

Zur thermischen Nutzung der Sonnenenergie

Schaltbare Wärmedämmung

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) hat eine neue Technologie zur thermischen Nutzung der Sonnenenergie entwickelt. Es handelt sich um eine schaltbare Wärmedämmung (SWD), deren Wärmeleitfähigkeit um einen Faktor 20 bis 50 variiert werden kann. Das schaltbare Modul absorbiert die hinter einer transparenten Wärmedämmung (TWD) ankommende Solarstrahlung und kann die Wärme je nach Schaltzustand ins Mauerwerk weiterleiten oder vom ihm fernhalten. In der kalten Jahreszeit wird bei ausreichender Sonneneinstrahlung das Modul auf Wärmedurchlaß geschaltet, so daß die absorbierte Energie als nutzbare Wärme ins Mauerwerk fließen kann. Zu allen anderen Zeiten wirkt die schaltbare Wärmedämmung als höchst effiziente Isolation der Gebäudehülle.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes in Kooperation mit mehreren Industriepartnern soll die Entwicklung der schaltbaren Wärmedämmung zur thermischen Solarenergienutzung vorangebracht werden. Ziel ist ein preisgünstiges Produkt, das sich sowohl für die Sanierung nicht wärmegeprägter Altbauten eignet, aber auch bei Neubauten interessante Anwendungsmöglichkeiten aufweist.

Transparente Wärmedämmung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Arten transparenter Wärmedämmungen entwickelt und an zahlreichen Demonstrationsobjekten getestet. Zum Einsatz kommen als Materialien Aerogele sowie Gläser und Kunststoffe in Kapillar- oder Wabenstrukturen. Die transparente Wärmedämmung eignet sich gut zur solaren Energiegewinnung während der Heizperiode. Im Hochsommer jedoch stellt sich das Problem der Überhitzung des TWD-Bauteils wie auch der dahinterliegenden Wand.

Um dies zu verhindern, müssen bisher relativ aufwendige mechanische Abschattungseinrichtungen in das System integriert werden. Das macht die Installation einer TWD-Anlage nicht gerade kostengünstig. An mechanisch beweglichen Teilen ist die Gefahr des Verschleißes vorhanden, insbesondere beim Einsatz unter hohen Temperaturen.

Die Abschattung einer TWD-Anlage mit thermisch bzw. elektrisch schaltbaren Teilen ist aufgrund zu geringer Schalthübe bzw. nicht hinreichender Langzeitstabilität noch nicht realisiert. Manche bisherigen TWD-Module sind mit k-Werten um $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ den Ansprüchen der neuen Wärmeschutzverordnung nicht gewachsen. Hier ist für dämmende Bauelemente ein k-Wert $\leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgeschrieben. Wärmeverluste durch die mit TWD versehene Gebäudehülle fallen nachts und bei trübem Winterwetter dementsprechend zu groß aus.

Schaltbare Wärmedämmung

Die hier angeführten Argumente sollen in keiner Weise der transparenten Wärmedämmung zu nahe treten, allerdings einen möglichen Ausweg aus mancherlei Problematik aufzeigen.

Die Ausführung der schaltbaren Wärmedämmung basiert auf Vakuum-Isolationspaneelen (VIP's), die bereits seit einigen Jahren auf dem Markt sind. Solche Paneele bestehen aus zwei Abdeckblechen oder -folien aus Edelstahl und einer Füllung aus Glasfasern oder Pulvermischungen, die den atmosphärischen Belastungsdruck aufnehmen.

Die Einsatzgebiete sind beispielsweise Ladebordwände von Kühlfahrzeugen in Größen von mehreren Quadratmetern oder Dämmwände von Kühlgeräten. Die Wärmeleitfähigkeit von Vakuumdämm-

paneelen liegt im Bereich von wenigen 10^{-3} W/mK , abhängig von der Füllung des Paneels und vom erreichten Enddruck.

