

Transparente Wärmedämmung:

Materialien und Konstruktionen haben sich bewährt

Die Transparente Wärmedämmung – TWD – an der Gebäudehülle kann durch die passive Nutzung der Solarenergie den Heizenergieverbrauch im Neu- und Altbau gegenüber einem opak (konventionell) gedämmten Gebäude weiter reduzieren. Die hochtransparenten Wärmedämmmaterialien, die nicht durchsichtig sein müssen, vereinen in sich die Funktion Wärmeschutz und solare Energiegewinnung. Durch eine opake Wärmedämmung werden die Transmissionswärmeverluste über die Außenwand verringert. Die Verwendung der TWD erreicht in der Jahresbilanz nicht nur eine Kompensation dieser Verluste, sondern darüber hinaus zusätzliche Wärmegewinne. Die aufgenommene Wärme wird mit einer Verzögerungszeit von der massiven Wand an die dahinter liegenden Räume abgegeben. Zeitverzögerung und Temperaturanstieg werden durch den Wandbaustoff und die Wanddicke bestimmt.

Je nach Qualität des TWD-Systems und abhängig von verschiedenen Randbedingungen betragen die Netto-Energiegewinne erfahrungsgemäß 50–150 kWh/m²a. Dieser Wert bezieht sich auf die reine Aperturfläche, d. h. Verluste durch die Rahmenkonstruk-

tion sind nicht berücksichtigt. TWD-Systeme können auch als Direktgewinnsystem im Bereich der Tageslichtnutzung eingesetzt werden. Die Solarstrahlung trifft diffus gestreut in den Raum. Dadurch kommt es zu einer guten Ausleuchtung des Raumes mit Tageslicht. Außerdem wird die Solarstrahlung an den inneren Raumbooberflächen in Wärme umgewandelt.

Seit Beginn der achtziger Jahre wird im Bereich der TWD geforscht. Bereits ca. 100 Gebäude wurden mit TWD ausgestattet und zeigen die Effektivität dieser Technik. Um eine breite Anwendung für die TWD zu erlangen, wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Vorhabens eine Studie erarbeitet. Diese stellt die aktuellen Ergebnisse, Erkenntnisse und Entwicklungen der Transparenten Wärmedämmung dar und soll dazu beitragen, TWD-Anwendungen in der Praxis voranzutreiben. TWD-Fassadensysteme haben einen Entwicklungsstand erreicht, der einen routinemäßigen Einsatz an Wohn- und Gewerbegebäuden sowohl beim Neubau als auch beim Altbau erlaubt. Die verschiedenen Materialien und Konstruktionen haben sich mittlerweile bewährt und ermöglichen die Lösung vielfältiger architektonischer Anforderungen.

TWD-Materialien

Transparente Wärmedämmmaterialien müssen über gute Wärmedämmeigenschaften (k -Wert $< 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) verfügen und gleichzeitig eine hohe Durchlässigkeit für Licht bzw. Solarstrahlung (g -Wert $> 0,4$) besitzen. Aus energetischen Gründen stellen Hohlkammerstrukturen (Kapillaren, Waben) aus Kunststoff oder Glas die beste Kombination aus Wärmedämmung und Transparenz dar. Sie werden so angeordnet, daß die Sonnenstrahlen

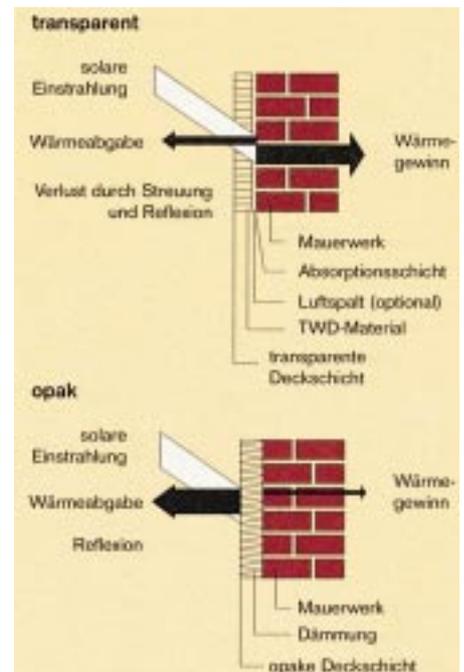


Bild 1: Vergleich der Funktionsprinzipien von Transparenter und opaker Wärmedämmung

in Richtung der Zellenlängsachse einfallen (Bild 1). Bei einem günstigen Verhältnis von Zelllänge zu Zellweite wird der konvektive Wärmestrom annähernd unterdrückt und fast die gesamte auftreffende Solarstrahlung in Richtung Absorber vorwärts reflektiert.

