

Entwicklung neuartiger transparenter Wärmedämmsysteme aus Kunststoff

G. WALLNER^{1,2}, H. SCHOBERMAYR¹, R. W. LANG^{1,2} und W. PLATZER³

¹ Institut für Kunststofftechnik, JOANNEUM RESEARCH Forschungsges.m.b.H., Leoben

² Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben

³ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, D

Im Rahmen der zweckgebundenen Förderung von Technologieschwerpunkten durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr (BMWi) wird am Institut für Kunststofftechnik der JOANNEUM RESEARCH Forschungsges.m.b.H. und am Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe der Montanuniversität Leoben seit 1994 in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE, Freiburg, D) an der Entwicklung und Optimierung von absorber-senkrechten transparenten Wärmedämmstrukturen aus Kunststoff für die solare Raumheizung gearbeitet. Der Schwerpunkt der derzeitigen Arbeiten liegt einerseits auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik zur Herstellung derartiger TWD-Strukturen aus kommerziellen Kunststofffolien und andererseits in der Anwendungsdemonstration an einem Einfamilienwohnhaus im Raum Graz. Letztere Arbeiten werden zusammen mit der Planungs- und Bauges.m.b.H. HEGEDYS-HAAS (Graz, A) und der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE (AEE, Gleisdorf, A) durchgeführt.

Prinzip der transparenten Wärmedämmung für Gebäudeheizung

Das Prinzip der transparenten Wärmedämmung beruht im Gegensatz zur konventionellen Wärmedämmung, bei der die Transmissionsverluste eines Gebäudes nur reduziert werden, darauf, daß durch die Verwendung von transparenten Wärmedämmmaterialien (TWDM) Wärmeverluste durch Solargewinne kompensiert und darüber hinaus Wärmegewinne für die Gebäudeheizung genutzt werden. TWDM's haben deshalb im Gegensatz zu lichtundurchlässigen (opaken) Dämmstoffen zwei Haupteigenschaften, die energetisch von Bedeutung sind:

- hohe Durchlässigkeit für Solarstrahlung (d.h. möglichst große Werte für den Gesamtenergiedurchlaßgrad g)
- gute Wärmedämmwirkung (d.h. möglichst kleine Werte für den Wärmedurchlaßkoeffizienten Λ)

Ihre wärmedämmende Wirkung erreichen TWD-Materialien durch einen hohen Gehalt an Luft und durch Unterteilung der Luftschichten in kleine Volumina. Was den

geometrischen Aufbau und die Werkstoffe anbetrifft, kommen dafür prinzipiell absorber-parallele Schichtstrukturen, absorber-senkrechte Strukturen (Schlitz-, Waben- und Kapillarstrukturen), Kammerstrukturen (Stegplatten, transparenter Schaum, Hohlkugeln) und quasi-homogene Materialien (Aerogele) aus Glas oder transparenten Kunststoffen in Frage /1, 2/.

Bei den derzeit am häufigsten eingesetzten TWD-Strukturen handelt es sich um im Lösungsspinn- oder Extrusionsverfahren hergestellte absorber-senkrechte Röhren- oder Wabenaufbauten aus lichtdurchlässigen Kunststoffen wie Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polycarbonat (PC). Je nach Schichtdicke der TWD-Struktur werden bei Verwendung zwischen zwei Glasscheiben typischerweise Werte von $\Lambda = 0,7$ bis $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die Wärmeverluste und $g_h = 40 - 60 \%$ für den diffusen Gesamtenergiedurchlaßgrad erreicht.

Neuartige TWD-Wabenlamellenstrukturen

Das im Rahmen der Entwicklung ursprünglich verfolgte Konzept, TWD-Systeme basierend auf absorber-senkrechten Lamellenstrukturen („Schlitzlamellenstrukturen“) zu verwirklichen, für die als Ausgangsmaterial Polymerfolien mit entsprechender Schichtdicke in einem Abstand von 1 bis 5 mm eingesetzt wurden /3, 4/, erwies sich aus folgenden Gründen zunehmend problematisch:

- Fertigungsprobleme aufgrund elektrostatischer Aufladung der Folienbahnen
- hohe Vorspannung der Folien und daraus resultierende aufwendige und stabile Rahmenkonstruktion
- Relaxationsprozesse und thermische Ausdehnung vorgespannter Folien erfordern ein aufwendiges Foliennachspannsystem

Außerdem haben Modellrechnungen gezeigt, daß bei gegebenem Materialanteil kleinzellige TWD-Strukturen deutlich bessere thermische Eigenschaften aufweisen als Schlitzlamellenstrukturen ohne Vertikalstege /5/.