Ein Beispiel hierzu: Mit einer Füllung aus gesponnenem Glasfasermaterial (Faserdurchmesser $10 \mu\text{m}$) und bei Evakuierung bis auf 10^{-2} mbar erreicht man eine Wärmeleitfähigkeit von $0,002 \text{ W/mK}$. Damit erklärt sich die hervorragende Dämmeigenschaft von Vakuumpaneelen, die jedoch durch den erforderlichen Randverbund und die dort vorhandene Wärme-/Kältebrücke erheblich verschlechtert werden kann. Besondere Bedeutung kommt deshalb der möglichst großflächigen Paneelausführung sowie der thermisch optimierten Ausgestaltung des Randverbundes zu.

Wie läßt sich in einem Dämmpaneel die Wärmeleitfähigkeit variabel gestalten? Man nutzt die für ein Gas äußerst hohe Wärmeleitfähigkeit des Wasserstoffs, die unter Normbedingungen $0,170 \text{ W/mK}$ beträgt. Um im Paneel Wasserstoff bereitzustellen und wieder zu binden, bedient man sich einer Metall-Wasserstoff-Reaktion.

Es gibt mehrere Übergangsmetalle, die mit Wasserstoff Einlagerungsverbindungen eingehen. So ist z.B. Palladium im-

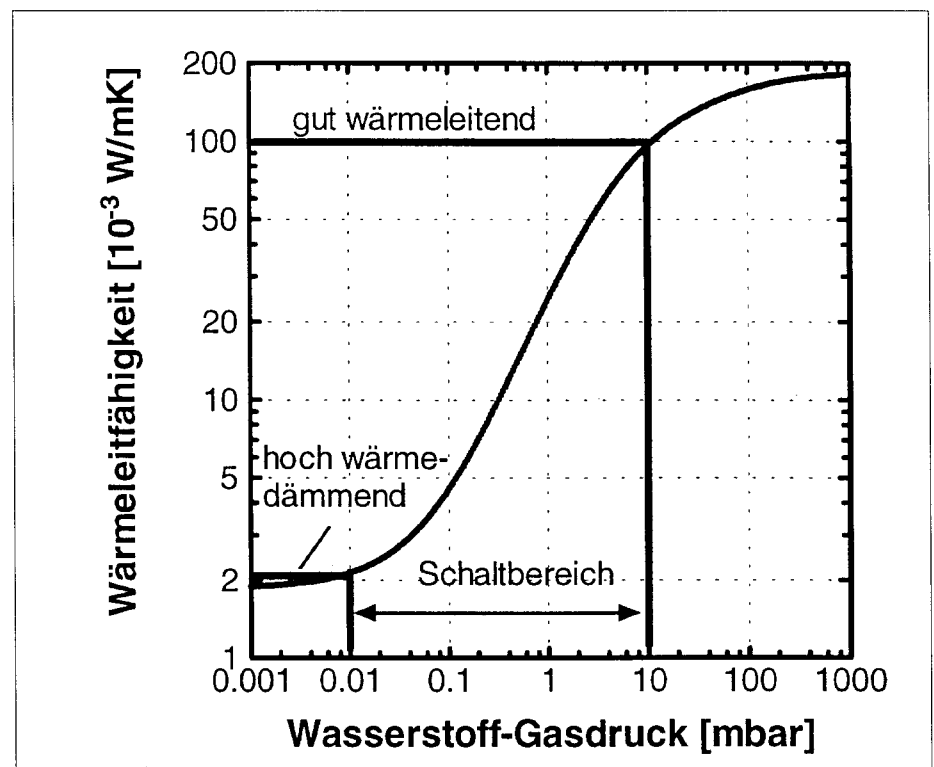


Abb. 1: Gemessene Wärmeleitfähigkeit der Paneelfüllung (Glasfasermaterial in Abhängigkeit vom Wasserstoff-Gasdruck
Alle Abb.: ZAE Bayern/Horn

stande, das 900-fache Volumen an Wasserstoff atomar einzulagern. Die Reaktion läuft so ab, daß das Metallhydrid bei Erhitzung auf 400 °C den Wasserstoff freisetzt und bei Temperaturen unter 200 °C reabsorbiert. Im Paneel wird ein Behälter mit wenigen Gramm Metallhydrid installiert und mit einer Heizung versehen. So kann die Wärmeleitfähigkeit des gesamten Paneels durch Heizen oder passives Abkühlen des Getterstoffs zwischen den Grenzen [3 und 170] mW/mK variiert werden.

