

* Dr.-Ing. Jan Cremers

Alternative zu Glas bei Gebäudehüllen

NEUE MEMBRAN-TECHNOLOGIEN



Integrierte Photovoltaik, transluzente Aerogel-Dämmung und selektive Low-E-Schichten auf ETFE-Folien stellen zukunftsweisende neue Optionen für das Bauen mit Membranen dar.

Nachdem im letzten Heft diverse Aspekte rund um das Bauen mit Membranen thematisiert wurden, sollen in dieser Ausgabe weitere ausgewählte Innovationen vorgestellt werden, die allesamt dem energieoptimierten Bauen mit Membranen dienen und damit für Architekten und Planer das mögliche Einsatzspektrum dieser Bauweise für intelligente Gebäudehüllen wesentlich erweitern:

- PV Flexibles, d.h. Photovoltaik (PV), die in biege- weiche Membrankonstruktionen integriert werden kann,
- transluzente Hochleistungswärmedämmung, mit der hohe Lichtdurchlässigkeit (ein wesentliches Kriterium für den Einsatz von Membranen in Gebäudehüllen) und effiziente Wärmedämmung verbunden werden kann,
- spezielle transparente Funktionsschichten auf ETFE-Folien und anderen Membranmaterialien, mit denen sich insbesondere die strahlungsbezogene Energiebilanz einer Gebäudehülle einstellen und damit kontrollieren lässt.

PV Flexibles für Membrankonstruktionen

Gebäudeintegrierte Photovoltaik benötigt keine zusätzliche Unterkonstruktion, da sie Bestandteil des Gebäudes beziehungsweise dessen Hülle ist. Im Hinblick auf ästhetische Kriterien bietet dieser Ansatz grundsätzlich ein weitaus größeres Potenzial gegenüber einer additiven Lösung.

Die Photovoltaik liefert in einer solchen Anwendung nicht nur Elektrizität, vielmehr kann durch eine entsprechende Integration in transparente oder transluzente Bauteile auch eine in vielen Fällen notwendige Verschattung erreicht werden, die die solare Erwärmung des Gebäudeinneren im Sommer reduziert und dadurch hilft, die Kühllasten und den damit verbunden hohen Energieverbrauch zu minimieren. In einem Bericht beziffert die International Energy Agency (IEA) das Anwendungspotenzial von gebäudeintegrierter Photovoltaik auf 23 Milliarden Quadratmeter. Dies entspräche ungefähr 1000 GWp bei einer niedrigen durchschnittlichen Effektivität von nur 5%.

* Dr.-Ing. Jan Cremers
Director Envelope Technology
SolarNext AG/Hightex Group
D-83253 Rimsting/Chiemsee

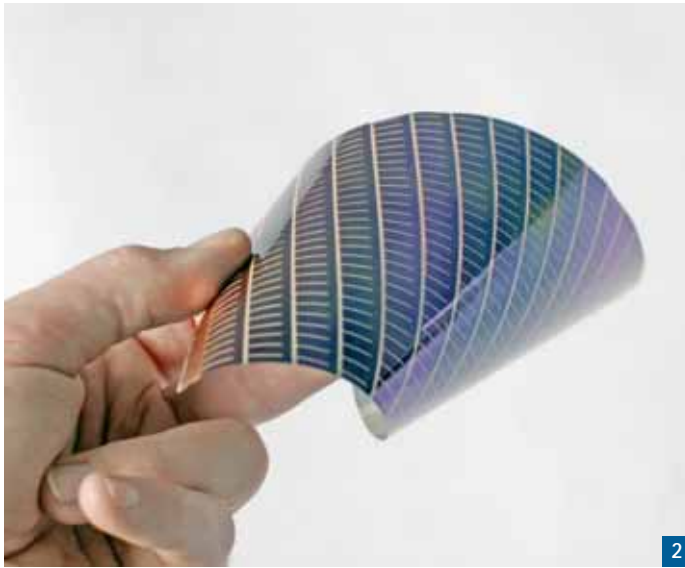
1, 5, 6 Weltweite Erstin-
stallation von PV Flexibles
in ETFE-Folien im Büro der
Hightex GmbH, D-Rimsting:
– 2-lagige ETFE Kissen-
konstruktion, 5 m x 5 m
– Installierte Leistung
ca. 440 Watt-peak

