

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

07/03/2014

**Projekttitle: PV-Folie als Halbzeug zur
Integration in Standardindustrieprozesse der
GIPV**

Projektnummer: 829922

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	4. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01/06/2011
Projektende	31/12/2013
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	31 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	crystalsol GmbH
AnsprechpartnerIn	Dr. Axel Neisser
Postadresse	Simmeringer Hauptstrasse 24, 1110 Wien
Telefon	+43 1 890 18 79 0
Fax	+43 1 890 18 79 99
E-mail	info@crystalsol.com
Website	www.crystalsol.com

PV-Folie als Halbzeug zur Integration in Standardindustrieprozesse der GIPV

GIPV-Folie

AutorInnen:

Dr. Axel Neisser

Ing. Christoph Glatz, MSc

Sebastian Moser, MSc

DI Christoph Waldauf

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	5
3.1	Ausgangssituation	5
3.2	Durchgeführte Arbeiten	7
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	10
5	Ausblick und Empfehlungen	12
6	Kontaktdaten	14

2 Einleitung

Neben den herkömmlichen Photovoltaikanlagen konnten sich vor allem in den letzten Jahren gebäudeintegrierte PV-Lösungen (GIPV) an großem Interesse erfreuen. Sie sind die Lösung der Zukunft – die Stromerzeugung wird selbstverständlicher Teil des Gebäudes. Fassaden- und Dachflächen stehen kostenlos zur Verfügung und eignen sich bestens, neben den eigentlichen Aufgaben einer Gebäudehülle, wie z.B. Witterungs- und Sichtschutz, auch die Funktion Stromerzeugung zu übernehmen (Multifunktionalität von GIPV-Modulen). Jedoch ist einerseits die Herstellung von GIPV-Modulen noch mit hohen Kosten verbunden und andererseits entsprechen die Module nur in seltenen Fällen den Anforderungen der Gebäudeintegration an die Ästhetik und Flexibilität.

Ziel des Projektes war es daher, ein PV-Halbzeug (eine PV-Folie) zu entwickeln, welches kostengünstig und unkompliziert in bestehende Herstellungsprozesse von Gebäudeelementen (Verbundgläser, Dachziegel, Fassadenelemente, usw.) integriert und verarbeitet werden kann. Eine derartige PV-Folie würde einerseits zu einer drastischen Kostenreduktion in der gebäudeintegrierten Stromversorgung führen und andererseits durch die einfache Integrierbarkeit in bestehende Industrieprozesse die GIPV weltweit revolutionieren und zu einer hohen Marktdurchdringung verhelfen.

Das Projekt behandelte prioritär den Themenschwerpunkt „3.6 Photovoltaik“, Subschwerpunkt „Photovoltaik“ des Ausschreibungsleitfadens. Da das Projektziel ein Photovoltaikhalbzeug bzw. eine Photovoltaikfolie war, welche sich sehr einfach und kostengünstig in die verschiedensten Gebäudeelemente (Isolierverglasung, Fassade, Fenster, usw.) integrieren lässt, wurde das Projekt vor allem dem Subschwerpunkt „3.6.1 Gebäudeintegration von Photovoltaik“ zugeordnet.

Um das Projektziel zu erreichen, wurde der Lösungsweg in 5 einzelne Phasen oder auch Arbeitspakete unterteilt. Die Abfolge der Arbeitspakete erfolgt entsprechend den im Arbeitspaket zu erwartenden Schwierigkeiten und den daraus zu erzielenden Lerneffekten.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Ausgangssituation

Die Gebäudeintegration von Photovoltaik (GIPV) bietet die einzigartige Chance, eine umweltfreundliche und dezentrale Energieversorgung mit einer architektonisch wertvollen Umsetzung zu verbinden. Fassaden- und Dachflächen stehen kostenlos zur Verfügung und eignen sich bestens, neben den eigentlichen Aufgaben einer Gebäudehülle, wie z.B. Witterungs- und Sichtschutz, auch die Funktion Stromerzeugung zu übernehmen. Die Synergien zwischen konventionellen Elementen der Gebäudehülle und Nutzung der Photovoltaik sind zum Teil erheblich.

