

Eine Wand, die schmilzt: Speicherung von Solargewinnen in einer Paraffin-Latentspeicher-Wand

Autor(en): **Schwarz, Dietrich / Nussbaumer, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **128 (2002)**

Heft 24: **Werkstoffe**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80437>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

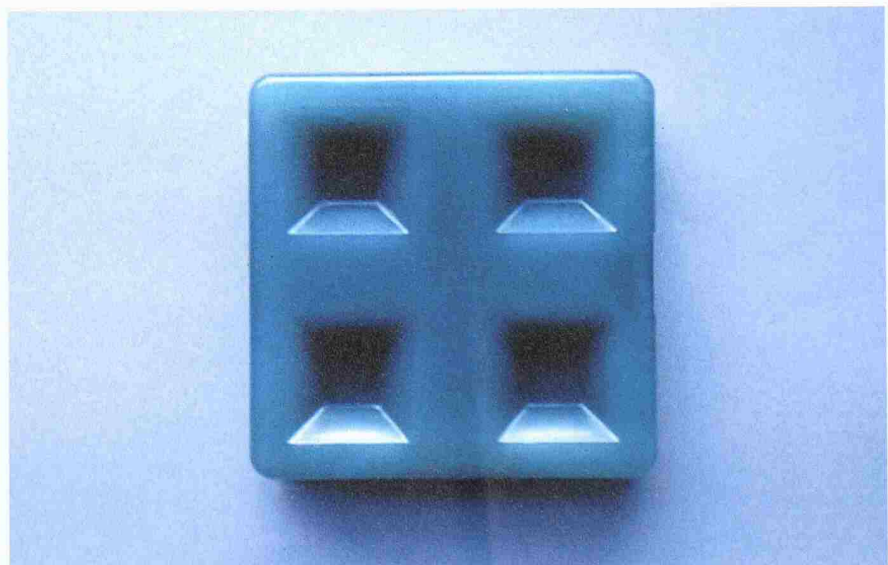
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eine Wand, die schmilzt

Speicherung von Solargewinnen in einer Paraffin-Latentspeicher-Wand

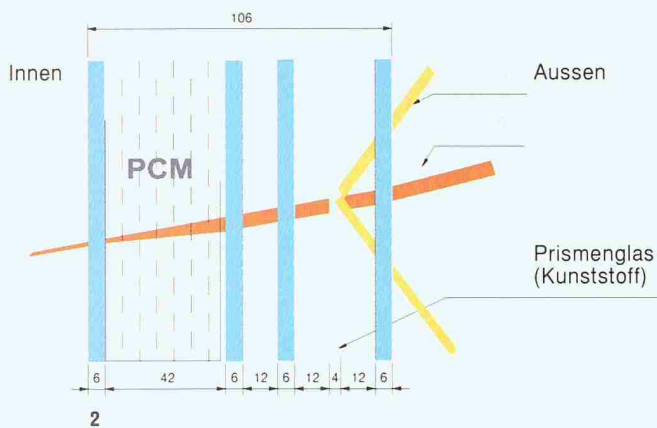
Passivhäuser kommen normalerweise ohne Heizung aus. Dazu muss allerdings, neben einer exzellenten Isolation, die Sonneneinstrahlung effizient eingefangen und insbesondere auch gespeichert werden können. Dies wurde bis anhin mit einer möglichst grossen thermisch aktiven Masse zu erreichen versucht. Eine andere Strategie eröffnet sich nun durch so genannte PCM (Phase-Change-Materials). Das sind Materialien, die bei Raumtemperatur ihren Aggregatzustand wechseln, also schmelzen oder fest werden. Paraffin zum Beispiel kann im relevanten Temperaturbereich bezogen auf die Masse rund zehnmal mehr Energie speichern als Beton. Das Schöne dabei: die verschiedenen Zustände werden durch die optische Veränderung des Materials direkt und sinnlich erlebbar.

