

# Integration von Photovoltaik in Membrankonstruktionen

## Integration of Photovoltaics in Membrane Structures

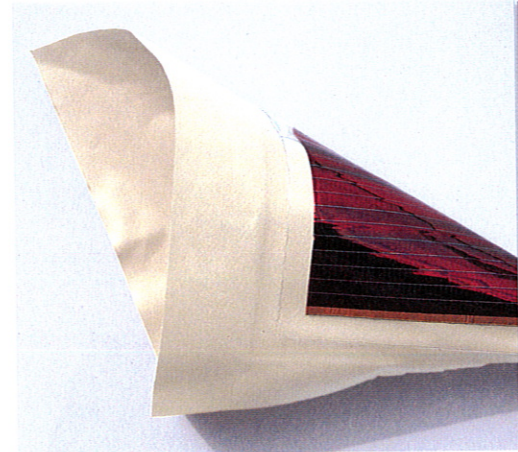
Jan Cremers

Membranwerkstoffe bieten für die Ausbildung weit gespannter, leichter Gebäudehüllen mit hoher Lichttransmission eine Unmenge an reizvollen Möglichkeiten. Die Vielfältigkeit der bis heute daraus hervorgegangenen Bauwerke belegt das enorme Potenzial von Hochleistungsmembranen und Folienwerkstoffen, welche in ihrer ursprünglichsten Erscheinungsform – dem Zelt – zu den ältesten der Menschheit gehören. Bisher gab es allerdings keine Lösung für die Integration von Photovoltaik in frei tragende textile Gebäudestrukturen, obwohl diese für den großflächigen Einsatz beispielsweise bei Stadionsdächern oder Flughäfen prädestiniert sind.

Mit »PV Flexibles« entwickelte die SolarNext AG eine Photovoltaiktechnologie, die es ermöglicht, Solarzellen direkt in Membranmaterial zu integrieren. Diese Technologie basiert auf hochflexiblen amorphen Dünnschichtsolarzellen, die in ETFE-Folien eingebettet sind. Langlebige Baustoffe wie ETFE-Folien oder PTFE-beschichtete Glasfasergewebe aus der Gruppe der Fluorpolymere stellen in der Praxis eine erprobte Lösung dar. Im Vergleich zu PVC-Membranen sind sie dauerhafter, UV-beständig und verfügen mit ihren »selbstreinigenden« Oberflächen über ein sehr günstiges Anschmutzverhalten.

Ohne zusätzliche Unterkonstruktion können PV Flexibles zum Beispiel bei einlagigen Dächern oder Fassaden zum Einsatz kommen. Sie können jedoch auch verwendet werden, um die obere Lage eines pneumatisch gestützten Folienkissens zu ersetzen. Photovoltaikmodule liefern in diesem Fall nicht nur Elektrizität, sondern sorgen auch für die ohnehin oft unerlässliche Verschattung. Dadurch kann die solare Erwärmung des Gebäudeinneren im Sommer und damit auch die Kühllast und der Energieverbrauch minimiert werden. Dieser Synergieeffekt erscheint wichtig, da er dazu beiträgt, die Wirtschaftlichkeit einer integrierten PV-Anlage zu verbessern.