Allerdings gibt es bis dato keine kostengünstigen GIPV-Module, die den Anforderungen der Gebäudeintegration hinsichtlich Ästhetik und Flexibilität entsprechen. Für einen breiten Einsatz und einer hohen Marktdurchdringung von GIPV sind aber folgende Punkte absolute Voraussetzung:

- Kostengünstig und wirtschaftlich attraktiv (unter Berücksichtigung von Kostensynergien zu herkömmlichen Fassaden- und Dachsystemen)
- Erfüllung architektonischer Anforderungen, wie hohe gestalterische Flexibilität in Transparenzgraden, Farben, Formen und bautechnischen Eigenschaften

Die heute am Markt angebotenen PV-Module stammen entweder aus unflexibler Massenfertigung und können somit die Anforderungen der modernen Architektur nur in den seltensten Fällen bzw. nur bei großer planerischer Rücksichtnahme auf die PV-Erfordernisse erfüllen oder sie stammen aus kundenspezifischer Einzelstück- und Kleinserienfertigung. Damit können die architektonischen Anforderungen immerhin zum Teil erfüllt werden, allerdings mit hohen zusätzlichen Kosten, womit der Einsatz zumeist noch auf Prestige- und Leuchtturmobjekte beschränkt bleibt.

Eine hohe Marktdurchdringung von GIPV kann somit nur dann erreicht werden, wenn die Stromerzeugung gleichsam als kostengünstige Zusatzfunktion von konventionellen Gebäudeelementen, wie z.B. von Verbundsicherheitsglas, Isolierglas oder Dachelementen, angeboten werden kann, ähnlich einer Funktionsbeschichtung für Sonnenschutz. Dazu bedarf es eines Photovoltaikproduktes, das problemlos und kostengünstig in die bereits kostenoptimierten Standardherstellungsprozesse für diverse Elemente der Gebäudehülle (z.B.: Glas-, Fassaden-, Dachelementen) integriert und verarbeitet werden kann. Zusätzlich könnten dadurch die bestehenden Vertriebslinien genutzt und weitere Kosteneinsparungen erreicht werden.

Mit anderen Worten ist ein Photovoltaikhalbzeug (eine „Photovoltaikfolie“) als Zwischenprodukt nötig, das die PV-Modulproduktion von der Herstellung der photoaktiven Schicht vollkommen entkoppelt und eine unkomplizierte Integration in bereits bestehende Industrieprozesse zur Herstellung von Fassaden- und Dachelementen ermöglicht.

Projektziel war es daher, ein Photovoltaikhalbzeug (eine PV-Folie) zu entwickeln, welches problemlos und kostengünstig in bereits bestehende Herstellungsprozesse von Gebäudeelementen (Verbundgläser, Dachelemente,...) integriert werden kann. Damit soll eine vollständige Entkopplung der PV-Modulproduktion von der Herstellung der photoaktiven Schicht erreicht und eine unkomplizierte und kostengünstige Integration in herkömmliche Industrieprozesse zur Herstellung von Fassaden- und Dachelementen erreicht werden. In diesem Forschungsprojekt lag der Schwerpunkt auf der PV-Integration in Verbundglaselemente.

Die zukünftige Anwendung der angestrebten Photovoltaikfolie wird sich allerdings keineswegs nur auf den Bereich der Verbundgläser beschränken.

Die Forschungsergebnisse werden eine wichtige Grundlage für die Umsetzung einer PV-Integration in praktisch allen Varianten der Gebäudehülle bilden:

- Fassadenelemente mit integrierter PV-Folie aus Glas, Aluminium, Stahlblechen, usw.
- Dachelemente mit integrierter PV-Folie (Stehfalzdächer, Dachziegel, Atrien, usw.)
- Sonnenschutzsysteme mit integrierter PV-Folie (nachgeführte oder feste Sonnenschutzsysteme, Lamellen, usw.)
- Brüstungselemente mit integrierter PV-Folie

3.2 Durchgeführte Arbeiten

Um das Projektziel zu erreichen wurde das Projekt in 5 einzelne operative Phasen oder auch Arbeitspakete unterteilt.

Arbeitspaket 1 (Anforderungen):

In einem ersten Schritt wurden die verschiedenen Produkte der Gebäudehülle, die sich für eine PV-Integration eignen, und deren Standardherstellungsprozesse eruiert. Dabei wurden, aufbauend auf das Wissen bei HEI Eco Technology GmbH, durch Recherchetätigkeiten und Firmengespräche eine solide Kenntnis der verschiedenen Prozessparameter und notwendigen Produkteigenschaften erreicht. Daraus wurde ein Anforderungsprofil für ein PV-Halbzeug erstellt, das alle Punkte hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Alterungsbeständigkeit umfasst.

