

## TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMUNG

ENTWICKLUNG UND ERPROBUNG  
NEUARTIGER TRANSPARENTER WÄRMEDÄMMSYSTEME  
AUS KUNSTSTOFF

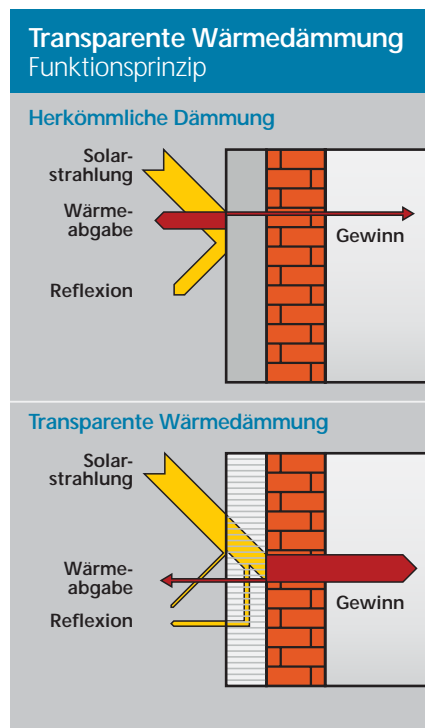
# NEUE ENTWICKLUNGEN VON TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMSYSTEMEN AUS KUNSTSTOFF

■ Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung wird der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energieträgern als eine der wesentlichen zukunftsorientierten Strategien angesehen. Im Bereich der Raumwärme, die zur Zeit in Österreich wie in anderen europäischen Ländern etwa 35% des Gesamtenergieeinsatzes ausmacht, kommt vor allem der Nutzung von Solarenergie eine wichtige Bedeutung zu. Transparente Wärmedämmsysteme stellen in diesem Zusammenhang eine besonders innovative Technologie dar.

Die konventionelle Wärmedämmung wird mit dem Ziel eingesetzt, die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes zu reduzieren. Das Prinzip der transparenten Wärmedämmung (TWD) beruht darauf, Wärmeverluste durch Solargewinne zu kompensieren und darüber hinaus Wärmegewinne für die Gebäudebeheizung zu nutzen. **Transparente Wärmedämmmaterialien** haben – anders als lichtundurchlässige (opake) Dämmstoffe – **zwei Eigenschaften**, die energetisch von entscheidender Bedeutung sind:

- gute Wärmedämmwirkung (d.h. möglichst kleine Werte für den Wärmedurchlasskoeffizienten  $\Lambda$ )
- hohe Durchlässigkeit für Solarstrahlung (d.h. möglichst große Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_h$ )

Bei den heute am Markt erhältlichen TWD-Systemen handelt es sich um absorber-senkrechte Röhren- oder Wabenbauten aus lichtdurchlässigen Kunststoffen, wie PC (Polycarbonat) oder PMMA (Polymethylmethacrylat). Neben sehr guten thermischen Eigenschaften weisen diese handelsüblichen Strukturen jedoch einige Defizite auf. Das eingesetzte Herstellverfahren (Schmelzextrusion) führt zu Schwachstellen in der TWD-Struktur, die vor allem die optischen Eigenschaften beeinträchtigen. Insgesamt ist das Verfahren aufwendig und wenig flexibel in Hinblick auf Variationsmöglichkeiten



bezüglich der eingesetzten Werkstoffe oder einer Optimierung der Strukturgeometrie.

Im Rahmen der zweckgebundenen Förderung von Technologieschwerpunkten durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), wurden am Institut für Kunststofftechnik der JOANNEUM RESEARCH Forschungsges.m.b.H. und am Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststofftechnik der Montanuniversität Leoben mehrere Projekte zur Entwicklung und Optimierung von TWD-Systemen aus Kunststoff durchgeführt. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Freiburg) war ebenfalls ein Kooperationspartner.

Schwerpunkte der Projekte sind einerseits die Entwicklung und Herstellung neuartiger TWD-Strukturen aus kommerziellen Kunststofffolien und andererseits die Anwendungsdemonstration an einem Einfamilienwohnhaus in Graz.