Eine wichtige Option der passivsolaren Nutzung von Sonnenenergie ist die Technologie der transparenten Wärmedämmung (TWD). Allerdings mit zwei gewichtigen Einschränkungen: Einerseits sind Holz- und Leichtbaukonstruktionen wegen der fehlenden thermischen Speicherfähigkeit dazu im Allgemeinen nicht geeignet. Der grösste Teil der notwendigen Speichermasse wird heute in der Regel durch massive Betondecken oder Zementunterlagsböden bereitgestellt. Oft ist es dann aber so, dass die Solarstrahlung wohl durch die TWD (in diesem Fall Isolierglasfenster) in den Innenraum gelangt, aber wegen Möbeln oder Teppichen ihre Wärme nicht an das vorgesehene Speichermedium abgeben kann. Die Folge: es wird im Haus zu warm. Das zweite Hindernis beim Einsatz der TWD war die bisher fehlende kostengünstige Möglichkeit (ausser bei IV-Fenstern), die solaren Gewinne im Sommer effektiv zu reduzieren und damit Übertemperaturen im Gebäude zu vermeiden.



1

Kunststoffbehälter für das Paraffin. Die Speicherschicht der Solarwand besteht aus zwei Lagen dieser aufgeschichteten Behälter (Bild: Inglass)



Konstruktionsschnitt durch die Latentspeicherwand (Power-glass). In der zweitäussersten Schicht liegt das Sonnenschutz-Prismenglas. Es reflektiert die Strahlung, sobald die Sonne höher als 40° über dem Horizont steht (Bild: Inglas).

Aufbau (von aussen):

- Äussere Scheibe: ESG (Ein-Scheiben-Sicherheitsglas) 6 mm mit Low-Emission-Beschichtung
- Scheibenzwischenraum (SZR): 29 mm Argon
- Im SZR (mit Spezialabstandhalter): Prismen-Plexiglas 5 mm
- ESG 6 mm ohne Beschichtung
- SZR: 12 mm Argon
- ESG 6 mm mit Low-Emission-Beschichtung
- SZR: 42 mm gefüllt mit Paraffin enthaltenden Kunststoffkassetten
- Innere Scheibe: 6 mm ESG (raumseitig Siebdruck möglich)

Schmelzendes Paraffin speichert Wärme

Transparente Wärmedämmungen mit Latentspeicher (also mit PCM) werden bereits seit längerem diskutiert. Dabei will man sich die physikalische Gesetzmässigkeit zu Nutze machen, dass Werkstoffe beim Wechsel von einem Aggregatzustand in den anderen sehr viel Energie absorbieren bzw. freisetzen können (die so genannte Schmelzwärme). Im Rahmen einer wissenschaftlichen Dissertation hat man TWD auf der Basis von Salzen auch schon realisiert.¹ Bis heute ist jedoch noch kein marktfähiges Produkt entwickelt worden.

Bei der Entwicklung eines neuartigen Fassadenelementes ist es nun gelungen, alle vier relevanten Komponenten der thermischen Solartechnik in einem einzigen Bauteil unterzubringen: die transparente Wärmedämmung, den Absorber, den thermischen Energiespeicher sowie den Überhitzungsschutz. Beim Bau der ersten Prototypen wurde schnell klar, dass die Hauptschwierigkeit darin besteht, das Paraffin dauerhaft in ein Glaspaket einzubinden (Bild 2). Es wurde darum zuerst in modulare Kunststoffkästchen abgefüllt, die man anschliessend hermetisch versiegelte. So entstand ein unproblematischer Baustein (Bild 1), welcher in Trockenbauweise zwischen die Gläser eingefügt werden kann. Für den Sonnenschutz wird ebenfalls ein neuartiges Bauteil verwendet: ein Prismenglas (eigentlich ist es aus Kunststoff), das die Sonnenstrahlen nur unter flachem Winkel (also im Winter) passieren lässt und sie sonst reflektiert. Dieses Prinzip erfordert allerdings eine Ausrichtung der Solarwand von $\pm 20^\circ$ nach Süden. Das Bauelement wirkt als passivsolare Gewinnspeicherwand. Verblüffend ist dabei, dass seine Funktionsweise sinnlich wahrnehmbar ist. An einem sonnigen Tag wird die Wand durch das Aufschmelzen des Paraffins lichtdurchlässiger und heller. Durch die Einfärbung der Kunststoffkästchen ist ein gleichmässiges Aufschmelzen gewährleistet. Bei einer Kaltwetterperiode wird die gespeicherte Energie durch Strahlungswärme zum Gebäudeinnenraum wieder abgegeben, gleichzeitig verdunkelt sich die Wand.