Arbeitspaket 2 (PV-Halbzeug):

Im zweiten Arbeitspaket wurden auf Grundlage der im ersten Arbeitspaket ermittelten Anforderungen Laminationsmaterialien ermittelt, evaluiert und auf Kompatibilität mit der crystalsol Technologie überprüft. Des Weiteren wurde die Anbindung des zukünftigen Halbzeuges an das Produkt (Verbundglas) definiert. Erst danach wurden erste Herstellungsprozesse für das PV-Halbzeug entworfen, welche in einem weiteren Teilarbeitspaket versuchsorientiert analysiert und angepasst wurden. Am Ende des Arbeitspaketes 2 konnte die Herstellung eines ersten flexiblen, dünnen Halbproduktes realisiert werden.

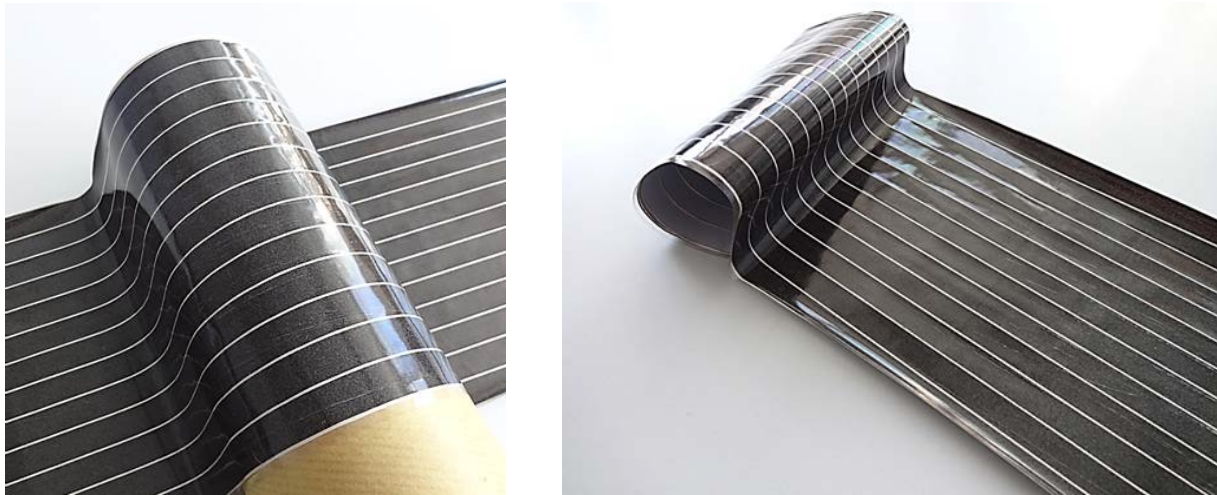


Abbildung 1: Flexibles dünnes Halbprodukt

Arbeitspaket 3 (Weiterverarbeitung):

Im Zuge des Arbeitspaketes 3 wurden die wesentlichen und kritisch erscheinenden Verarbeitungsschritte verschiedener Herstellungsprozesse anhand erster Funktionsmuster der PV-Halbzeuge durchlaufen. Die Ergebnisse wurden evaluiert und waren eine wichtige Grundlage für weitere Entwicklungsarbeiten.

Für die Laminationsversuche hat crystalsol einen Labor-Vakuumlaminator anfertigen lassen, welcher die grundsätzlichen Prozesseigenschaften eines Vakuum-Laminiervorganges labormaßstäblich abbilden kann. Dies ermöglichte eine unkomplizierte, zeitnahe und ökonomische Abwicklung der Versuche.



Abbildung 2: Laminator

Der Vakuumlaminator besteht aus zwei Kammern mit einer flexiblen dazwischenliegenden Membran. Die Evakuierung beider Kammern ermöglicht das Entweichen von Lufteinschlüssen während des Schmelzens des Verkapselungsmaterials. Anschließendes Belüften der oberen Kammer presst das Laminat zusammen (Laminiervorgang) und führt dann zum Verbund der Materialien.