Die ersten Versuche an einem umgebauten Paneel mit einer Fläche von [60 × 60] cm² ergaben Schaltzeiten in der Größenordnung von 30 Minuten. Abb. 1 zeigt den funktionalen Zusammenhang zwischen Wasserstoff-Gasdruck und der Wärmeleitfähigkeit. Der Schaltvorgang konnte bei diesem Paneel mit einer zugeführten elektrischen Heizleistung von 5 Watt bewerkstelligt werden.

Die solarthermische Nutzung der schaltbaren Wärmedämmung

Die schaltbare Wärmedämmung kann zur passiven Solarenergienutzung mit einer üblichen transparenten Wärmedämmung kombiniert werden.

Abb. 2 zeigt eine solche Anordnung. An einer massiven Südwand wird das schaltbare Wärmedämmpaneel geeignet befestigt und eine Glasabdeckung in einem Abstand von 5 bis 15 mm davorgesetzt. Die Oberfläche des Paneels dient als Absorber. Um nun die Sonnenstrahlung in nutzbare Wärme zu verwandeln und Wärmeverluste zu verhindern, wird entweder die Glasabdeckung innen mit einer Beschichtung versehen, welche die Wärmestrahlung reflektiert, oder man bringt auf das Paneel eine selektive Schicht auf, die die Sonnenstrahlung absorbiert, aber die Wärmestrahlung nur geringfügig emittiert.

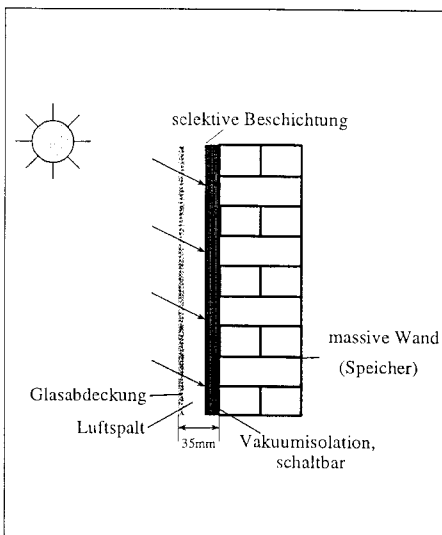


Abb. 2: Integration der schaltbaren Wärmedämmung in die Fassade

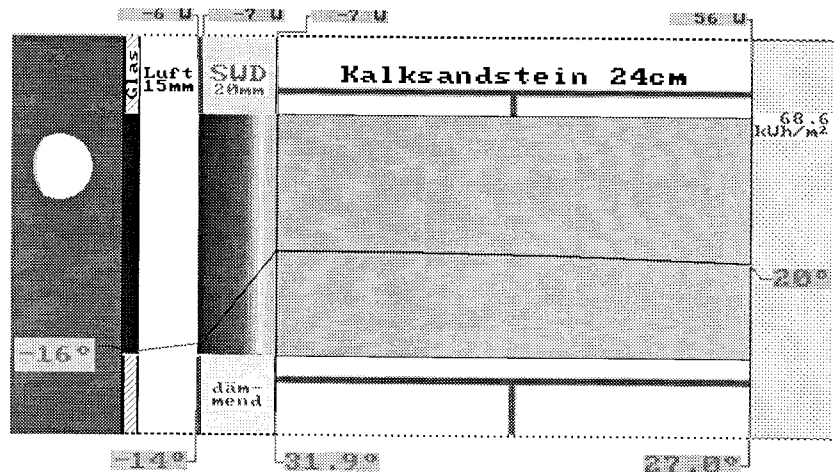


Abb. 3a: Computersimulation der SWD-Fassade für eine kalte Februarnacht mit -16 °C Außentemperatur

