierender g-Wert</b>	<b>0.176 ± 0.030</b>

## Prüfobjekt: Powerglass (Winterfall)

Messperiode:

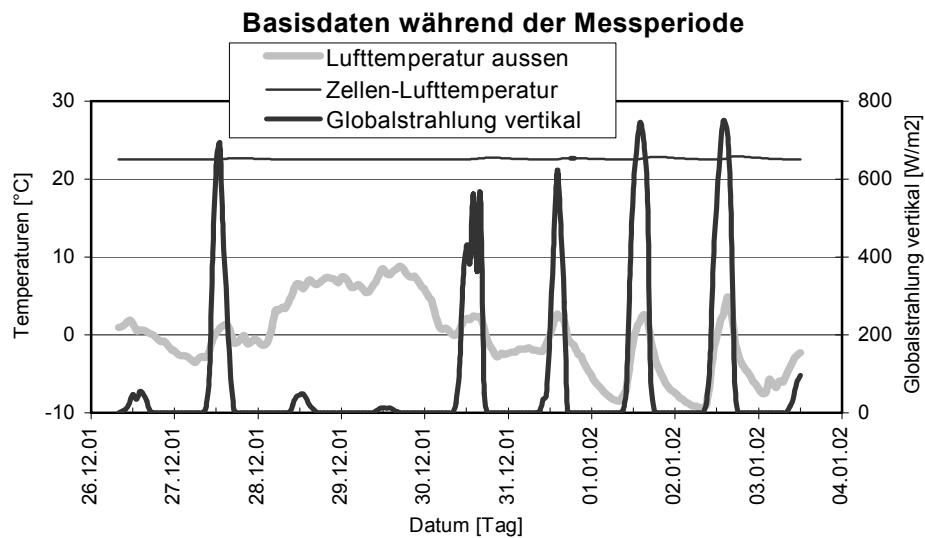
Ausgewertete Messperiode:

Messstart: 18.12.2001 18:00

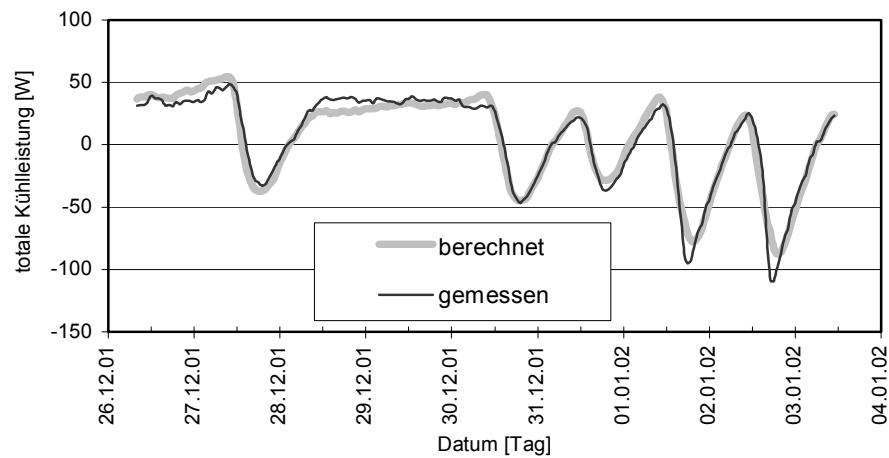
Auswertbeginn: 26.12.2001 08:00

Messende: 03.01.2002 12:00

Auswertende: 03.01.2002 11:00



## Fitkurve mit dem Programm Lord



## Resultate Lord

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 14.327 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.333 [MJ/ K] (berechnet)
H54 = 9.774 [W/ K] (berechnet)	C5 = 0.213 [MJ/ K] (berechnet)
H65 = 3.631 [W/ K] (berechnet)	
<b>resultierender g-Wert</b>	<b>0.349 ± 0.040</b>

## 5. Zusammenfassung der Sommer-Messungen

### 5.1. Bemerkungen zu den g-Wert Messungen

Bei den Resultaten dieser gemessenen g-Werte ist zu beachten, dass es sich um einen Mittelwert im realen Klima für die Messphase Juni bis August (relativ hoher Sonnenstand) handelt. Für den Winterfall wurde die Messung in der Zeit zwischen Mitte Dezember und anfangs Januar gemessen.