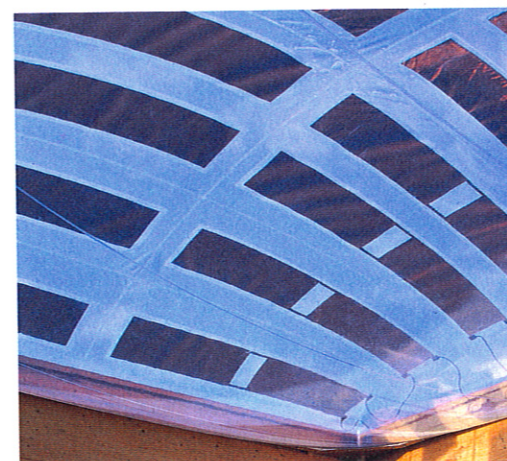
Die Entwicklung der Dünnschichttechnologie erfolgte an der Universität de Neuchâtel in der Schweiz. Inzwischen wird sie von der ausgegründeten Schweizer Firma VHF Technologies weiterentwickelt und auch eingesetzt. Dabei werden die Photovoltaikzellen in einem kontinuierlichen Produktionsprozess (Rolle-zu-Rolle-Verfahren) in mehreren Beschichtungsschritten auf das Polymer-Trägermaterial aufgebracht, wobei die Solarzellen am Ende eine Gesamtaufbaustärke von nur circa 1 µm aufweisen. Die Verwendung von kostengünstigen Polymeren als Substrat bedingt im Gegensatz zu den alternativen Trägermaterialien Glas oder Metallfolie eine sehr hohe Abscheidegeschwindigkeit und damit moderate Substrattemperaturen. Andernfalls würde es unweigerlich zu einer thermisch induzierten und hinderlichen Verformung des Substratmaterials kommen. Das Kosteneinsparpotenzial dieser Technologie ist gemäß einer Studie des weltgrößten Solarzellenherstellers Q-Cells allen anderen überlegen: Für 2010 können die Gesamtsystemkosten bis zu 70% niedriger sein als die aktuellen Kosten vergleichbarer Systeme.