## Transparente Wärmedämmmaterialien

*Ihre wärmedämmende Wirkung erhalten TWD-Materialien einerseits durch einen hohen Gehalt an Luft und durch Unterteilung der Luftschichten in kleine Volumina, andererseits über Werkstoffe mit gutem Absorptionsvermögen im Wärmestrahlungsbereich und geringer Wärmeleitfähigkeit.*

Folgende Hauptzielsetzungen wurden im Rahmen der Projekte festgelegt:

- Untersuchung eines breiten Spektrums von transparenten Kunststofftypen und Auswahl geeigneter Polymerfolien unter Berücksichtigung des besonderen Anforderungsprofils (Alterungsbeständigkeit, Brandschutz, Verarbeitungseigenschaften)
- Theoretische Modellierung und numerische Optimierung von absorber-senkrechten Lamellenstrukturen in Bezug auf Wärmedämmung und Gesamtenergiedurchlassgrad
- Konzeptionelle Ausarbeitung einer Verfahrenstechnik und Prototypenfertigung kunststoffgerechter und optimierter TWD-Strukturen ausgehend von kommerziell verfügbaren Kunststofffolien
- Absicherung und Bestätigung der theoretischen Modellrechnungen durch experimentelle Untersuchungen an Modell-TWD-Strukturen

An der Umsetzung der Forschungsergebnisse im Rahmen der kontinuierlichen Fertigung der neu entwickelten Struktur auf einer Prototypenanlage wird derzeit noch gearbeitet. Diese Arbeiten werden in Kürze abgeschlossen sein.

Die geplante Anwendungsdemonstration am Haus von Univ.Prof. Reinhold W. Lang in Graz soll im Anschluss daran durchgeführt werden. Da das Demonstrationsobjekt insgesamt als sehr interessantes Beispiel für eine gelungene Umsetzung von umfassenden solartechnischen Konzepten und energieeffizienten Massnahmen gilt, wird das Gebäudekonzept in diesem Zusammenhang bereits vorgestellt.



# TWD-SYSTEM MIT WABENLAMELLEN-STRUKTUREN AUS KUNSTSTOFF

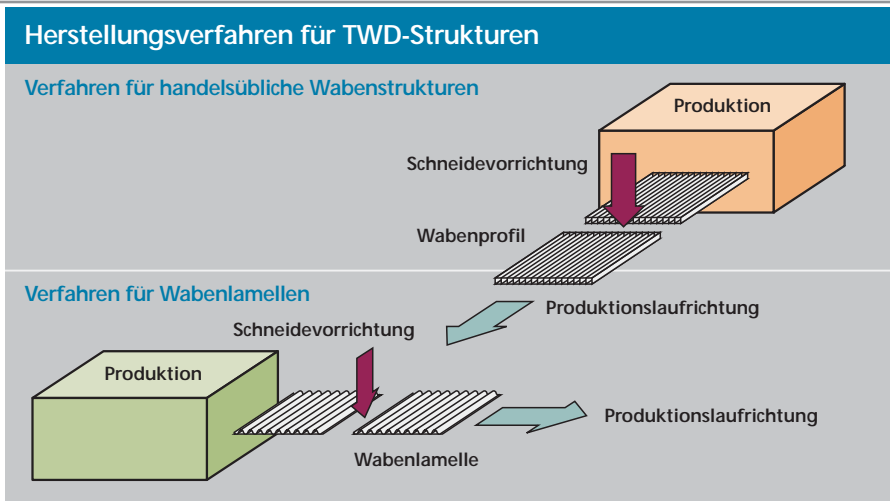
## Herstellung und verfahrenstechnische Optimierung

Die Forschungsarbeiten im Rahmen der Projekte zielten darauf ab, neuartige Strukturen aus Kunststoff zu entwickeln, die rationell herstellbar sind, sich vielfältig einsetzen und auf unterschiedliche Weise verlegen lassen und hinsichtlich der Wärmedämmung und Strahlungsdurchlässigkeit den hohen Anforderungen genügen.