TWD aus Kunststoff: Die Kunststoffe Polymethylacrylat (PMMA), auch als Plexiglas bekannt, und Polycarbonat (PC, Macrolon) sind bewährte Ausgangsstoffe für extrudierte Mate-

rialien. Die Auswahl erfolgt nach den geforderten physikalischen und bautechnischen Anforderungen, wobei die Temperatur- und UV-Beständigkeit ein wichtiges Kriterium ist. PMMA hat eine maximale Gebrauchstemperatur von 90 °C; PC von 140 °C bei gleichzeitig höherer mechanischer Stabilität.

TWD aus Glas: Glas bietet die höchste Temperaturbeständigkeit mit optimalen Eigenschaften bezüglich des Brandverhaltens sowie der UV-Beständigkeit und eignet sich gut als TWD-Material. Im Vergleich zum Kunststoff weist Glas eine höhere Dichte und somit ein größeres Gewicht auf.

TWD aus Silica-Aerogel: Der Vollständigkeit halber sei auch dieses Material erwähnt, obwohl es momentan nicht kommerziell verfügbar ist. Es handelt sich um eine mikroporöse Silikatstruktur mit einem Festkörperanteil von ca. 10 % gegenüber 90 % Luft. Die Bestandteile der Luft können sich nicht mehr frei bewegen, so daß

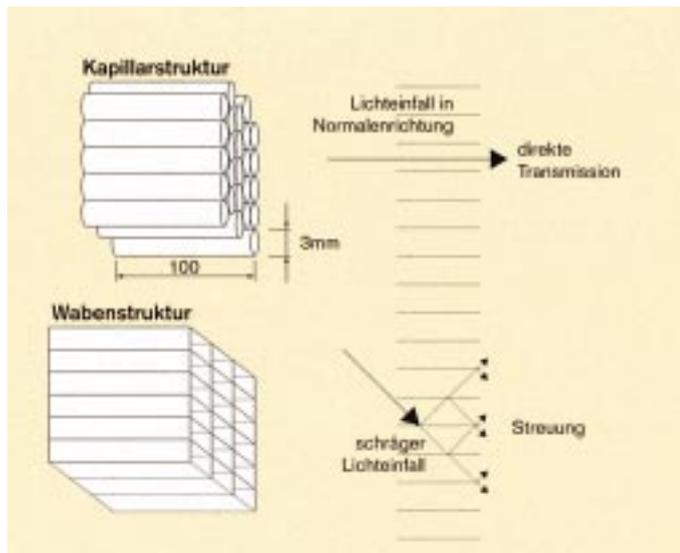


Bild 2: Struktur und Strahlengang durch TWD-Kapillar- bzw. Wabenstruktur

die Wärmeleitfähigkeit unter der von stehender Luft bleibt und sehr geringe Schichtdicken hohe Wärmewiderstände erreichen (k -Wert = $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei einer Dicke von 5 cm inkl. Deckschichten).

TWD-Funktionssysteme

Im Bereich der TWD-Anwendungen haben sich drei Funktionstypen herausgebildet, die nach der Nutzungsweise der Solarenergie unterschieden werden. Beim Solarwandsystem sind der Absorber und der Speicher in Form einer massiven Außenwand fester Bestandteil der Gebäudehülle. Der Absorber besteht aus einem schwarzen Wandanstrich, der einen Absorptionsgrad von über 90 % aufweist. Ergänzt wird das System durch die TWD und eine Verschattungseinrichtung, die den Wärmeeintrag in die Speicherwand regelt (Bild 1). Bei thermisch abgekoppelten Systemen wird die solare Einstrahlung an einer vom Raum isolierten Absorberfläche in Wärme umgewandelt und an ein Trägermedium (Luft, Wasser) übertragen. Es können somit auch nach Norden orientierte Räume mit Solarwärme versorgt werden. Es bedarf jedoch im Gegensatz zu den anderen Systemen einer aufwendigen Regelungstechnik sowie zusätzlichem Energieaufwand (z. B. Pumpen). Direktgewinnsysteme aus TWD stellen eine Form der Verglasung dar. Die Durchsicht ist allerdings stark eingeschränkt, so daß jeweils eine Kombination mit Klarglas geplant werden sollte. Durch das günstige Verhältnis von g - zu k -Wert können diese Systeme bei entspre-