Transparente Wärmedämmung (TWD)

In Anlehnung an die heute gängige Praxis werden im vorliegenden Artikel alle Arten von transparenter Wärmedämmung als TWD bezeichnet – etwas verwirrend also auch normale Isolierglasfenster. Ursprünglich war der Begriff noch ausschliesslich für mit Glas abgedeckte Kapillarstrukturen verwendet worden. TWD lassen sich in vier Gruppen einteilen:

- Strukturen parallel zum Absorber (Mehrfachisolierverglasung, Plastikfolien, Infrarot-reflektierende Schichten)
- Strukturen senkrecht zum Absorber (Wabenstrukturen, Kapillarstrukturen, Schlitzstrukturen)
- Kammerstrukturen (Stegplatten, Schäume, Glashohlkugeln)
- (Quasi-)homogene Strukturen (Aerogelplatten, Aerogelgranulat)

Projekt Solarhaus III

An einem Einfamilienhaus (Pläne Bilder 3 und 4) im Toggenburg wurde die neuartige Latentspeichertechnologie zum ersten Mal in die Praxis umgesetzt. Das «Solarhaus III» steht in Ebnat-Kappel auf 635 m ü. M., oberhalb der Nebelgrenze, an windexponierter Lage. Es ist mit industriell vorgefertigten Holzelementen konstruiert und liegt als eingeschossiger Baukörper flach und quer im Tal. Die Baukosten (BKP2) betragen 660 000 Franken. Die nur 3,3 Meter hohe, aber 25 Meter lange Rückseite des Hauses ist die Wetterseite und bietet dem Wind kaum Angriffsfläche (Bild 5). Die besonnte Südseite hingegen ist durch das aufsteigende Pultdach windgeschützt und ermöglicht die grossflächige Installation der passiven Elemente zur Gewinnung von Sonnenenergie (Bilder 6 und 7). Diese Fassade besteht zu 38% aus 3-fach-IV-Fenstern mit wärmege-dämmten Lärchenprofilen und zu 62% aus der neu entwickelten PCM-Solarwand.

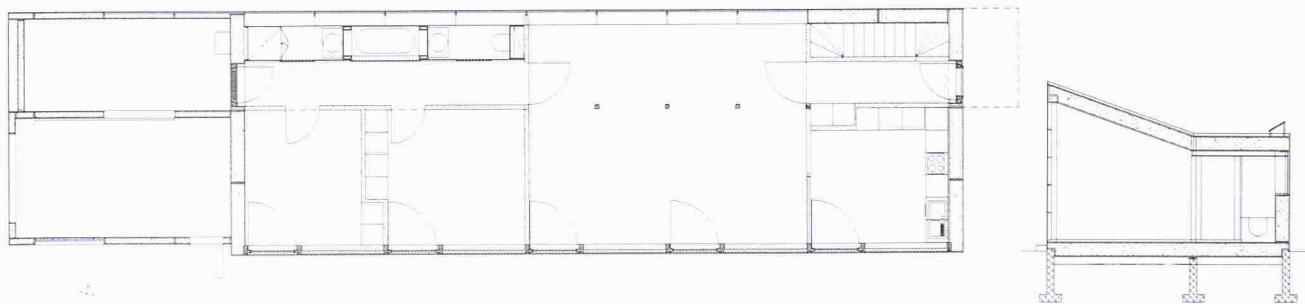
Die Lüftungs- und Sanitärinstallationen sind derart in der abgehängten Decke der Verkehrszone und unter dem aufgeständerten Boden der Nassräume verlegt, dass die grossformatigen Holzbauelemente nicht perforiert werden mussten. Die Aussenwände, das Dach und der Boden bestehen aus hochgedämmten, 40 cm dicken, mit Isofloc ausgeblasenen Hohlkasten mit einem U-Wert von $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der U-Wert der Latentspeicherwand beträgt $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3/4

Grundriss und Schnitt des Solarhauses III in Ebnat-Kappel. Nördlich die Service-Zone mit den Nassräumen, südlich liegen die Wohnräume entlang der Latentspeicherwand. Mst. 1:200 (Pläne: Dietrich Schwarz)

5

Nordfassade. Auf dem Dach über dem Fensterband ist grau die aufgeständerte Photovoltaikanlage zu erkennen (Bild: Frederic Comtesse)