PV Flexibles auf PTFE-Membranen  
*PV Flexibles on PTFE membranes*

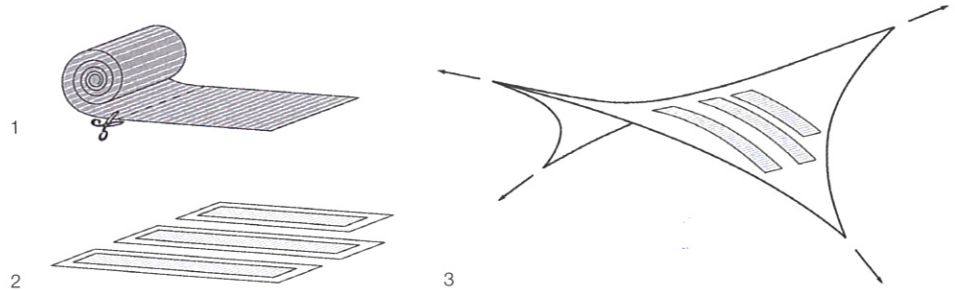


Prototyp einer pneumatischen Konstruktion  
*Prototype of a pneumatic structure*

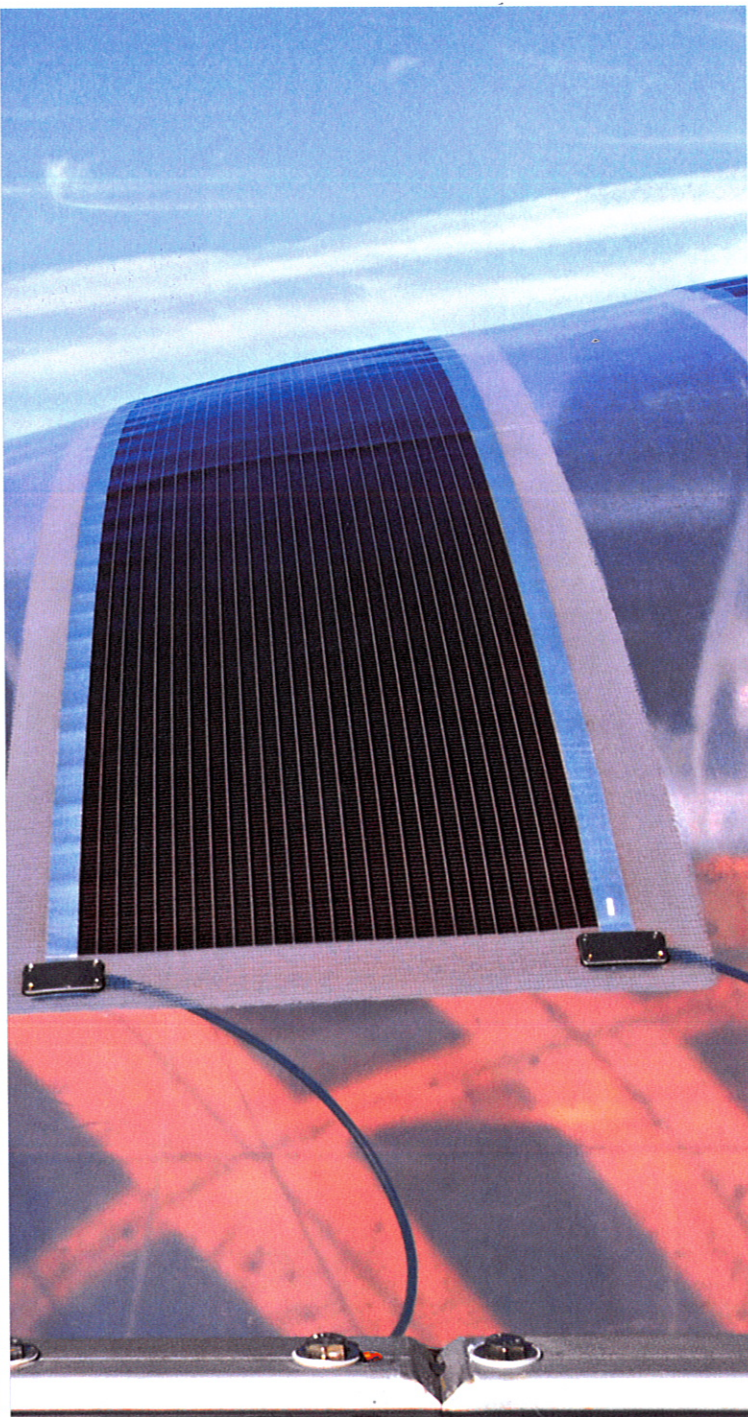


pneumatische Konstruktion, Innenansicht  
*Internal view of pneumatic structure*

- 1 Photovoltaikzellen (Rollenware)
- 2 Laminates
- 3 antiklastische Form einer integrierten Photovoltaik-PTFE-Membranstruktur mit aufgebrachtten Laminaten



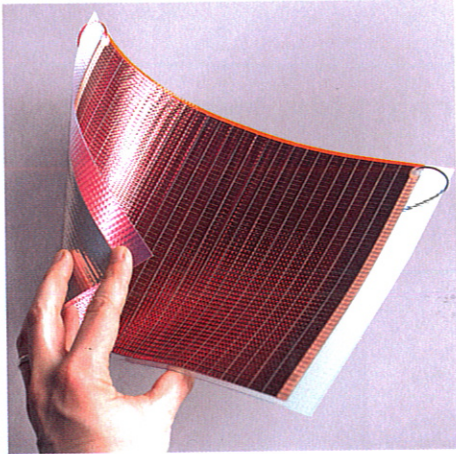
- 1 Photovoltaic cells (in rolled-sheet form)
- 2 Laminates
- 3 Anticlastic shape of an integrated photovoltaic-PTFE-membrane structure with applied laminates



Die mittels Dünnschichttechnologie hergestellten Photovoltaikrollen werden entsprechend den jeweils projektspezifischen Anforderungen abgelängt, ausgerichtet und zu Laminaten zusammengesetzt: Die Photovoltaikfolienschiicht ist dann zwischen zwei ETFE-Lagen unterschiedlicher Stärke eingebettet. Durch diese Kaschierung sind die Photovoltaikzellen wirksam vor mechanischen Belastungen und Spannungen, vor Feuchtigkeit und Bewitterung geschützt.