Funktionsprinzip der TWD

Aufgrund der im Winter herrschenden Temperaturdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Umgebung kommt es zu einem von Innen nach Außen gerichteten Wärmestrom, d. h. ein Teil der zugeführten Wärme geht als Transmissionswärme durch die Gebäudehülle wieder verloren. Eine gute opake Dämmung der Außenwände schränkt die Transmissionsverluste zwar ein; die auftreffende Solarstrahlung bleibt jedoch ungenutzt. Eine Umkehr des Wärmeflusses in Richtung Gebäudeinneres wird durch den Einsatz einer transparenten Dämmung erreicht (Bild 1). Diese läßt einen Großteil der Solarstrahlung durch die Dämmschicht hindurch. An der dunklen Wand (Absorber) erfolgt die Umwandlung in Wärme. Durch den im Verhältnis zum Wandbaustoff hohen Transmissionswiderstand des TWD-Materials für Wärme wird diese in das Mauerwerk geleitet. Die Mauer wirkt als thermischer Speicher und gibt die aufgenommene Wärme mit einer entsprechenden Verzögerungszeit an die dahinter liegenden Räume wieder ab. Der Wärmestrom wird nicht nur durch die Wärmedurchlaßwiderstän-

de, sondern zusätzlich vom Strahlungsangebot und der Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung bzw. Innenraum bestimmt. Bei geringem Strahlungsangebot können möglicherweise lediglich die Transmissionsverluste der Wand gedeckt werden. Erhöht sich die Einstrahlung, führt dies zu einer Erwärmung der Wandaußenseite und zeitverzögert zu einem Temperaturanstieg der inneren Wandoberflächentemperatur. Der gewählte Wandbaustoff (Rohdichte mindestens 1200 kg/m^3) und die Wanddicke bestimmen sowohl die Zeitverzögerung als auch den Temperaturanstieg. Übersteigt die Temperatur der Wandinnenfläche die Raumlufttemperatur, kommt es zu einem von der Wand in den Raum gerichteten Wärmestrom. Die gesamte Wand wirkt als großflächige Niedertemperaturheizung, so daß die Raumlufttemperatur bei gleichbleibender Empfindungstemperatur abgesenkt werden kann. Um im Sommer und in der Übergangszeit unbehaglich hohe Raumtemperaturen zu vermeiden, ist in der Regel ein temporärer Sonnenschutz erforderlich.

Sonnenschutz

Gebäude, deren Fassaden mit TWD-Systemen belegt sind, benötigen im Sommer einen Überhitzungsschutz. Durch Rollos, Plissee-Stores und Jalousien, die je nach Ausführung vor das TWD-Element montiert oder in dieses integriert werden, kann der g-Wert im geschlossenen Zustand um 60–90 % reduziert werden, bei einem hochreflektierenden Rollo (weiße Farbe oder metallisch) um 100 %. Bei externen Verschattungen ist auf eine ausreichende Witterungsbeständigkeit zu achten. Integrierte Systeme können zusätzlich den Wärmeschutz und somit den k-Wert eines TWD-Elements um ca. 10–20 % verbessern. Bei der Wahl des Sonnenschutzes ist grundsätzlich die Nutzung des Gebäudes zu berücksichtigen. Einfache saisonale Abschattungen, die manuell betätigt werden, sollten nur eingesetzt werden, wenn einige Tage mit zu hohen Raumtemperaturen tolerabel sind. Für Mehrfamilien- und Bürohäuser eignen sich ausschließlich automatisch geregelte Systeme. Auch starre Verschattungen wie Balkone, Überhänge oder Lamellen können genutzt werden. Es besteht allerdings keinerlei Möglichkeit zur Regelung, so daß Zeiten mit leicht erhöhten Raumtemperaturen akzeptiert werden müssen.

chender Orientierung ebenfalls zur Deckung des Wärmebedarfs mittels Solarstrahlung beitragen.

TWD-Fassadensysteme

Für den Einsatz von TWD an Gebäuden ist ein entsprechendes Fassadensystem notwendig, das das TWD-Material aufnimmt und neben technischen Anforderungen auch eine architektonisch ansprechende Lösung erzielt. Gemeinsam ist allen Solar-

wand-Varianten, daß ein Element mit transparenter Wärmedämmung vor den Wandabsorber, der i. d. R. identisch mit der Massivwand ist, installiert wird. Die Wahl des Fassadensystems ist von einer Reihe verschiedener Faktoren, wie z. B. der Funktion der TWD-Fassade, dem Gewicht der Elemente, dem angestrebten Wirkungsgrad und dem möglichen Kostenrahmen, abhängig. Da das TWD-Material mechanisch empfindlich, nicht witterungsstabil und anfällig für Verunreinigungen ist, bedarf es der Montage mittels eines Rahmensystems sowie einer UV- und wasserundurchlässigen Schicht. Nachfolgend werden die gängigen Fassadenkonstruktionen vorgestellt:

Solarwandsysteme

Vorgehängtes Modulsystem: Die einzelnen vorgefertigten TWD-Elemente werden direkt an der Wand befestigt und können in Höhe und Winkel genau eingerichtet werden. Der Modulrahmen besteht meist aus Holz und wird durch ein Aluminiumprofil, in das die vordere Verglasung eingesetzt wird, vor Witterungseinflüssen geschützt. Den rückseitigen Wandanschluß garantieren Dichtungsbänder. Die Verschattung erfolgt durch Rollos zwischen TWD und Außenscheibe.

Pfosten-Riegel-System: Die TWD-Elemente werden zwischen horizontale Riegel und vertikale Pfosten (Aluminium oder Holz-Alu) eingebaut (Bild 3). Die einzelnen TWD-Paneele bestehen aus einer vorderen und hinteren Deckscheibe aus Glas, die das TWD-Material, teilweise auch einen internen Sonnenschutz beinhalten. Als Randverbund wird ein spezielles thermisch getrenntes Aluminiumprofil verwendet. Modul- und Pfosten-Riegel-Fassade werden funktionsfertig an die Baustelle geliefert und in ausjustierte Halteelemente gesetzt.

Transparentes Wärmedämmverbundsystem (TWDVS): Das TWDVS bedarf einer grundsätzlich anderen Fassadenkonstruktion als die Modulbauweise bzw. Pfosten-Riegel-Variante. Das TWD-Element wird mittels eines schwarzen Klebers (Absorber) wie ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

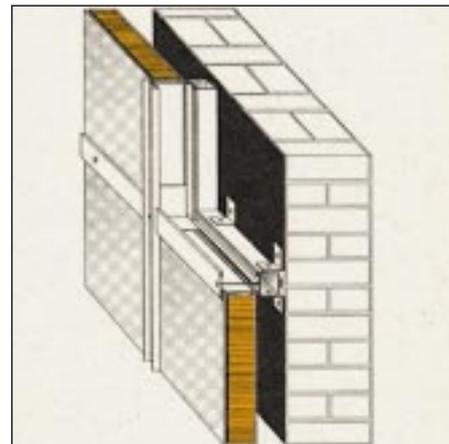


Bild 3: Schema einer Aluminium-Pfosten-Riegel-Konstruktion

direkt auf die Massivwand aufgebracht. Werkseitig wird die TWD-Platte mit einem transparenten Glasputz sowie einem rückseitigen Vlies versehen und kann direkt in die ausgesparten Felder der opaken Dämmung eingeklebt werden (Bild 4). Eine Verschattung des Systems ist derzeit nicht vorgesehen, da mit einer entsprechend dimensionierten Fassadenbelegung eine Überhitzung der Innenräume vermieden wird. Außerdem führt der Glasputz zu einem vom Sonnenstand abhängigen Energieeintrag. Vorteil dieses Systems ist eine einfache und kostensparende Montage an der Gebäudehülle, die sich auch für den Bereich der Altbauanierung gut eignet, da das äußere Erscheinungsbild einer konventionell verputzten Fassade ähnelt. Der Energieertrag des TWDVS liegt ca. 10–20 % unter dem verglasten Systeme.

Direktgewinnsysteme

Die bereits beschriebenen Fassadenkonstruktionen (gilt nicht für TWDVS) können auch als Direktgewinnsysteme (DG) eingesetzt werden. Das Sonnenlicht tritt durch die transparente Wär-

medämmung direkt in den Raum ein und wird an der inneren Raumboberfläche in Wärme umgewandelt.

Perspektiven

Ausschlaggebend für eine breite Einführung der TWD-Systeme sowohl im Neubau als auch im Altbau ist ein vertretbares Kosten-Nutzen-Verhältnis. Eine sorgfältige Planung muß somit neben gestalterischen Aspekten eine Reihe verschiedener Kriterien berücksichtigen, die einen großen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ausüben. Hierzu zählen beispielsweise die Gebäudegeometrie, die Orientierung der TWD-Wand, das Verhältnis TWD zu Fenstern, der Wärmedämmstandard sowie der Wandbaustoff und -dicke. Die Investitionskosten verschiedener TWD-Fassaden sind in Tabelle 1 dargestellt. Einen relativ hohen Anteil an den Kosten ver-