6

Innenraum. Durch die innere Glasscheibe sind die grünlich schimmernden Paraffinkästchen erkennbar, hier in festem Zustand (Bild: Frederic Comtesse)

7

Aussenansicht der Solarwand. Für den hier ausgeführten Prototyp wurden aus produktionstechnischen Gründen fünf Teile übereinander montiert. Mit einem geschosshohen Element wären beträchtliche Kosteneinsparungen möglich (Bild: Frederic Comtesse)

Energiekonzept

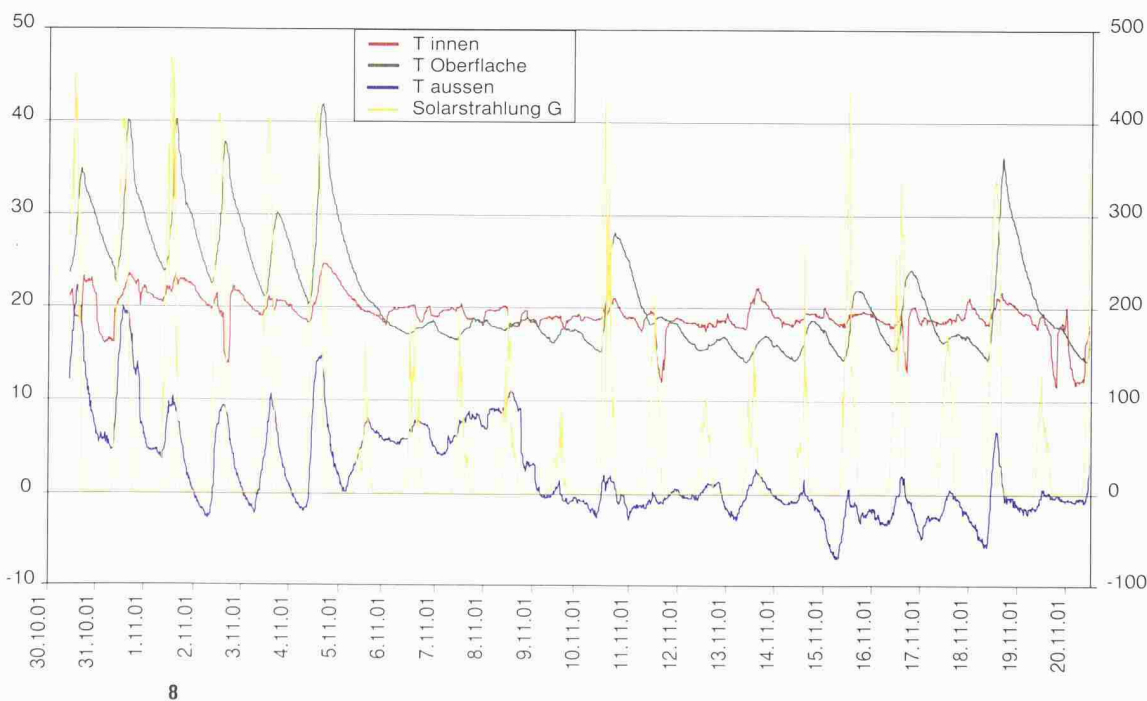
Neben den beschriebenen passivsolaren Massnahmen tragen aktive Systeme ebenfalls zum geringen Primärenergieverbrauch des Hauses bei. Eine mechanisch kontrollierte Raumlüftung mit einem grosszügig dimensionierten Erdregister und integrierter Wärmerückgewinnung (WRG) minimiert die Lüftungsverluste. Eine Wärmepumpe deckt den Restheizbedarf bei Schlechtwetterperioden ab; sie nutzt die Abluft als Energiequelle und wirkt über die Erwärmung der Zuluft. Die Heizleistung beträgt 1,4 kW bei einer Jahresarbeitszahl von 3,5. Sinkt die Raumtemperatur unter 18 °C (die Bauherrschaft nimmt aus Spargründen diese vergleichsweise tiefe Temperatur in Kauf), wird die Wärmepumpe automatisch eingeschaltet.