Die verwendete Messmethode und auch die Auswertung sind nicht international genormt und die vorliegende Prüfung wurde in einem zu diesem Zeitpunkt noch nicht akkreditierten Bereich der Abteilung Bauphysik durchgeführt.

Die Abschätzung des sekundären Wärmeabgabegrades  $q_i$  zeigt, dass dieser Summand bei den diversen Messungen stark unterschiedlich viel Anteil an den gemessenen g-Werten ausmacht.

### 5.2. Kommentar zu der Abschätzung des sekundären Wärmeabgabegrades $q_i$

Die Abschätzung des sekundären Wärmeabgabegrades  $q_i$  ist nur als orientierende Hilfsgrösse, die eine Vorstellung des Verhältnisses der beiden den g-Wert bestimmenden Grössen vermitteln soll. Es handelt sich dabei also - wie bereits gesagt - um eine Abschätzung, die eine Hilfestellung bieten soll, das Element hinsichtlich seines thermischen Verhaltens im Solarbereich zu charakterisieren.

### 5.3. Kommentar zu den Ergebnissen der Oberflächentemperaturmessungen

Bei der Bewertung der Probekörper ist es sicherlich dienlich nebst dem g-Wert auch die gemessenen Oberflächentemperaturen auf der innersten Scheibe miteinzubeziehen, da diese Auskunft darüber zu geben vermögen, inwieweit der thermische Komfort gewährleistet werden kann oder nicht.

### 5.4. Zusammenfassung der Messresultate (g-Werte)

Nachstehend eine zusammenfassende Tabelle der Resultate zu den g-Wert Messungen.

Prüfobjekt	$\overline{q_i}$ -Anteil <sup>1</sup>	g-Wert	Messunsicherheit
Powerglass (Sommerfall)	0.08	0.176	$\pm 0.030$
Powerglass (Winterfall)	0.13	0.35	$\pm 0.040$

<sup>1</sup> abgeschätzter, mittlerer  $q_i$  -Wert für  $h_i = 7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

## Nationale Zusammenarbeit

Das Gebäude wurde wie üblich von ortsansässigen Firmen ausgeführt, mit Ausnahme der passiv-solaren Energiespeicherwand, diese wurde von der Firma *InGlas aus Friedrichshafen/BRD* geliefert. Ein Element dieser Energiespeicherwand wird zur Zeit von der *EMPA-Dübendorf, Abteilung Bauphysik* im Solarprüfstand ausgemessen. Die Zusammenarbeit der EMPA insbesondere mit der deutschen Firma hat gut funktioniert. Die Messungen am Bau werden durch die Firma *ars solaris Hächler/Chur* durchgeführt. Diese ist auch für die Photovoltaikanlage verantwortlich. Nach anfänglichen Schwierigkeiten mit der Datenerfassung, funktioniert die Zusammenarbeit jetzt bestens.



## Internationale Zusammenarbeit

Wie im oberen Abschnitt erwähnt, wurde die passivsolare Energiespeicherwand von der deutschen Firma *InGlas aus Friedrichshafen/BRD* geliefert. Der Prototyp wurde nach Angaben des Gesuchstellers, *Dietrich Schwarz, Dipl. Arch ETH/SIA*, gemeinsam mit dieser Firma entwickelt. Unterstützt wurde das Team von *Dr. Werner Platzer*. Herr Dr. Platzer arbeitet am *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg*, er hat dieses Projekt aber als freischaffender Mitarbeiter begleitet. Er hat ebenfalls den Energienachweis für das Gebäude erstellt. Dieses Team hat sich bestens bewährt, es wird auch bei weiteren Forschungsprojekten zusammenarbeiten.

Es wurde eine Firma gegründet, die sich mit der industriellen Produktion und den Vertrieb dieser Solarwand beschäftigt, die *GlassX AG*. Als industrieller Partner konnte die *Saint-Gobain Deutschland* für die Isolierglaskomponente und *Dörken* für die Verpackung des PCM gewonnen werden. Mit seriellen Produkten darf bereits im 2003 gerechnet werden. Es werden Flächenpreise zwischen Fr./m<sup>2</sup> 600 bis Fr./m<sup>2</sup> 800 im Verkauf erwartet. Für weitere Informationen und Kontakte bitte ich die Homepage [www.schwarz-architektur.ch](http://www.schwarz-architektur.ch) [3], zu besuchen, darin wird der Zusammenhang zum übrigen Schaffen des Architekturbüro Schwarz verständlich.

## Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Als Erstes wurde der Prototyp entwickelt. Anschliessend wurde dieser, sowohl als Modell im Solarprüfstand der EMPA ausgemessen, wie auch direkt am Bau in einfacher Form messtechnisch erfasst.

Beim Erstellen der Prototypen wurde schnell klar, dass die Hauptschwierigkeit darin bestand, das Paraffin, welches als Latentspeichermaterial naturgemäss seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig wechselt, dauerhaft in das Glaspaket einzubinden. Die Lösung bestand darin, dass das Paraffin zuerst in modulare Kunststoffkästchen abgefüllt wurde und anschliessend diese hermetisch versiegelt wurden. So entstand ein völlig unproblematischer Baustein, welcher in Trockenbauweise zwischen die Gläser eingefügt werden kann.

Beim Einbau der Energiespeicherwand in das Gebäude wurde erkannt, dass die horizontale Unterteilung der Wand in fünf gleichgrosse Teile wohl aus produktionstechnischer Sicht sinnvoll war, aber beim Einbau durch die zusätzlichen Fugen und Konsolen zu einem erheblichen Mehraufwand führten. Es wird nun ein weiteres Ziel sein diese Energiespeicherwände geschosshoch zu fertigen.

Bevor die erste Messwerterfassung erfolgte, hat die Bauherrschaft seit dem Winter 1999/00 bereits im Gebäude gelebt und hat festgestellt, dass das Raumklima einwandfrei ist. Die Speicherwand hat also ihre erste Bewährungsprobe überstanden. Die zweite bestand darin, dass es im Sommer zu keinen Überhitzungen kam. Auch dies wurde von der Bauherrschaft mit voller Zufriedenheit bestätigt. Gleichzeitig wurden am Solarprüfstand Modelle der Speicherwand bezüglich des g-Wertes ausgemessen. Die Feststellungen im Gebäude wurden bestätigt. Es wurde ersichtlich, dass auch im Sommer die Latentspeicherschicht wesentlich zur Amplitudendämpfung der inneren Oberflächentemperatur beiträgt und somit das Raumklima positiv beeinflusst. Als kostengünstige Alternative wurde auch ein Modell ausgemessen, bei welchem das teure Prismenglas durch Sonnenschutzglas ersetzt wurde. Bei diesem Modell wurde klar festgestellt, dass der sommerliche Überhitzungsschutz ungenügend war. Dies lässt auch nachdenkliche Schlüsse bezüglich dem energetischen Haushalt von Glasfassaden mit Sonnenschutzglas als einzigen Überhitzungsschutz zu.

Die Problematik der Brennbarkeit des Paraffin als PCM wird dahingehend gelöst, dass wieder auf Salzhydrate zurückgegriffen wird.

Es wurde eine Firma gegründet, die sich mit der industriellen Produktion und den Vertrieb dieser Solarwand beschäftigt, die *GlassX AG*. Als industrieller Partner konnte die *Saint-Gobain Deutschland* für die Isolierglaskomponente und *Dörken* für die Verpackung des PCM gewonnen werden.

Mit seriellen Produkten darf bereits im 2003 gerechnet werden. Es werden Flächenpreise zwischen Fr./m<sup>2</sup> 600 bis Fr./m<sup>2</sup> 800 im Verkauf erwartet. Für weitere Informationen und Kontakte bitte ich die Homepage [www.schwarz-architektur.ch](http://www.schwarz-architektur.ch) [3], zu besuchen, darin wird der Zusammenhang zum übrigen Schaffen des Architekturbüro Schwarz verständlich.

## Referenzen

- [1]     **6. Europäische Passivhaustagung 2002**, 25. und 26. Januar 2002 in Basel, Session 8 Gebäudehülle, Referat 4, Passivsolare Gewinn-Speicher-Wand, Dietrich Schwarz
- [2]     **12. Symposium, Thermische Solarenergie**, 24. bis 26. April 2002 in Kloster Banz, Staffelsheim BRD, Solararchitektur, Referat, Passivsolare Gewinn-Speicher-Wand, Dietrich Schwarz
- [3]     [www.schwarz-architektur.ch](http://www.schwarz-architektur.ch), Solarhaus III in Ebnet-Kappel