### DIE NEU ENTWICKELTE TWD-STRUKTUR

Die Arbeiten konzentrierten sich schließlich auf die Entwicklung von optisch und thermisch optimierten kleinzelligen Wabenstrukturen, auf der Basis von kommerziell hergestellten Polymerfolien. Verfahrenstechnisch werden die Strukturen aus planen Folien durch einen formgebenden Prozess in die entsprechende Geometrie überführt und zu einer Struktur aus nebeneinander gereihten Zellen verbunden. Die in einer Ebene zusammenhängenden Wabenlamellen bilden das Grundelement für den Aufbau der TWD-Struktur.

Der Unterschied zu den herkömmlichen Verfahren wird durch die **schematische Darstellung** deutlich: Eine Produktionseinrichtung formt eine Wabenlamellenstruktur, die aus einer planen Flachfolie als Trägerbahn sowie einer wellenförmigen Folienbahn, die die Kammerstrukturen bildet, besteht. Die in Produktionslaufrichtung endlos hergestellte Wabenlamelle wird durch eine Trennvorrichtung geschnitten. Durch die Produktionslaufrichtung ergeben sich wichtige Vorteile. Die TWD-Strukturen werden bei dem Schneidprozess nicht mehr an den Stirnseiten, die die absorberparallelen Sichtflächen bilden, beschnitten, sondern auf das gewünschte Breitenmaß des künftigen TWD-Moduls abgelängt. Dadurch können die bisher aufgetretenen Probleme wie Streuverluste an den Schnittkanten, ungenügende Schnittqualität etc. vermieden werden.



Die **TWD-Strukturen** können ohne Stoß auch für Formate in beliebig großen Breiten hergestellt werden. Bisher war nur die Fertigung von kleineren Einzelementen möglich, deren Elementbreite von der Düsengeometrie der Produktionseinrichtung abhängig ist. Für die endlos hergestellte Wabenlamelle gibt es prinzipiell zwei Konfektionierungsmöglichkeiten. Das Grundelement für die TWD-Struktur kann sowohl gestapelt als auch in Form einer Wickelstruktur gefertigt werden.

Im Vergleich zu extrudierten TWD-Strukturen weisen **Wabenlamellen-Strukturen** vor allem **folgende Vorteile** auf:

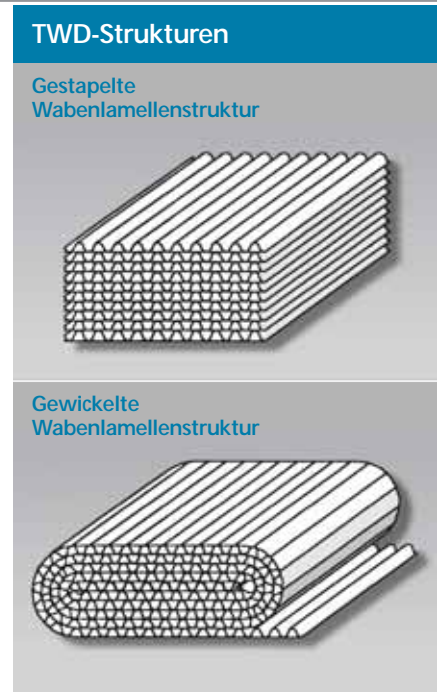
- aufgrund der Verwendung qualitativ hochwertiger Folien treten keine Strukturfehler an der Oberfläche der TWD-Struktur auf
- bezüglich des Kunststofftyps und der geometrischen Abmessungen der TWD-Struktur ist eine hohe Flexibilität gegeben

Für diese neuartige Wabenlamellen-Struktur wurde bereits 1997 das Patent angemeldet und mittlerweile erteilt. Zur Zeit wird an der Umsetzung der Technologie in die Praxis gearbeitet.

Ziel ist es, auf der Pilotanlage die kontinuierliche Herstellung von Wabenlamellenstrukturen und deren Konfektionierung zu in vorgefertigten Modulen einsetzbaren bzw. direkt an der Baustelle verlegbaren Halbzeugen zu erreichen. Dieser Umsetzungsschritt steht kurz vor dem Abschluss.