Der Warmwasserspeicher wird von einem Solarkollektor aufgeheizt, kann bei Bedarf aber ebenfalls von der Wärmepumpe gespeist werden. Alles in allem ergibt sich ein wärmeseitiger Primärenergiebedarf von 500 bis 700 kWh/a. Zur Deckung des Strombedarfes wurde eine Photovoltaikanlage mit einer Fläche von 17 m² installiert. Produktion und Verbrauch halten sich mit etwa 2200 kWh/a die Waage, allerdings müssen saisonale Differenzen durch Strombezug im Winter respektive Rückspeisung ans Netz im Sommer ausgeglichen werden.

Pufferwirkung

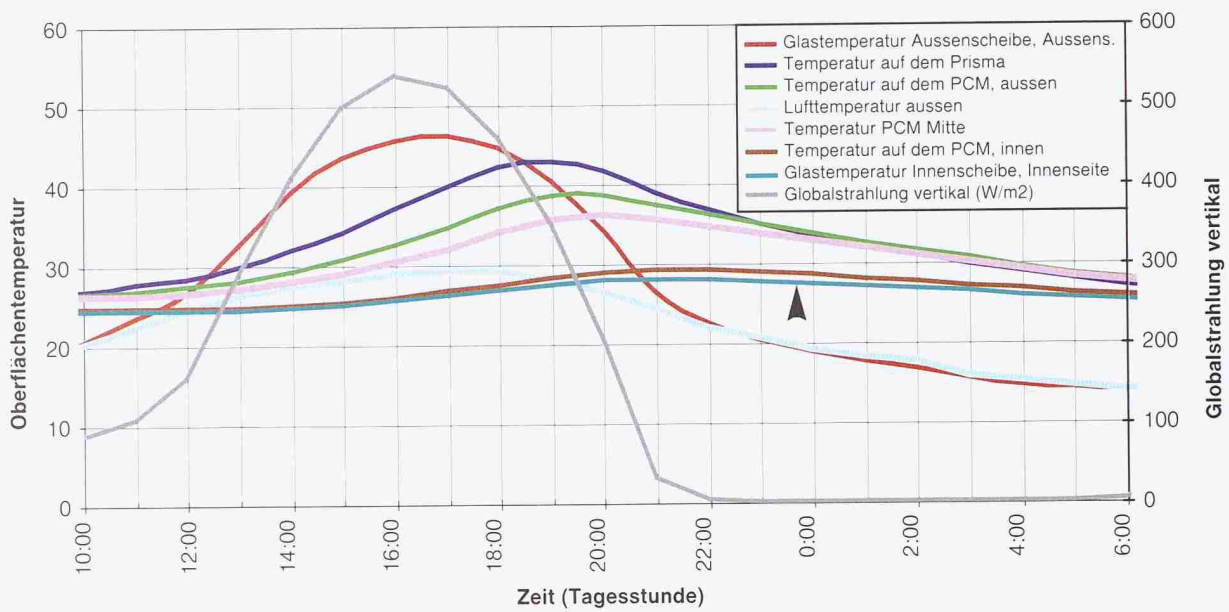
Für ein vom Bundesamt für Energie (BfE) unterstütztes Messprogramm werden seit dem Bezug des Hauses verschiedene Daten erhoben. Das BfE hat im Übrigen zusammen mit dem Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen auch die Entwicklung und den Bau der Fassadenelemente mit namhaften Beiträgen unterstützt. Aus der in Diagramm 8 dargestellten Messreihe über den Zeitraum von einem Monat können folgende Schlüsse gezogen werden:

Ende Oktober kann die Solarstrahlung das Prismenglas bereits ungehindert passieren. Mehrere aufeinander folgende sonnige Tage mit einer Strahlungsintensität von maximal etwa 450 W/m² führen zu einem vollkommenen Aufschmelzen des Latentspeichers. Daraus ergeben sich maximale innere Oberflächentemperaturen von etwa 40 °C. Diese Temperaturen sinken in der Nacht jedoch wieder ab. Die Raumtemperatur selbst steigt nie über 25 °C, bleibt also im Komfortbereich. Nach Schlechtwetterperioden braucht es drei bis vier Sonnentage, um den Latentspeicher wieder vollkommen aufzuschmelzen. Die innere Oberflächentemperatur steigt erst am fünften Sonnentag über die Schmelzgrenze von 27 °C bis 35 °C. In dieser klimatischen Situation, wie sie häufig im Herbst auftritt, wird der Latentspeicher nur sehr selten vollkommen aufgeschmolzen und wenn nur für kurze Zeit.