2 Basistechnologie:
Flexible amorphe Silizium-
Dünnschicht-Solarzellen
auf Polymersubstrat...

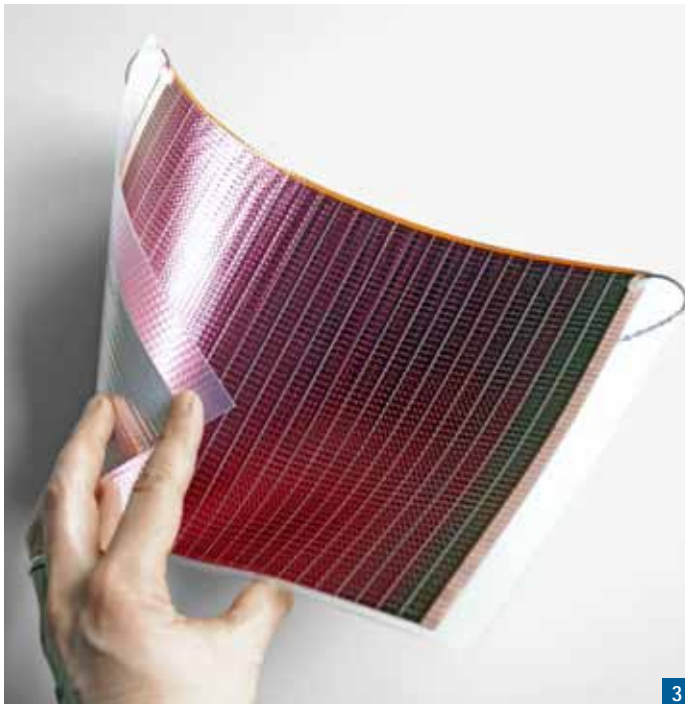
3 ... werden in transpa-
rente Hochleistungs-Fluor-
polymere (ETFE) einlami-
niert.

4 In der Oberlage einer
pneumatischen Kissen-
konstruktion integrierte PV
Flexibles produzieren als
gebäudeintegrierte Lösung
Strom und helfen zusätz-
lich, den sommerlichen
Energieeintrag zu reduzie-
ren.

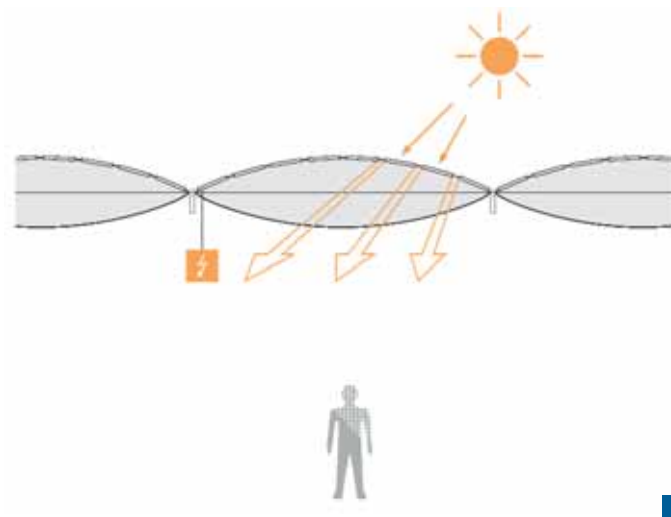
7 Applikation von PV
Flexibles auf Architektur-
Gewebe-Membran
(PTFE/Glass)



2



3



4

Bisher gab es jedoch keine Lösung für die Integra-
tion von PV in frei tragende Folien- und Mem-
brankonstruktionen, obwohl diese Strukturen für
einen grossflächigen Einsatz prädestiniert sind
(Einkaufszentren, Stadiondächer, Flughäfen usw.).
Aus wirtschaftlicher Sicht wird in der Regel eine
Rentabilität einer Investition in Photovoltaik
innerhalb einer angemessenen Zeitspanne erwar-
tet. Dies bedingt eine ausreichende Lebensdauer
des Basismaterials zur Einbettung der Photovol-
taik, sodass dafür insbesondere langlebige Bau-
stoffe wie z.B. ETFE oder PTFE aus der Gruppe der
Fluorpolymere interessant sind. Diese stellen in
der Praxis eine erprobte Lösung dar, sie sind äus-
serst dauerhaft und UV-beständig und besitzen
darüber hinaus ein sehr günstiges Anschmutzver-
halten («selbstreinigende» Oberflächen).