Derzeit wird die Größe der Module noch durch die Abmessungen der verfügbaren Laminiermaschinen bestimmt (etwa 3 m × 1,5 m). Abhängig davon, ob sie für Dächer oder Fassaden, als einlagige Konstruktion oder als mehrlagige Folienkissen benötigt werden, müssen die Laminates gegebenenfalls zu größeren Flächen kombiniert werden. Entsprechend der jeweiligen 3-D-Form werden die Kanten nach dem Zuschnitt in einem besonderen Schweißverfahren miteinander verbunden. Erst durch diesen Arbeitsschritt lassen sich die PV Flexibles in großflächige pneumatische Konstruktionen integrieren. Beim Einsatz in der mittleren Schicht, gleichsam im Inneren der Kissen, würde die Photovoltaik zwar optimal geschützt werden. Aufgrund der Lichtbrechungseffekte der oberen Folien-schicht und wegen der Aufheizung der absorbierenden mittleren Lage würde der Energieertrag jedoch zugleich verringert. Die Integration in der Oberlage des Kissens ist daher in jedem Fall zu bevorzugen.

*With its PV Flexibles, SolarNext AG has developed a form of photovoltaic technology that enables solar cells to be integrated directly into membrane materials. This technology is based on extremely flexible, amorphous, thin-film solar cells embedded in ETFE laminates. These are more durable than PVC membranes; they are resistant to UV-radiation; and they have a good resistance to soiling. PV Flexibles can be used for single-layer roofs and facades. They can also be substituted for the upper layer of pneumatically supported cushions. In situations such as these, photovoltaic elements serve not only to generate electricity; they also provide shade. The development of the relevant thin-film technology took place at the University of Neuchâtel in Switzerland and has since undergone further refinement by the Swiss company VHF Technologies, which also manufactures the resultant product. The solar cells have a total thickness of only about 1 µm, and the photovoltaic membrane is bedded between two ETFE layers of different thicknesses. This lamination process ensures that the cells are effectively protected against loads and stresses, as well as against moisture and weathering. Photovoltaic elements used in an intermediate layer or inside a cushion would be optimally protected, but the light-refracting effect of the upper film layer and the thermal gains that occur in the middle layer would result in a diminution of the energy yield. For that reason, it is preferable to integrate the photovoltaics in the outer layer of the cushion.*



4

Prof. Dr.-Ing. Jan Cremers ist Director Envelope Technology der SolarNext AG/ Hightex Group in Rimsting am Chiemsee und lehrt an der Hochschule für Technik in Stuttgart.  
www.solarnext.de

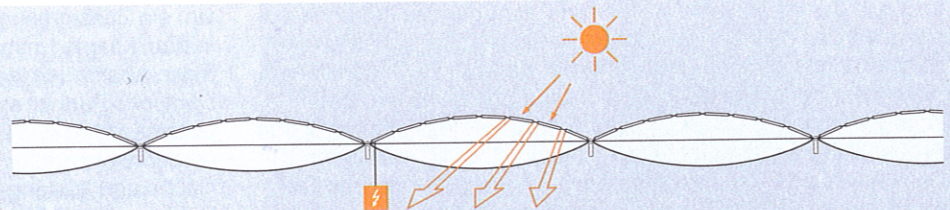
Prof. Dr.-Ing. Jan Cremers is director of envelope technology at the SolarNext AG/ Hightex Group in Rimsting on Chiemsee, Germany. He also teaches at Stuttgart University of Applied Sciences.