### MATERIALAUSWAHL

Im Rahmen der Projekte wurde ein Untersuchungsprogramm zur systematischen Ermittlung der Einflüsse von Kunststofftyp und Wabengeometrie





auf den Gesamtenergiedurchlassgrad und den Wärmedurchlasskoeffizienten von TWD-Materialien durchgeführt. Es wurden sowohl experimentelle Untersuchungen an Folien sowie auch theoretische Modellrechnungen vorgenommen. Insgesamt wurden ca. 80 Polymerfolien in dieses Programm aufgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich neben den Kunststoffen PMMA und PC auch Celluloseacetate (CA und CTA) besonders gut für den Einsatz im Niedertemperaturbereich eignen. Für Prozesskollektoren sind insbesondere die Fluorpolymere, die Polysulfone sowie modifiziertes, hochtemperaturbeständiges Polycarbonat günstige Werkstoffe. Es zeigte sich auch, dass bei den kleinzelligen Wabenstrukturen, je nach Kunststofftyp, optimale Eigenschaften bei einem Materialanteil von 1,5 bis 4 V% (Volumensprozent) erreicht werden können.

#### VERGLEICH ZU KOMMERZIELLEN STRUKTUREN

Einen Vergleich der experimentellen Werte für den hemisphärischen Gesamtenergiedurchlassgrad ( $g_h$ ) und den Wärmedurchlasskoeffizienten ( $\Lambda$ ) von ausgewählten 10 cm dicken Wabenlamellenstrukturen (mit beidseitig eisenarmer Verglasung) und kommerziellen TWD-Strukturen zeigt die untenstehende Grafik.

Man sieht, dass die Wabenlamellenstrukturen  $g_h$ -Werte von etwa 0,55 bis 0,60 aufweisen und damit generell besser liegen als die zur Zeit am Markt erhältlichen TWD-Strukturen. Die  $\Lambda$ -Werte liegen zwischen 0,79 und 1,0  $W/(m^2K)$  und damit teilweise etwas höher als die handelsüblichen Produkte. Besonders gute Ergebnisse erzielen aber die beiden TWD-Wabenlamellenstrukturen aus unterschiedlich dicken CA-Folien. Sowohl im Gesamtenergiedurchlassgrad als auch bezüglich des Wärmedurchlasskoeffizienten erreichten sie – bei deutlich niedrigerem Materialanteil – um bis zu 30% bessere Werte.