Aufgrund dieser Probleme und Nachteile mit vorgespannten Folienlamellenstrukturen konzentrierten sich die Arbeiten der letzten beiden Jahre auf von kommerziellen Polymerfolien ausgehenden optisch/thermisch optimierten kleinzelligen Wabenstrukturen („Wabenlamellenstrukturen“). Verfahrenstechnisch werden die Strukturen aus planen Folien durch einen formgebenden Prozeß in die entsprechende Geometrie übergeführt und zu einer Struktur, die aus nebeneinander gereihten Zellen besteht, verbunden (s. Abb. 1). Diese in einer Ebene zusammenhängenden Zellen („Wabenlamellen“) bilden das Grundelement für den Aufbau der TWD-Struktur, wobei sie entweder übereinander in Zeilen gestapelt oder gewickelt angeordnet werden können (s. Abb.2 und 3). Sie werden derzeit diskontinuierlich im Labormaßstab hergestellt, um einerseits Muster für die Beurteilung der Zellenstruktur zu erhalten und andererseits mögliche Herstellungsverfahren für unterschiedliche Zellengeometrien auszuloten.

Im Vergleich zu extrudierten bzw. im Lösungsspinnverfahren hergestellten TWD-Strukturen weisen derartige Wabenlamellenstrukturen u. a. folgende Vorteile auf:

- aufgrund qualitativ hochwertiger Folien keine Strukturfehler an der Oberfläche der TWD-Struktur
- hohe Flexibilität bezüglich des Kunststofftyps und der geometrischen Abmessungen der TWD-Struktur

Die derzeitigen Arbeiten konzentrieren sich auf verfahrenstechnische Verbesserungen sowie auf die Entwicklung und Inbetriebnahme einer Pilotfertigungsanlage zur kontinuierlichen Herstellung von Wabenlamellen inklusive deren Konfektionierung zu in vorgefertigten Modulen einsetzbaren bzw. direkt an der Baustelle verlegbaren Halbzeugen.

Modellrechnungen zur Strukturoptimierung und experimentelle Absicherung

Eine rein empirische Vorgehensweise zur systematischen Ermittlung der Einflüsse von Kunststofftyp und Wabengeometrie auf den Gesamtenergiedurchlaßgrad und den Wärmedurchlaßkoeffizienten von TWD-Materialien schloß sich aufgrund der Vielzahl der zu variierenden Parameter und des daraus resultierenden hohen experimentellen Aufwandes zur Herstellung und Untersuchung entsprechender Musterwaben aus. Andererseits sind in der Literatur theoretische Modelle zur Parametrisierung und Simulation der solaren Transmission und des Wärmetransports für derartige TWD-Materialien beschrieben /2, 6/.

Daher wurde zunächst auf Basis experimenteller Untersuchungen an Folien zur Charakterisierung der relevanten optischen und thermischen Eigenschaften und theoretischer Berechnungen für entsprechende Schlitz- und Wabenlamellenstrukturen, der Einfluß von Kunststofftyp und Schlitz- bzw. Wabengeometrie systematisch erfaßt /5, 7/. Insgesamt wurden ca. 80 Polymerfolien in dieses Untersuchungsprogramm aufgenommen. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- für den Einsatz im Niedertemperaturbereich erweisen sich die Celluloseacetate (CA und CTA) und Polyethylenterephthalat (PET) neben den Kunststoffen PMMA und PC als interessante Werkstoffalternativen
- für Prozeßkollektoren eignen sich insbesondere die Fluorpolymere, die Polysulfone sowie modifiziertes, hochtemperaturbeständiges Polycarbonat
- bei kleinzelligen Wabenstrukturen werden in Abhängigkeit vom Kunststofftyp optimale Eigenschaften bei einem Materialanteil von 1,5 bis 4 V% (Volumsprozent) erreicht