Die Ist-Temperaturen des Laminators wurden mit einem geräteunabhängigen, beliebig platzierbaren Temperatursensor überprüft, um eine gleichmäßige Qualität des Laminierprozesses zu erzielen. Um Spannungen im Glasverbund aufgrund von Quetschungen an den Grasrändern zu vermeiden, wurde ein „Edge-Saver“ verwendet.

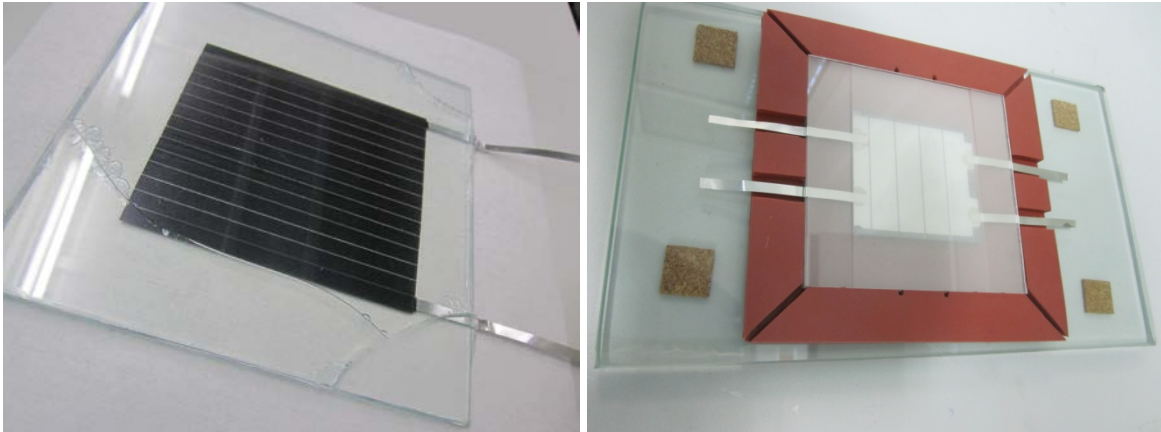


Abbildung 3: Flexible, zwischen 2 Glasscheiben verkapselte Solarfolie, links: ohne Edge-Saver (Glasbruch), rechts: mit Edge-Saver (vor der Lamination)

Die Kontaktierung erfolgte im ersten Ansatz mittels Silberleitkleber in Kombination mit Kupferbändern. Im weiteren Projektverlauf wurde der Silberleitkleber durch einen drucksensitiven leitfähigen Kleber ersetzt, welcher schon beschichtet auf einem Kupferband erhältlich war. Dies ermöglicht die einfache Kontaktierung der PV-Folie ohne den Einsatz punktueller Temperaturhärtung.

Die Verarbeitbarkeit der Halbprodukte wurde zum einen auf Zellebene aber auch auf ca. $5 \times 5 \text{ cm}^2$ Modulen getestet (siehe Abbildung 4).

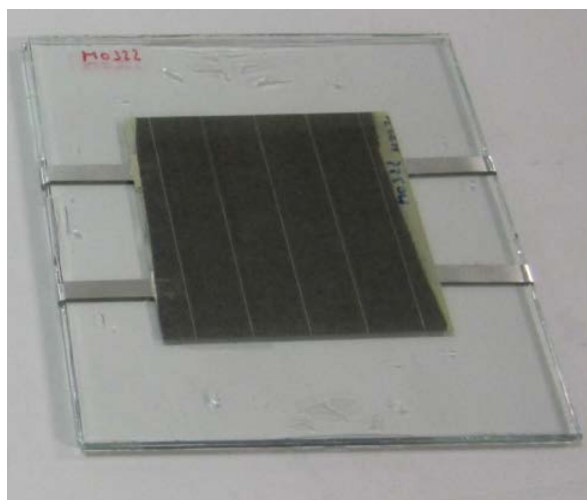


Abbildung 4: $5 \times 5 \text{ cm}^2$ Funktionsmuster

Arbeitspaket 4 (Zusatzversuche):

Im vierten Arbeitspaket „Zusatzversuche“ wurden die Möglichkeiten der Transparenzgrade und die Flexibilität der Abmessungen des PV-Halbzeuges bestimmt. Die Ermittlung der genannten Eigenschaften ist besonders wichtig, um den architektonischen Anforderungen, wie hohe gestalterische Flexibilität in Transparenzgraden, Formen und bautechnischen Eigenschaften, gerecht zu werden.