Während PTFE-beschichtete Membranmateria-
lien schon seit langer Zeit im Bauwesen Verwen-
dung finden, kann in den letzten Jahren eine be-
achtliche Steigerung der installierten Flächen un-
ter Verwendung von ETFE-Folien verzeichnet
werden. Die meisten Anwendungen betreffen
Dächer, in letzter Zeit kommen aber auch Fassaden
in dieser Bauweise zur Ausführung. Für diese
Konstruktionen wurde durch die SolarNext AG
(Hightex Group) eine Lösung für die Integration
von Photovoltaik entwickelt, sogenannte PV Fle-
xibles.

Die PV-Zellen selbst werden in einem kontinuier-
lichen Produktionsprozess (Rolle-zu-Rolle-Ver-
fahren) in mehreren Beschichtungsschritten auf
das Polymer-Trägermaterial aufgebracht und ha-
ben am Ende eine Gesamtaufbaustärke von nur
circa 1 µm. Das Kunststoff-Trägermaterial, dessen
Flexibilität das Rolle-zu-Rolle-Verfahren erst er-
möglicht, und die hohe Prozessgeschwindigkeit
des speziellen Hochfrequenz-Plasmaverfahrens
stellen einen wesentlichen Schritt zur Kostenre-
duktion dieser Technologie dar.

Als Variante der Dünnschicht-Technologie für
amorphes Silizium benötigt dieses Verfahren we-
sentlich weniger Silizium und Energie im Ver-
gleich zur Herstellung von konventionellen Solar-
zellen auf Basis von mono- oder polykristallinem
Silizium. Diese Technologie hat zudem das Poten-
zial zu geringeren Systemkosten gegenüber
Dünnschicht-Silizium auf Glas. Auch die Energy
Pay-Back Time ist relativ kurz (etwa 1,2 Jahre für
konventionelle a-Si-Module im Vergleich zu 2
Jahren für Mono-Si-Module). Das sich so erge-
bende PV-Zellen-Rollenmaterial ist sehr dünn
(ca. 51 µm), von sehr geringem Gewicht und da-
mit besonders prädestiniert für mobile Anwen-
dungen. Die gleichzeitig vorhandene hohe Flexi-
bilität eröffnet jedoch die besondere Option für
den Einsatz in Membran-Konstruktionen.