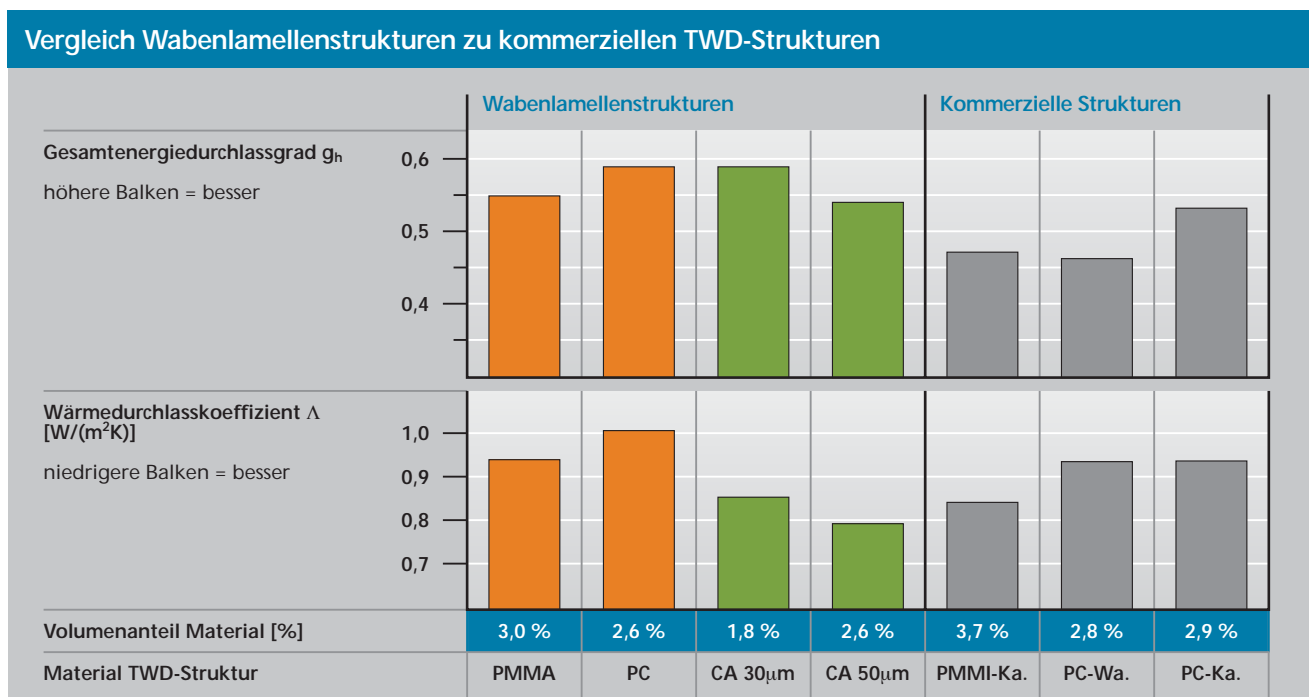
#### VERGLEICHENDE ÖKOBILANZIERUNG

Die im Rahmen der Projekte entwickelten TWD-Fassaden (TWD-Struktur inklusive Fassadenaufbau jedoch exklusive Massivwand) wurden in einer vergleichenden Ökobilanzstudie verschiedenen bereits eingesetzten und kommerziell verfügbaren Systemen gegenübergestellt. Für die Bewertung der Sachbilanzdaten wurden zwei etablierte Methoden (Schweizer Ökoprozessmodell und CML Modell) herangezogen. Das Bilanzgebiet erstreckte sich von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Fertigung der Systemkomponenten. Um die unterschiedliche Leis-

tungsfähigkeit der Systeme einbeziehen zu können, wurde eine Gewichtung der Ökobilanzrohdaten mit einem Qualitätsfaktor, der sowohl den Gesamtenergiedurchlassgrad als auch die Wärmedämmwirkung berücksichtigt, vorgenommen.

Insgesamt wurden 10 TWD-Systeme untersucht, die sich in ihrer ökologischen Bewertung deutlich unterscheiden. Zwischen den besten und den schlechtesten Systemen ergab sich zB. nach dem Schweizer Ökoprozessmodell ein Faktor zwischen 10 und 100.

Die besten ökobilanziellen Ergebnisse erzielten die im Rahmen der beschriebenen Projekte entwickelten Systeme auf Basis von CTA- und PC-TWD-Strukturen. Ähnlich gute Werte können für PMMA-TWD-Strukturen angenommen werden. Der wesentliche Vorteil dieser Systeme liegt in der Gestaltung der Fassadenstruktur, die jedoch wiederum mit dem entwickelten TWD-Halbzeug eng gekoppelt ist.



## NIEDRIGENERGIE-SOLARHAUS IN GRAZ

*Demonstrationsobjekt für die Anwendung innovativer Solartechnik und Massnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs*



■ Ziel des Bauobjekts von Univ.Prof. Reinhold W. Lang (Planung und Umsetzung: Planungs- und Bauges.m.b.H. Hegedys-Haas, Graz) war es, die technologischen Möglichkeiten und Potenziale einer vollsolaren Energieversorgung, durch innovativen Einsatz von Kunststoffen und Polymerwerkstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe, am Beispiel eines Einfamilienhauses mit Büroeinheit in der Praxis zu erproben. In der Bauweise, bei der Baustoffauswahl und beim Baustoffeinsatz sollten bauökologische und baubiologische Kriterien berücksichtigt werden.