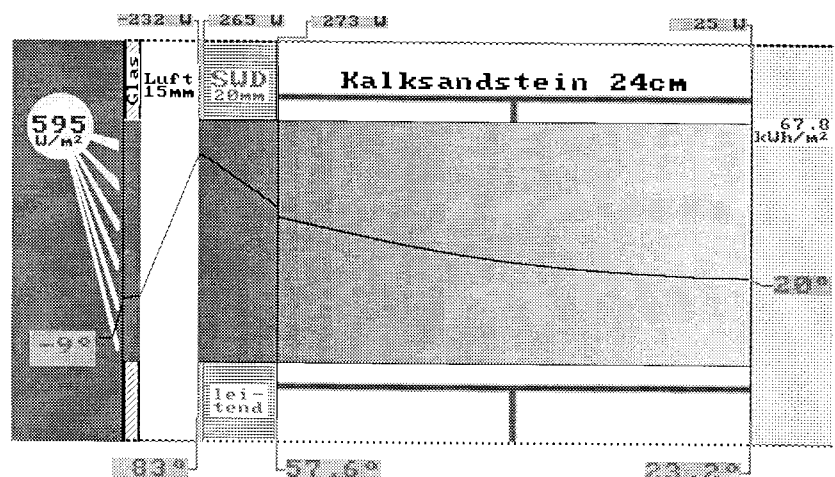


Abb. 3b: Computersimulation der SWD-Fassade für eine starke Sonneneinstrahlung (595 W/m²)

Bei ausreichender Sonneneinstrahlung wird das SWD-Modul auf Wärmedurchgang geschaltet. Die auf der Außenfläche des Paneels absorbierte Wärme wird an die Wand weitergeleitet.

Berechnet man die zeitliche Verzögerung, mit der die Wärmewelle an der Wandinnenseite ankommt, so ergeben sich für Beton bzw. Kalksandstein (je nach Rohdichteklasse und Wandstärke) einige Stunden. Das bedeutet, daß der maximale Energieeintrag zur Mittagszeit sich erst am späten Nachmittag oder frühen Abend durch warme Innenwände bemerkbar macht.

Ein weiterer Pluspunkt ist der geringe Energieverbrauch für den Schaltvorgang: Schließlich wird nur für die Zeit des Wärmedurchgangs Energie benötigt. Die erforderliche Leistung beläuft sich während dieser Zeit auf wenige Watt pro Quadratmeter Paneelfläche. Zu allen Zeiten, in denen keine Solarenergie verfügbar ist oder die Sonnenenergie wegen Überhitzungsschutz nicht durch das Paneel gelassen wird, ist durch die Vakuumisolation eine höchst effektive Dämmung sichergestellt.

Computer-Simulation der SWD-Fassade

Mit Hilfe der test reference year-Daten (TRY) für Würzburg wurde das Verhalten einer SWD mit 20 mm starkem Vakuumisulationspaneel, 15 mm Luftspalt und 4 mm Glasscheibe auf einer massiven 24 cm starken Kalksandsteinwand der Rohdichte 2.200 kg/m³ über das Jahr simuliert und der zu erwartende Energiegewinn ermittelt.

In Abb. 3 sind die typischen Zustände als Momentaufnahme dargestellt. In einer kalten Februarnacht mit -16 °C Außentemperatur (Abb. 3a) ist das Paneel passiv isolierend geschaltet, so daß die in der Wand gespeicherte Energie vorzugsweise nach innen abgegeben wird (56 W/m²), während die Gebäudehülle nach außen nur 7 W/m² verliert. Die Wand weist dabei Temperaturen von 27 °C (innen) und 32 °C (außen) auf.