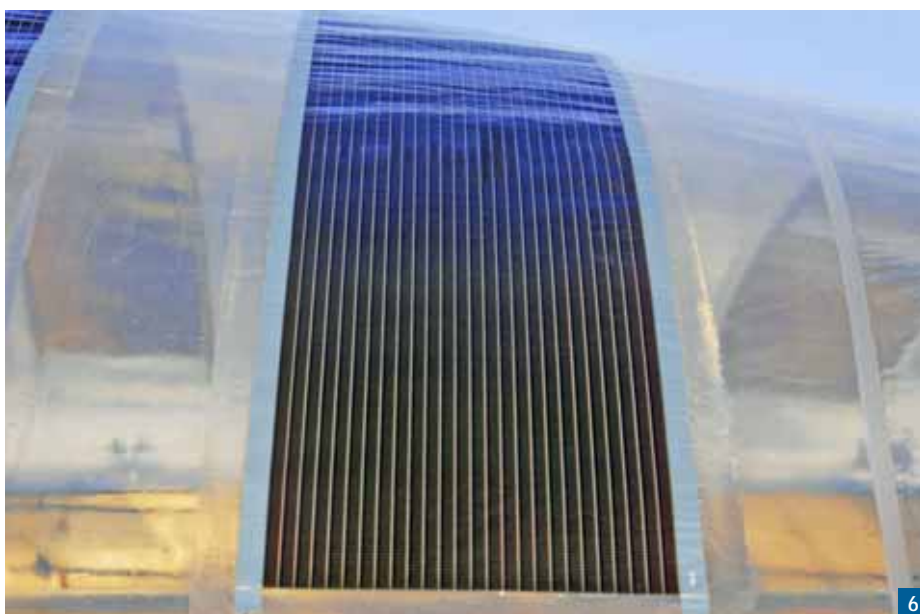
Die hergestellten PV-Rollen werden entsprechend der projektspezifischen Anforderungen auf Länge zugeschnitten und zu einem Laminat zusammengesetzt. Die PV-Folienschicht ist dann zwischen zwei ETFE-Lagen eingebettet. Diese Kaschierung schützt die PV-Zellen vor mechanischen Belastungen und Spannungen, vor Feuchtigkeit, Bewitterung usw. Seit Jahrzehnten wird ETFE bereits in der Bauindustrie für lichtdurchlässige oder gar vollständig transparente Gebäudehüllen eingesetzt und hat seine hohe Beständigkeit gegenüber den Witterungseinflüssen einschliesslich UV-Strahlung unter Beweis gestellt. Ein Alterungsprozess ist kaum messbar und die einzigartigen Oberflächenqualitäten bleiben dauerhaft erhalten. Die Lamine werden dann entsprechend der ermittelten 3D-Form zugeschnitten und anschliessend in einem besonderen Schweissprozess an den Kanten miteinander verbunden.

Die PV kann so in pneumatische Konstruktionen wie zum Beispiel Folienkissen integriert werden. Für die Anwendung in Verbindung mit transluzentem PTFE-beschichtetem Membrangewebe werden ebenfalls Fluorpolymere verwendet, die sich mit der PTFE-Beschichtung der Membrangewebe kraftschlüssig verbinden lassen.

Viel Licht und Wärme, wenig Konstruktion: Transluzente Hochleistungsdämmung für Membrane

Ein wesentlicher Grund für den Einsatz von Membran-Werkstoffen im Bereich der Gebäudehüllen besteht zumeist im Wunsch nach Lichtdurchlässigkeit. Während die Licht-Transmission schon von je her über einen sehr weiten Bereich eingestellt werden konnte, war dies bisher nur ungenügend mit gleichzeitig bestehenden Wärmedämm-Anforderungen vereinbar. Der Einsatz von Silica-basierten transluzenten Hochleistungsdämmstoffen in Membranen löst diesen Konflikt nachhaltig. Im Vergleich zu Glas haben pneumatisch gestützte und mechanisch gespannte Membrankonstruktionen den grossen Vorteil ihres ungleich geringeren Gewichtes (ca. um den Faktor 40). Folglich kann der Materialaufwand und damit das optische Erscheinungsbild der Tragkonstruktion sehr stark reduziert werden.

Denn trotz der geringen Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen unterbinden diese den Wärmefluss durch die Konstruktion auf Grund ihrer geringen Dicke von zum Teil weniger als 0,2 mm nur sehr wenig. Die Lösung liegt daher entweder im konstruktiven Bereich (mehrlagige Konstruktionen mit Luftzwischenräumen) oder, wenn höhere Anforderungen gestellt werden, in der Verwendung



8 Beispielanwendung grosse gespannte Dachflächen, hier das Gottlieb Daimler Stadion in Stuttgart (Status quo)...

9 ... und mit auf der Membran applizierten PV Flexibles (Computer-Visualisierung).