Der längsgestreckte südost/nordwestorientierte Hauptbaukörper mit verputzten Fassaden, Holzanbauten und -verkleidungen, Balkonen und Veranden erstreckt sich parallel zu dem durch das Grundstück verlaufenden Bach. In den Hauptkörper durch klare Abgrenzung hineinverschnitten und nach Süden ausgerichtet befindet sich der Solar-Baukörper mit energetisch optimierten Geometrien und Neigungen. Hier soll die, im Rahmen der oben beschriebenen Projekte, entwickelte TWD-Struktur erstmals in der Praxis angewendet werden. Die geplante TWD-Fassade wird als Demonstrationsobjekt für das neue System aus Kunststoffwaben dienen. Neben der geplanten TWD-Wand enthält der Solar-Baukörper einen steil angestellten thermischen Kollektorschild für hohe Wintererträge und ins Dach mon-

tierte, in hinterlüfteter Ausführung gefertigte Photovoltaikmodule. Obwohl das Gebäudekonzept nicht der üblichen kompakten Bauweise des Passivhauses entspricht, konnten die Energieeffizienzkriterien für den Passivhaus-Standard (Heizenergiebedarf  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) erreicht werden. Für die geplante Endausführung des Gebäudes ist ein spezifischer Heizenergiebedarf von ca.  $12 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$  zu erwarten.

Entsprechende Messungen an dem Gebäude sind für einen Zeitraum von 2 Jahren vorgesehen. Vor allem zur Beurteilung des geplanten TWD-Systems wurde ein eigenes Messdatenerfassungssystem entwickelt und im Zuge der Errichtung des Gebäudes



bereits integriert. Neben der Umsetzung der energetischen Passivhauskriterien waren ein effizienter Materialeinsatz mit hohem Anteil an Bau- und Werkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe sowie der Einsatz von Kunststoffen mit guter Ökobilanz wichtige Zielsetzungen. Das Gebäudekonzept umfasst darüber hinaus eine Vielzahl von ökologisch innovativen Maßnahmen, wie z.B. die Verwendung von naturnahen Produkten für die Oberflächen im Innenbereich, baubiologische Vorkehrungen wie ein staubarmes Heizungssystem oder die Nutzung von Regenwasser für Toilettenspülung und Waschmaschine.

### ENERGIEEFFIZIENZ-MASSNAHMEN

#### RAUMHEIZUNG

- Hochwärmedämmte Gebäudehülle (Reduzierung der Transmissionswärmeverluste). Opake Hüllflächen ( $k_{w,D} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ), Fenster ( $k_f = 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ), Wärmebrückenfreie Konstruktion /Bauteile
- Hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Kontrollierte Be- und Entlüftung
- Zonierung der Raumaufteilung

#### ELEKTRIZITÄT (WOHNSTROMBEDARF UND HAUSTECHNIK)

- Nutzung natürlichen Lichts durch architektonische Maßnahmen
- Energiesparsame Haushaltsgeräte und Beleuchtungskörper
- Energiesparsame Haustechnikgeräte

### SOLARTECHNISCHE KOMPONENTEN

#### RAUMHEIZUNG UND WARMWASSER

##### Passiv-solar

- Fenster (Orientierung: S/O bis S/W): ca.  $23 \text{ m}^2$
- Verschattung über Dach/Balkon-Vorstände und thermotrope Schichten
- Transparente Wärmedämmung (TWD-Wand mit ca.  $25 \text{ m}^2$  an der Südfassade geplant)

##### Aktiv-Solar

- Lüftungssystem mit Erdreichvorwärmung und Zuluft/Abluft-Wärmetauscher (Temperaturwirkungsgrad: 90%)
- Warmwasserpufferspeicher:  $2,1 \text{ m}^3$ , Warmwasser-Bereitschaftsspeicher:  $0,3 \text{ m}^3$
- Niedertemperatur-Boden- und -Wand-Heizungssystem
- Notheizsystem über Kompakt-Wärmepumpenaggregat mit Mini-Erdwärmesystem ( $1,2 \text{ kW}_{el}$ )
- TWD-Flachkollektoren mit hochselektivem Absorber (geplant)
- Warmwasser-Notversorgung über Kompakt-Wärmepumpenaggregat

#### ELEKTRIZITÄT

- $11 \text{ kW}_p$  netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage (Fläche:  $105 \text{ m}^2$ , Südorientierung Anstellwinkel  $30 \text{ Grad}$ )



## ANWENDUNGSDEMONSTRATION UND VERMESSUNG

■ Die nächsten Schritte für den Abschluss des Gesamtprojekts sind der Einbau der TWD-Struktur in die Hauswand des Demonstrationsgebäudes sowie die Fertigstellung des Messsystems und die Vermessung der TWD-Wand über einen Zeitraum von 2 Jahren.