Bei starker Sonneneinstrahlung (beispielsweise 595 W/m² am 4. Februar) wird das Paneel leitend geschaltet, wodurch sich zunächst die Vorderseite der Wand auf 58 °C aufheizt (Abb. 3b). Mit einer Zeitverzögerung von etwa sechs

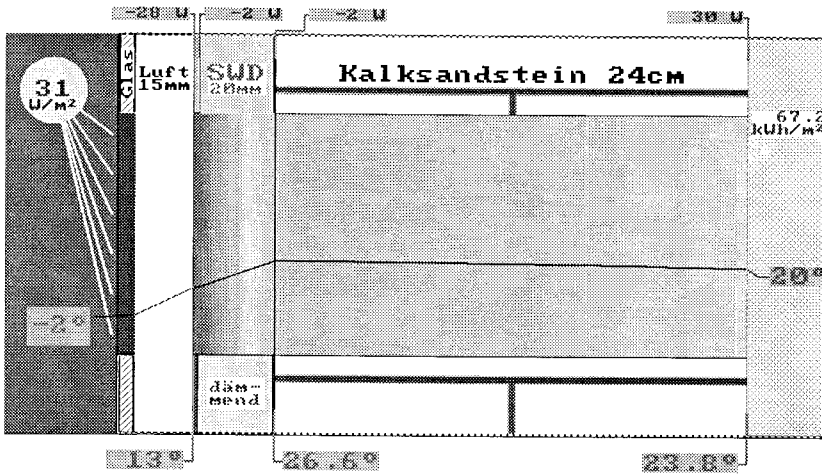


Abb. 3c: Computersimulation der SWD-Fassade für einen trüben Wintertag (diffuse Himmelstrahlung mit 31 W/m^2)

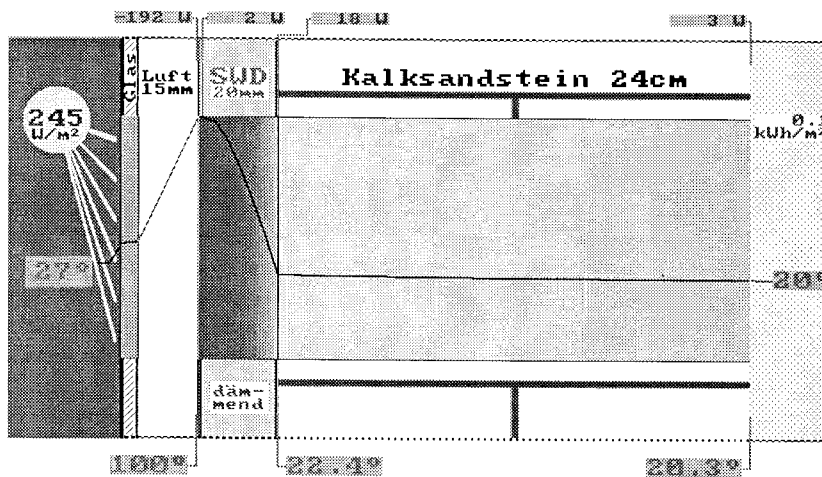


Abb. 3d: Computersimulation der SWD-Fassade für einen Tag außerhalb der Heizperiode

Stunden erhöht sich die Temperatur auch an der Innenwand.

An einem trüben Wintertag (2. Februar, Abb. 3c) reicht die diffuse Himmelstrahlung mit 31 W/m^2 nicht aus, um auf der Absorberseite eine gegenüber dem Innenraum erhöhte Temperatur zu erhalten. Das Panel wird aus diesem Grund isolierend gehalten, mit Verlusten von nur 2 W/m^2 . Wegen der hohen Speicherkapazität der Wand beträgt die Leistungsabgabe der Innenwand mit einer Temperatur von 24 °C immer noch 30 W/m^2 .

Außerhalb der Heizperiode, besonders aber im Hochsommer (Abb. 3d) ist das Panel stets isolierend gehalten. Obwohl auf dem Absorber der Panel-Vorderseite Temperaturen von über 100 °C auftreten können, bleibt der Wärmeeintrag in die Wand sehr gering und die Temperatur moderat.