10 Transluenter Hochleistungs-Dämmstoff Silika-Aerogel in granularer Form (Bild: Cabot Corp.)

11, 12 Integration von transluzentem Aerogel als Hochleistungswärmedämmung in Membrankonstruktionen



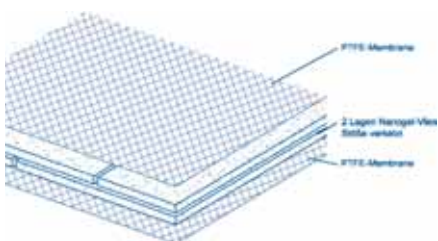
8



9



10



11



12

von Dämmstoffen, insbesondere von transluzenter Wärmedämmung als lichtdurchlässige Variante. Da eine hohe Lichttransmission bei der Entscheidung zugunsten einer Membrankonstruktion oft eine entscheidende Rolle spielt, sind opake Dämmstoffe hier selten erwünscht. Die Verwendung von Silica-Aerogelen ist daher eine sehr attraktive Lösung.

Der Lichtdurchlassgrad einer Aerogelschicht beträgt ca. 80% pro cm Einbaustärke, wobei die Dämmeigenschaften bezogen auf die Schichtstärke doppelt so gut sind wie die einer Schicht aus Polystyrolschaum vergleichbarer Dicke.

Zusätzlich ist das Material unbrennbar, umweltfreundlich, recycelbar, temperatur- und UV-beständig, hydrophob und langzeitstabil. Silica-Aerogele sind organische Siliziumverbindungen mit einer Granulatgrösse von 0,5 – 4,0 mm bei einer Porengrösse von ca. 10 – 100 nm und einem Porenvolumenanteil von mehr als 80%. Die Rohdichte liegt unter 300 kg/m² wobei die innere Oberfläche 600–800 m²/g bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,018 W/mK beträgt. Für eine Einbaustärke von lediglich 3 cm erreicht man einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von 0,57 W/m²K bei einem Lichttransmissionsgrad der Schicht von 45%. Je nach gewünschtem Erscheinungsbild kann die Aerogelschicht in die Ober- oder Unterlage eines ETFE-Kisses eingebaut werden.

Bei mechanisch gespannten Konstruktionen kommt eine weitere Aerogel-Dämmvariante zur Ausführung, nämlich ein aus Zweikomponentenfasern bestehendes Vlies, welches mit Aerogel-Partikeln versetzt ist. In der Kombination entsteht so eine flexible und druckfeste Matte, die sehr gute Dämmeigenschaften aufweist. Denkbar ist die Verwendung dieses Vlieses sowohl in Verbindung mit transparenten ETFE-Folien als auch mit transluzenten Membranmaterialien wie PTFE-beschichtetem Glasfasergewebe. Das ebenfalls transluzente Vlies wird dabei vorzugsweise direkt auf der unteren Membranlage eingebaut und reduziert den Lichtdurchgang nur unerheblich. Der gewünschte U-Wert kann durch die verfügbaren Vliesstärken und deren mögliche mehrlagige Kombination über seinen sehr weiten Bereich in feinen Schritten eingestellt werden. Der Zusammenhang mit den entsprechenden Lichttransmissionswerten findet sich in nebenstehender Tabelle. Durch die lichtstreuenden Eigenschaften des Aerogels ergibt sich nicht nur eine homogene Untersicht, sondern es sorgt auch für angenehme, blendfreie Lichtverhältnisse im Innenraum.

Für den Wettbewerbsbeitrag des Georgia Institute of Technology zum Wettbewerb «Solar

Decathlon 2007» hat die SolarNext AG in Zusammenarbeit mit der Hightex GmbH ein Konzept für eine hochgedämmte, semi-transparente Deckenkonstruktion entwickelt und umgesetzt, bei welcher die Verwendung von Aerogel und dessen hervorragenden energietechnischen wie ästhetischen Eigenschaften zum Tragen kamen. Um die konstruktiven Elemente des Daches so einfach wie möglich gestalten zu können, wurde die Konstruktion in zwei nach Funktionen getrennte Ebenen geteilt. Die untere Ebene besteht aus hochdämmenden Paneelen, die zugleich den Raumabschluss bilden, während die obere Ebene lediglich dem Witterungsschutz dient. Die neun Deckenpaneele mit einer Grösse von 4 x 1,5 m bestehen aus einer im Querschnitt optimierten, thermisch getrennten Rahmenkonstruktion, welche mit ETFE-Folie bespannt und anschliessend mit Aerogel befüllt wurde. Das Resultat ist eine Lichtdecke, mit einem über die gesamte Ansichtsfläche des Paneeles homogenen Erscheinungsbild bei einem Lichtdurchlassgrad von ca. 20% und einem U-Wert von ca. 0,3 W/m²K. Resultat ist eine verhältnismässig leichte und hochdämmende Deckenkonstruktion, die auf Grund ihrer Transluzenz das zur Verfügung stehende Tageslichtangebot optimal ausnutzen kann.