Die bautechnische Umsetzung der TWD-Fassade beinhaltet derzeit die Holzprofilkonstruktion, den Grobverputz und den Absorberputz sowie bautechnische Vorkehrungen zur Ausgestaltung der Messfläche für die begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen. Für die im Rahmen der Projekte ausgewählten TWD-Werkstoffe CTA, PC und PMMA wurden Untersuchungen zum Haftungsvermögen der TWD-Struktur auf dem Absorberputz durchgeführt. Alle drei Werkstoffe zeigten auch bei erhöhter Temperatur und Feuchtigkeit eine sehr gute Haftung.

Die Ausarbeitung des Messtechnikkonzepts für die Vermessung der solaren Einstrahlung und sonstiger klimatischer Daten und der Erträge am Demonstrationsobjekt wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (Gleisdorf) durchgeführt. Das Messsystem unterteilt sich in klimatische Sensoren und solche, die

das thermische Verhalten der Dämmsysteme erfassen. Alle Signale dieser Sensoren werden zu einem Datenlogger geführt und aufgezeichnet.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen an der Massivwand (noch ohne TWD-System), zeigten die Funktionsfähigkeit des Messsystems und bestätigten die aus bauphysikalischen Modellrechnungen abgeleiteten Ergebnisse für die schwarz verputzte Massivwand. Um entsprechende Daten für den späteren Vergleich mit der eingebauten TWD-Fassade zu erhalten, wurden bereits die Messwerte von drei wolkenlosen Tagen mit hoher Einstrahlung und drei stärker bewölkten Tagen mit niedriger Einstrahlung systematisch ausgewertet.



TWD-Messfeld am Demonstrationsobjekt (unverputzt)

### FORSCHUNGSFORUM im Internet:

<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

in Deutsch und Englisch

Eine vollständige Liste der Schriftenreihe „*Berichte aus Energie- und Umweltforschung*“ des BMVIT mit Bestellmöglichkeit findet sich auf der FORSCHUNGSFORUM HOMEPAGE: [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at).

## IMPRESSUM

FORSCHUNGSFORUM informiert über ausgewählte Projekte aus dem Bereich „Nachhaltig Wirtschaften“ des BMVIT. Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien; Leitung: Dipl.Ing. M. Paula; Rosengasse 4, A-1010 Wien. Fotos und Grafiken: G. Wallner, Institut für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe der Montanuniversität Leoben. Redaktion: Projektfabrik, A-1190 Wien, Nedergasse 23. Gestaltung: Grafik Design Wolfgang Bledl, [gdwb@council.net](mailto:gdwb@council.net). Herstellung: AV-Druck, A-1030 Wien, Faradaygasse 6.

► FORSCHUNGSFORUM erscheint mindestens vierteljährlich und kann kostenlos abonniert werden bei: Projektfabrik, A-1190 Wien, Nedergasse 23, e-mail: [projektfabrik@nextra.at](mailto:projektfabrik@nextra.at)

## PROJEKTTRÄGER

Das Projekt „Transparente Wärmedämmsysteme mit absorber-senkrechten Lamellenstrukturen aus Kunststoff“

(Laufzeit 1998 – 2000)

H. Schobermayr, G. Wallner und R. W. Lang wurde durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der zweckgebundenen Förderung von Technologieschwerpunkten unterstützt.

Das Projekt wurde am Institut für Kunststofftechnik der JOANNEUM RESEARCH Forschungsges.m.b.H. (Graz) und am Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe der Montanuniversität Leoben in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Freiburg, D), der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (Gleisdorf) und der Planungs- und Bauges.m.b.H. Hegedys-Haas (Mitterlassnitzberg) durchgeführt.

## INFORMATIONEN PUBLIKATIONEN

Zu dem oben genannten Projekt sind unter anderem zwei Publikationen in der Zeitschrift „erneuerbare energie“ (Ausgabe 98-1 und Ausgabe 00-1) erschienen.

Weitere Informationen unter: [wallner@unileoben.ac.at](mailto:wallner@unileoben.ac.at)