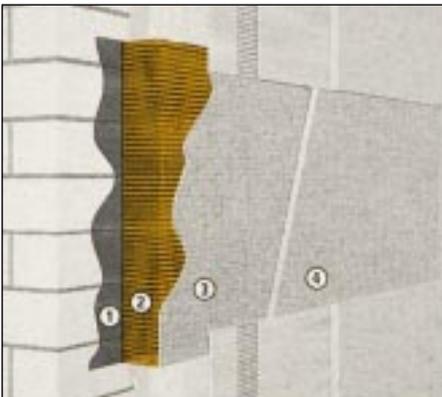


Bild 4: Schema des Transparenten Wärmedämmverbundsystems: 1 Absorber, 2 Transparente Kapillar-Platte, 3 Vlies, 4 Glasputz

ursacht das Verschattungssystem, bedingt durch einen erheblichen planerischen und technischen Aufwand. Aus diesem Grund werden passive selbstregelnde Verschattungssysteme z. B. mit thermotropen Materialien entwickelt. Je nach herrschender Temperatur verändert sich die Lichtstreuung einer Materialschicht, so daß Überhitzungen der Gebäude vermieden werden können. Zum Einsatz kommen wasserhaltige Hydrogele und wasser-

freie Polymerblends. Das System befindet sich derzeit in der Erprobungsphase, so daß zukünftig ein leistungsfähiges und kostengünstiges passives Verschattungssystem erwartet werden kann. Ein weiteres Entwicklungspotential bietet die energetische Qualität der Materialien. Durch eine prozeßtechnische Optimierung der Materialherstellung ist es möglich den Wärmedurchgangswiderstand um ca. 10 % zu erhöhen und die optischen Verlu-

ste um ca. 10–15 % zu senken, so daß der Wirkungsgrad verbessert werden kann.

Neben der Heizenergieeinsparung beim Einsatz der TWD darf der Wohnkomfortgewinn für den Nutzer nicht übersehen werden. Bedingt durch die über der Raumlufttemperatur liegende Wandtemperatur erhöht sich die Wohnqualität gegenüber einem konventionell beheizten und gedämmten Haus. Dies zeigt auch die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Befragung. Alle Nutzer, die geantwortet haben, würden wieder in eine Wohnung mit TWD einziehen. Ideal für den Einsatz der Transparenten Wärmedämmung ist ein gewünschter Wärmebedarf am späten Nachmittag und in den Abendstunden. □

Der Artikel ist ein Nachdruck des BINE Projekt-Info „Transparente Wärmedämmung“. Dieses Info und weitere Informationen zur Transparenten Wärmedämmung sowie zu anderen neuen Energietechniken können kostenlos bezogen werden bei: Informationsdienst BINE des Fachinformationszentrums Karlsruhe, Mechenstr. 57, 53 129 Bonn, Tel. (02 28) 92 37 90, Fax (02 28) 9 23 79 29, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de Hinweisen möchten wir ebenfalls auf das Informationspaket „Transparente Wärmedämmung an Gebäuden“ von A. Wagner. Das Buch ist zum Preis von 22,- DM erhältlich bei: TÜV-Verlag GmbH, BINE Info-Pakete, Viktoriastr. 26, 51149 Köln, Tel. (0 22 03) 9 11 80 60/62/78, Fax (0 22 03) 9 11 80 80, E-Mail: verlag@tuev-rheinland.de

Investitionskosten

Die spezifischen Investitionskosten von TWD-Systemen (Tabelle 1) sind von verschiedenen Einflußgrößen abhängig. Das sind:

- Fläche der TWD-Fassade, da bei großen Flächen systembedingte Fixkosten im Verhältnis zu den Gesamtkosten abnehmen,
- funktionale Ausbildung des Systems (Massivwandsystem, Direktsystem),
- Ausführung und Ausführungsniveau der Fassade (Material, Fassadensystem, Eigenbau, Fassadenbauer),
- Altbauanierung oder Neubau,
- Berücksichtigung von Einsparpotentialen, Art der Referenzkonstruktion.

Neben den Investitionskosten weisen auch die einzusparenden Kosten aufgrund verschiedener Einflußgrößen erhebliche Bandbreiten auf.

Konstruktion	Fassadenkosten in DM/m ²
Holzelemente mit Unterkonstruktion	900–1200
Aluminium-Fassadensysteme	1000–1500
TWD-Verbundsystem	450–600
zum Vergleich:	
opakes Wärmedämmverbundsystem	140–220
opake hinterlüftete Fassade	280–450
opake Glasfassade als Kaltfassade	700–900

Tabelle 1: Kosten für verschiedene TWD-Fassaden, inkl. Einbau