Eine Gegenüberstellung der experimentellen g_h - und Λ -Werte ausgewählter Wabenlamellenstrukturen mit beidseitiger eisenarmer Verglasung im Vergleich zu kommerziell verfügbaren TWD-Strukturen zeigt Abb.4. Aus der Darstellung ist erkennbar, daß die Wabenlamellenstrukturen diffuse g -Werte von etwa 0,55 bis 0,60

aufweisen und damit generell besser liegen als derzeitig kommerziell verfügbare TWD-Systeme. Andererseits weisen die Λ -Werte der Wabenlamellenstrukturen Werte zwischen 0,79 und 1,0 W/(m²K) auf, die teilweise etwas höher liegen als die handelsüblicher Produkte (allerdings bei geringerem Materialanteil). Besonders hervorzuheben sind jedoch die beiden TWD-Wabenlamellenstrukturen aus unterschiedlich dicken CA-Folien, die sowohl im Gesamtenergiedurchlaßgrad als auch im Wärmedurchlaßkoeffizienten bessere Werte aufweisen als die handelsüblichen Produkte.

Eine vergleichende Gesamtbewertung der verschiedenen TWD-Strukturen, die sowohl die solaren Einträge als auch die thermischen Verluste berücksichtigt, kann über die rechnerische Ermittlung eines effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten k_{eff} für ein definiertes Wandsystem und vorgegebenen Klimabedingungen erfolgen. Zu diesem Zweck wurden theoretische Berechnungen zur Optimierung der TWD-Struktur und von TWD-Wandaufbauten mit verschiedenen Wandmaterialien (Ziegel, Kalksandstein und Stahlbeton) unter Südorientierung für die Kernmonate der Heizsaison (November bis Februar) und für typische Klimaverhältnisse des Raumes Graz durchgeführt. Die dabei ermittelten k_{eff} -Werte sind für die verschiedenen TWD-Strukturen an einer 25 cm starken Schallschutzziegelwand in Abb.5 dargestellt. Demnach weisen die Wabenlamellenstrukturen unter diesen Bedingungen rechnerische k_{eff} -Werte im Bereich von -0,69 bis -0,85 auf. Dies deutet auf erhebliche solare Gewinne in der Heizsaison hin, die für Wabenlamellenstrukturen noch deutlich höher liegen als für handelsübliche TWD-Strukturen.

Ausblick

Während das Hauptaugenmerk der bisherigen Arbeiten auf der Werkstoff- und TWD-Strukturoptimierung lag, beschäftigen sich die laufenden Entwicklungsarbeiten schwerpunktmäßig mit der technologischen und praktischen Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Dabei soll neben der Produktentwicklung, die von der TWD-Struktur zum funktionsfähigen TWD-System führt, auch die Verfahrensentwicklung soweit vorangetrieben werden, daß die Realisierung eines Demonstrationsobjektes möglich wird und die Voraussetzungen für eine zukünftige gewerbliche Fertigung geschaffen werden.

Die Entwicklung der Rahmen- und Fassadenstruktur für das Demonstrationsobjekt sowie die bautechnische Umsetzung erfolgt unter Beteiligung der Planungs- und Bauges.m.b.H. HEGEDYS-HAAS (Graz). Da im Rahmen des Demonstrationsobjektes die Erfassung relevanter Meßdaten und deren Auswertung zur Beurteilung des Systems im Praxiseinsatz geplant ist, wird außerdem von der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (Gleisdorf) ein geeignetes Meßdatenerfassungssystem konzipiert und im Zuge der Errichtung des Gebäudes integriert.

Literatur

- /1/ A. Goetzberger und V. Wittwer, Sonnenenergie-Thermische Nutzung, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1993