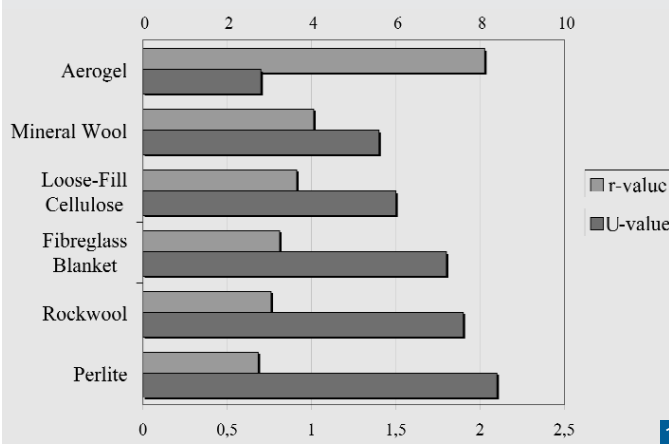
Transparente, selektive Low-E-Funktionsschichten auf ETFE-Folien

Diese Technologie, deren Prinzip aus dem Bereich von Sonnen- bzw. Wärmeschutzverglasungen bekannt ist, steht erst seit kurzer Zeit für Membran-Werkstoffe zur Verfügung. Unter Selektivität versteht man dabei die Eigenschaft, den energiereichen Infrarotanteil des solaren Spektrums möglichst weitgehend auszufiltern, aber gleichzeitig möglichst viel Strahlung im Bereich des sichtbaren Spektrums zu transmittieren, und zwar gleichmässig, also mit möglichst geringer Farbverfälschung in Durchsicht und Reflexion. Zum anderen ermöglicht die Low-E-Schicht eine Reflexion der Wärmestrahlung im fernen Infrarotbereich (also z.B. für Bauteile mit Innenraumtemperaturen). Im Prinzip ermöglichen solche transparente Funktionsschichten ein Maximum an Licht im Innenraum, gleichzeitig begrenzen sie aber den Energietransport über Wärmestrahlung zwischen innen und aussen, und zwar in beide Richtungen.

Es steht zu erwarten, dass diese Technologie im Bereich von ETFE-Folien eine ähnliche Wirkung wie bei Glaskonstruktionen entfalten wird, wo Funktionsschichten inzwischen bei nahezu allen Anwendungsfällen vorteilhaft eingesetzt werden und dementsprechend verbreitet sind.

**Materialstärke Eigenschaften
Aerogelgranulat**

(cm/Inches)	Lichttransmission	g-Wert	U-Wert (W/m ² K)
1,3 cm/0,5"	73%	0,73	1,4
2,5 cm/1"	53%	0,52	0,7
3,1 cm/1,25"	45%	0,43	0,57
3,8 cm/1,5"	39%	0,39	0,47
5 cm/2"	28%	0,26	0,35
6,4 cm/2,5"	21%	0,21	0,28



13 Bauphysikalische Eigenschaften von Aerogel. Die U- bzw. R-Wert-Angaben beziehen sich auf eine Schichtstärke von 25 mm Aerogel und sind angegeben in den Einheiten: hr*ft²*F/Btu (r-value, oben) W/(m²K) (U-Wert, unten)

14 Lichtdecke mit Aerogelgefüllten ETFE-Kissen für ein Projekt in den USA

15 Transparente selektive Low-E-Funktionsschichten auf ETFE-Folien



Bildnachweis:
Bilder 1–9, 11–15: SolarNext AG/Hightex Group
Bild 10: Cabot Corp