Aus der Simulation wurde der monatliche Energiegewinn einer südorientierten Wand kumuliert und für zwei verschiedene Paneelstärken (10 mm und 20 mm) in Abb. 4 dargestellt. Man erkennt, daß während des ganzen Jahres nicht nur die Wärmeverluste der Wand kompensiert

werden, sondern stets Energiegewinne verzeichnet werden.

Eine SWD-gedämmte Wand kann also auch Transmissionswärmeverluste „nor-

mal“ gedämmter Bereiche (z. B. Dach, Nordfassade) teilweise ausgleichen.

Der Unterschied zwischen zwei verschiedenen Dämmstärken ist dabei marginal. Im strahlungsarmen Dezember als Monat mit dem niedrigsten Gewinn liegt das 20 mm-Panel durch die bessere Dämmung günstiger, während in der übrigen Heizperiode mit dem 10 mm-Panel die absorbierte Wärme effizienter ins Mauerwerk geleitet wird. Deutliche Vorteile bietet das stärkere Panel jedoch außerhalb der Heizperiode (Mai bis Oktober), weil es einen besseren Wärmeschutz bietet.

Weiteres Vorgehen

In den Vorversuchen wurde bereits gezeigt, daß die schaltbare Wärmedämmung prinzipiell funktioniert. Details wie z.B. die thermische Isolation des Getterbehälters bleiben zu optimieren. Die Zykklusfestigkeit des Getterstoffs ist noch zu untersuchen.

Es ist geplant, in einem Meßstand an der Südseite des ZAE-Gebäudes in Würzburg ein SWD-Fassadenelement über einen längeren Zeitraum unter realen Bedingungen zu vermessen.

Ronny Horn

Über den Autor

Dipl.-Phys. Ronny Horn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ZAE Bayern e.V., Abt. Wärmedämmung und Wärmetransport in Würzburg.

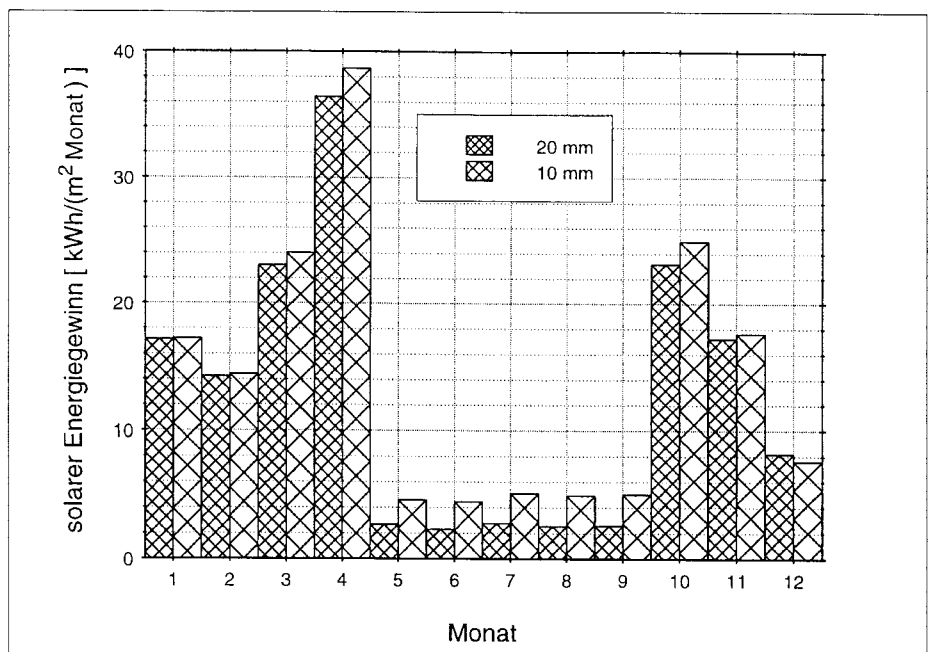


Abb. 4: Aus der Simulation ermittelter kumulierter monatlicher Energiegewinn für zwei verschiedene Paneelstärken (10 mm und 20 mm) an einer Südfassade