- /2/ W. Platzer, Solare Transmission und Wärmetransportmechanismen bei transparenten Wärmedämmmaterialien, Dissertation an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1988
- /3/ R. W. Lang, H. Schobermayr und W. Platzer, Tagungsband „Transparente Wärmedämmung“, ARGE Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Mai 1995
- /4/ R. W. Lang, H. Schobermayr, G. Wallner und W. Platzer, Transparente Wärmedämmung mit Kunststofflamellenstrukturen, erneuerbare energie - Zeitschrift für Energiealternativen, Nr. 1-96
- /5/ G. Wallner, H. Schobermayr und R. W. Lang, „Entwicklung und Optimierung von transparenten Wärmedämmsystemen mit absorber-senkrechten Lamellenstrukturen aus Kunststoff“, Forschungsbericht des Instituts für Kunststofftechnik - JOANNEUM RESEARCH, Leoben, Juni 1997
- /6/ Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Verbesserung solarer Systeme durch Optimierung der Solaraperturfläche“, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Dezember 1992
- /7/ G. Wallner, Dissertation am Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben, (in Vorbereitung)

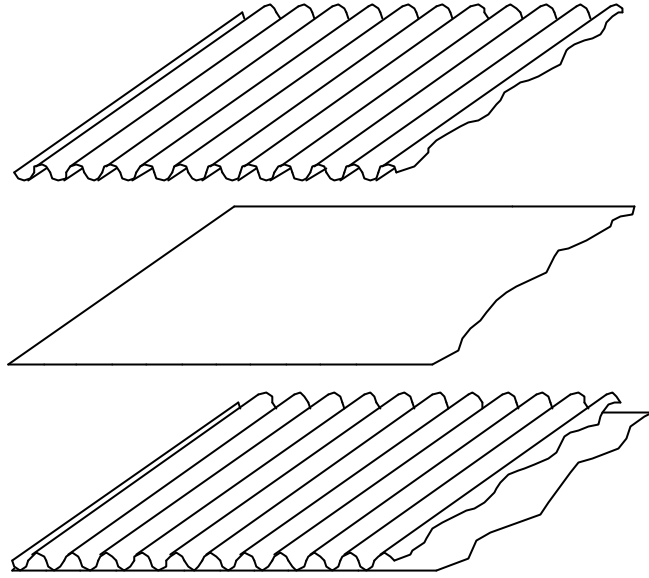


Abb. 1: Wabenlamelle aus zwei transparenten Folienbahnen

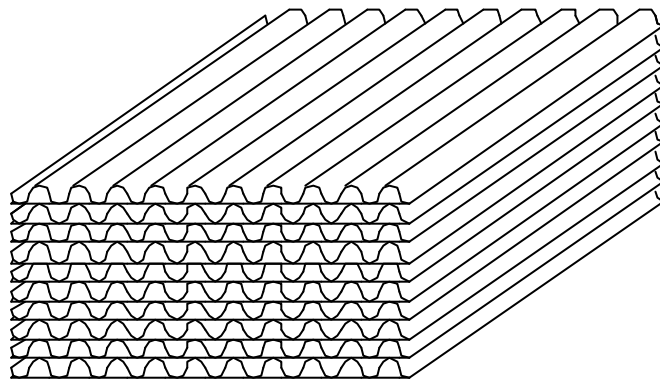


Abb. 2: TWD-Struktur aus übereinander geschichteten Wabenlamellen

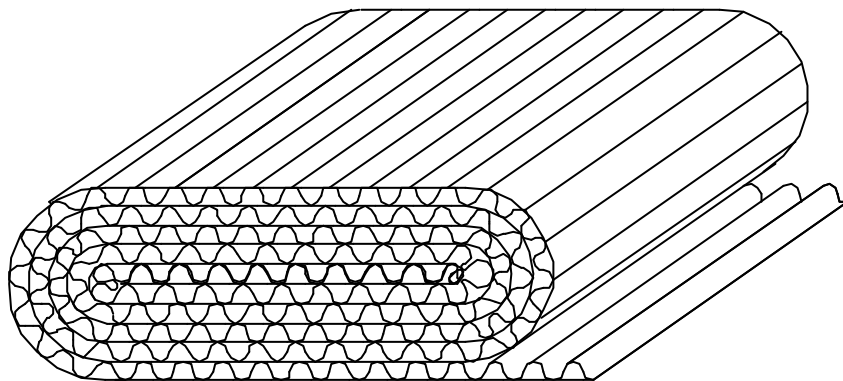


Abb. 3: Gewickelte Wabenlamellenstruktur

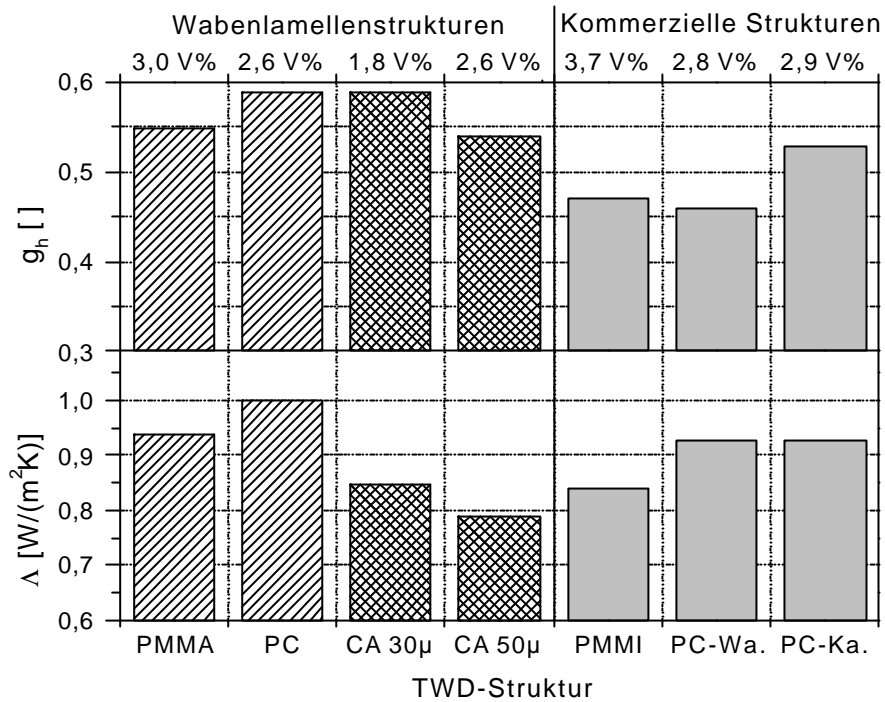


Abb. 4: Gesamtenergiedurchlaßgrad g_h und Wärmedurchlaßkoeffizient Λ der Wabenlamellenstrukturen im Vergleich zu kommerziellen TWD-Strukturen

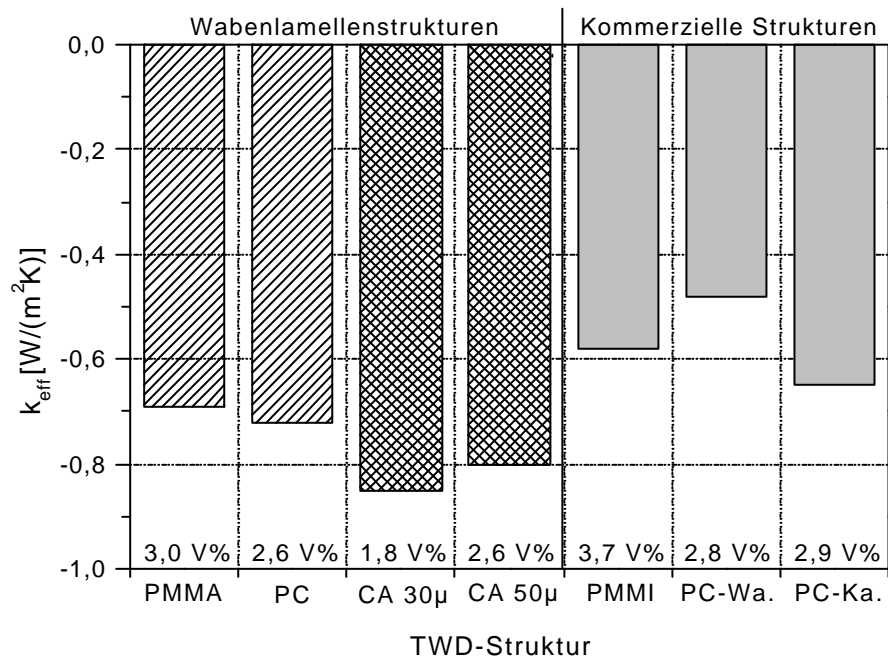


Abb. 5: Effektiver Wärmedurchgangskoeffizient k_{eff} der Wabenlamellenstrukturen im Vergleich zu kommerziellen TWD-Strukturen