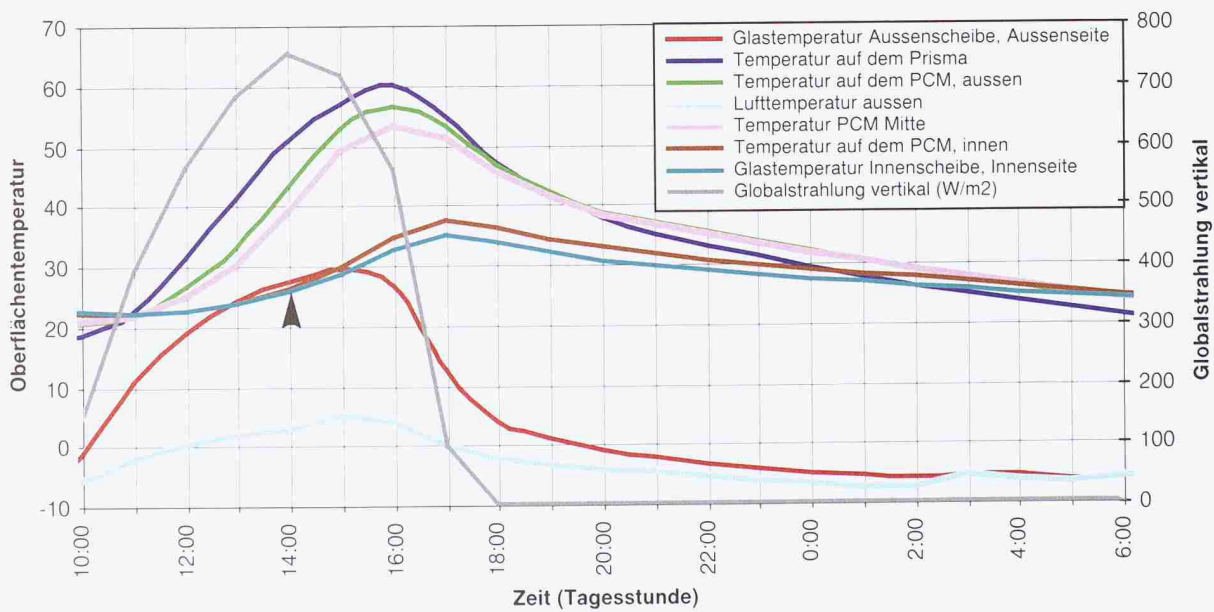
8

Monatsdiagramm der Temperaturmessungen am Objekt. Mehrere aufeinander folgende Sonnentage führen zu einem vollkommenen Aufschmelzen des Paraffins. Daraus ergeben sich innere Oberflächentemperaturen (grüne Linie) von maximal 40 °C, die Raumtemperatur (rote Linie) steigt jedoch nie über 25 °C (Diagramm: Raimund Hächler)



9

Temperaturverläufe am Latentspeicherelement im *Sommer*. Der flache Verlauf der Temperatur auf dem inneren Glas (Pfeil) zeigt, dass die Solarwand einen grossen Teil der einfallenden Sonnenwärme absorbiert und damit ein angenehmes Raumklima schaffen kann (Diagramm: Empa)



10

Temperaturverläufe am Latentspeicherelement im *Winter*. Der relativ steile Anstieg der Temperatur auf dem inneren Glas (Pfeil) am Nachmittag lässt darauf schliessen, dass zu diesem Zeitpunkt das Paraffin vollständig aufgeschmolzen ist. Die so darin gespeicherte Energie wird, während das Paraffin wieder langsam fest wird, sukzessive an den Innenraum abgegeben (Diagramm: Empa)

g-Wert und Phasenverschiebung

Parallel zum Messprogramm am Gebäude wurden an der Empa in einer Versuchsanordnung der g-Wert (Tabelle 11) und die Phasenverschiebungen über einen Tag untersucht. Dazu wurde eine Raumzelle mit einem Solarwandelement von knapp 2 m² Grösse gebaut, draussen aufgestellt und an mehreren Messpunkten im Sommer und im Winter ausgemessen.