**Ertragsprognose:**

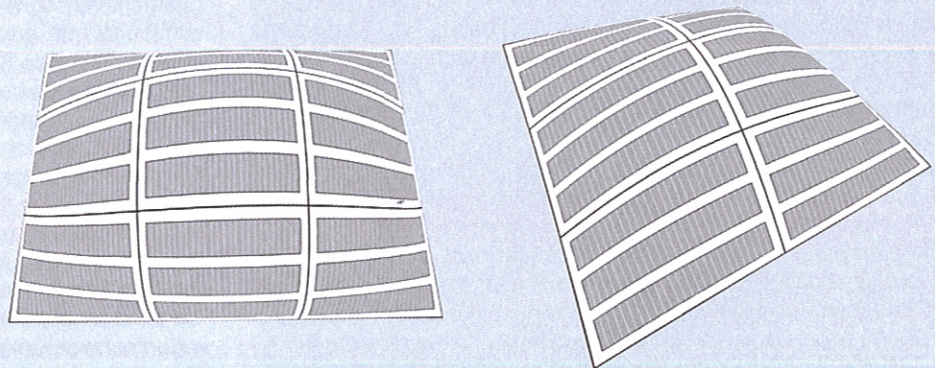
Die Vorhersage des Ertrags der in Membrankonstruktionen integrierten Photovoltaik ist im Vergleich zu konventionellen Photovoltaikmodulen aus folgenden Gründen weitaus komplexer:

- Die Anordnung der integrierten Photovoltaik Elemente erfolgt gemäß der Geometrie der aus unterschiedlichsten Architektürentwürfen resultierenden Dach- oder Fassadenstrukturen. Insofern existieren so gut wie keine Standardszenarien, welche eine vereinheitlichende, produktähnliche Entwicklung erlauben würden.
- Die Ausrichtung der einzelnen Photovoltaik Elemente zur Sonne kann selbst innerhalb eines Projektes enorm variieren: Die Formfindung von Folien oder Membranen – bestimmt durch die Gebäudegeometrie, die Unterkonstruktion und die Verteilung der Lasten – ist immer auch die bestimmende Geometrie für die Photovoltaik.
- Prinzipiell sollten die Oberflächen mindestens in eine, aber wesentlich besser noch in zwei Richtungen (antiklastisch) gekrümmt ausgebildet werden. Andernfalls wären sie statisch nicht stabil.
- Die komplexen, dreidimensionalen Formen erschweren zudem die Abschätzung möglicher Verschattungseffekte.

*Estimating the yield from a photovoltaic system within a membrane structure is a far more complex procedure than that for conventional photovoltaic modules. The reasons for this are that the geometry of the roof and facade structures varies from project to project, so that it is scarcely possible to create a uniform, standard product. The orientation of the photovoltaic elements in relation to the sun also varies within a single scheme. In addition, the surfaces should be curved in at least one direction and preferably in two (anticlastic), otherwise they will not be structurally stable. Finally, the complex, 3-D forms make it more difficult to assess possible shading effects.*



5

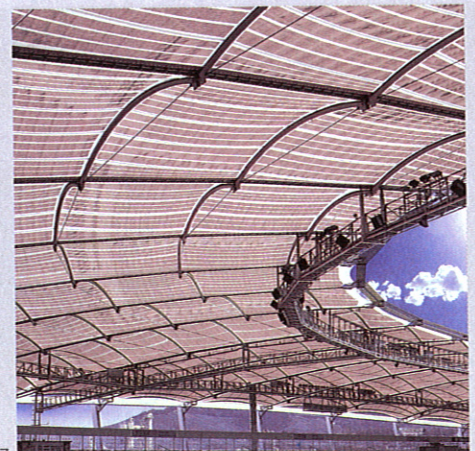


- 4 zwischen zwei Lagen ETFE-Folie einlamierte a-Si-Dünnschichtzellen
- 5 Photovoltaikintegration in Folienkissenkonstruktion – Einsatz in der Oberlage
- 6, 7 flexible Photovoltaik, integriert in eine große Membrankonstruktion (Photomontage Gottlieb-Daimler-Stadion, Stuttgart)

- 4 Amorphous silicon thin-film cells (a-Si) laminated between two layers of ETFE foil
- 5 Photovoltaic cells integrated in top layer of pneumatic membrane structure
- 6, 7 Flexible photovoltaic construction: integrated in a large membrane structure (photomontage of Gottlieb Daimler Stadium, Stuttgart)



6



7