In Diagramm 9 sind die Temperaturkurven über einen Sommertag (im Juli) aufgezeichnet. Gut erkennbar ist eine Phasenverschiebung von etwa sechs Stunden vom Maximum der Sonneneinstrahlung bis zum Maximum der Temperatur auf der innersten Scheibe. Der flache Verlauf dieser Kurve (Temperatur auf der Innenscheibe) ist erstens Ausdruck eines angenehmen Wohnklimas und deutet zweitens darauf hin, dass der grösste Teil der trotz des Prismenglases noch auftreffenden Energie von der Änderung des Aggregatzustandes in den PCM-Behältern absorbiert wurde. Es ist auch anzunehmen, dass bei der Erwärmung nicht die gesamte Speichermasse geschmolzen ist.

Im Winter (Diagramm 10) zeigen die Messwerte für einen sonnigen Februartag folgendes Bild: Die Phasenverschiebung hat sich wegen der höheren Strahlungsintensität (flacher Einfall durch das Prismenglas) auf etwa drei Stunden verkürzt. In den äusseren Schichten schmilzt das Paraffin am Nachmittag vollständig auf, die Temperatur steigt bis auf 55°C. Einerseits wird nun Energie durch Wärmeleitung an die inneren Schichten abgegeben. Zusätzlich werden diese aber auch dadurch erwärmt, dass ein grösserer Anteil der Sonneneinstrahlung das aussen nun flüssige Paraffin passieren kann. Die Temperatur auf der inneren Scheibe steigt mit einem Maximum von 35°C in der ganzen Zeit nicht über die Schmelzgrenze. Das thermische Speichervermögen scheint also angemessen zu sein. Nach der Spitze um 17 Uhr geht die Temperatur auf der inneren Scheibe nur sehr langsam zurück, die Solarwand gibt also die gespeicherte Sonnenwärme des Tages sukzessive an den Innenraum ab, was ziemlich genau dem von einem solchen Element erwarteten Verhalten entspricht.

Prüfobjekt	g-Wert	Messunsicherheit
Powerglass (Sommer)	0,18	+/- 0,03
Powerglass (Winter)	0,35	+/- 0,04

11

Der Unterschied der g-Werte zwischen Sommer und Winter zeigt die Wirksamkeit des Prismenglases. Zum Vergleich: Bei heruntergelassenen Lamellenstoren beträgt der g-Wert eines Isolierglases etwa 0,10–0,15 (Tabelle: Empa)

Bewertung des Prototyps und Ausblick

Grundsätzlich haben die Messungen am Gebäude und am Prüfstand die Berechtigung der hohen Erwartungen an die Solarwand bestätigt. Von den Hausbewohnern wird vermerkt, dass das Wohngefühl im Winter sehr angenehm sei und es im Sommer zu keinen Überhitzungen komme. Als sehr positiv wird die Amplitudendämpfung der inneren Oberflächentemperatur und die damit verbundene positive Beeinflussung des Raumklimas empfunden.

Bei der Montage der Energiespeicherwand erkannte man, dass die horizontale Unterteilung derselben in fünf Elemente wohl aus produktionstechnischer Sicht sinnvoll war, die zusätzlichen Fugen und Konsolen aber einen grossen Mehraufwand zur Folge hatten. Die Kosten für die Solarwand beim hier gebauten Prototyp betragen rund 1200 Fr./m². Für einen breiten Einsatz (und damit verbunden mit industrieller Fertigung) sollte dieser Wert auf rund 600 Fr./m² gesenkt werden können. Diesbezügliche Bemühungen sind gegenwärtig im Gang, ebenso Forschungen mit anderen Latentspeichermaterialien. Einige aussichtsreiche Versuche sind in Deutschland mit Salzhydraten durchgeführt worden. Die besten davon erreichen (bei gleichem Volumen) ein gegenüber dem Paraffin etwa zweieinhalb Mal höheres Wärmespeichervermögen.

Dietrich Schwarz ist Architekt in Domat/Ems und beschäftigt sich hauptsächlich mit Solararchitektur. schwarz@schwarz-architektur.ch.
Thomas Nussbaumer, Abteilung Bauphysik der Empa Dübendorf. Thomas.Nussbaumer@empa.ch

Literatur

- 1 Heinrich Manz: Sonnenstrahlungsbeladene Latentwärmespeicher in Gebäudefassaden. Dissertation ETH Nr. 11377, Zürich, 1996.