Hinsichtlich der Transparenzgrade wurde die Vergilbung des Vorderseitenstabilisierungspolymer untersucht. Im Zuge des Projektes wurde das transparente jedoch vergilbende Epoxidharz durch ein vergilbungsresistenteres UV-Polymer ersetzt. Des Weiteren wurden erste Versuche mit transparenten Rückkontakten durchgeführt, welche eine Grundvoraussetzung für halbtransparente Module sind. Diese müssen noch wesentlich optimiert werden, bevor über die Variation der Füllfaktoren von Monokörnern verschieden transluzente Module hergestellt werden können.

Arbeitspaket 5 (Charakterisierung):

Das Arbeitspaket 5 diente vor allem der Untersuchung der Materialwechselwirkungen und Alterungsprozesse im PV-Halbzeug. Untersuchungen hinsichtlich der Langzeitstabilität wurden in einem Klimaschrank durchgeführt. Die Wasserdampfdurchlässigkeit des Laminats wurde im Damp-Heat-Test (85°C/85% rel. Feuchtigkeit) verfolgt und mit dem Verhalten im Dry-Heat-Test (85°C/trocken) verglichen. Somit war es möglich, eine von etwaigen Halbleiterinstabilitäten unabhängige Beurteilung der Verkapselungsdichtheit zu realisieren.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Zuge des Projektes konnte ein Halbzeug entwickelt werden (siehe Abbildung 5), welches sich mittels Laminierprozess in einen Glasverbund integrieren lässt. Hierfür wurde ein Vakuum laminierprozess bei crystalsol nachgebildet. Auf Basis der durchgeführten Recherchen wurden Laminationsversuche durchgeführt.

Eine der Herausforderungen bestand in der Definition des Halbzeug-Aufbaus. Als Ergebnis kann ein im Rolle-zu-Rolle fertigbares flexibles PV-Halbprodukt vorgezeigt werden, welches die für alle nachfolgenden Kontaktier- und Verkapselungsprozesse erforderliche mechanische Stabilität aufweist und sich insbesondere in einem Laminierprozess weiter verarbeiten lässt.



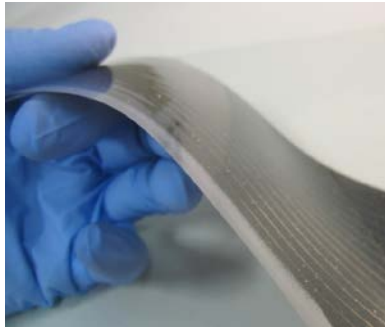


Abbildung 5: Flexibles dünnes Halbprodukt, Demonstration der Flexibilität und Biegsamkeit

Die in Arbeitspaket 3 durchgeführten Versuche zur Weiterverarbeitbarkeit des PV-Halbzeugs wurden in crystalsol's Vakuumlaminator durchgeführt. Der Einfluss des Laminierens auf die Zelleffizienz ist bei ausreichend guter Halbleiterqualität und entsprechend optimierten Laminationsparametern sehr gering. Des Weiteren konnte eine große Flexibilität hinsichtlich der Abmessungen des PV-Halbzeugs nachgewiesen werden. Bei größerer Breite erhöht sich die Spannung aufgrund der ansteigenden Anzahl von in Serie geschalteten Zellen. Die Länge hingegen hat Einfluss auf den erzeugten Strom. Die Breite der monolithisch verschalteten Zellen bestimmt den Serienwiderstand des Frontkontaktes und liegt zwischen 6 - 12 mm.

Ein Vorteil des PV-Halbzeugs ist, dass es unabhängig vom Verkapselungsprozess gefertigt werden kann. Um eine Lagerung in aufgerolltem Zustand zu ermöglichen und es für den Laminationsprozess erst bei Bedarf verwenden zu können, ist es notwendig, dass es gegen Biegung weitestgehend unempfindlich ist. Die Biegsamkeit flexibler Funktionsmuster wurde mit 500 Biegungen mit einem Radius von 100 mm getestet und keine nennenswerte Verschlechterung der Effizienz festgestellt. Auch kleinere Radien sind durchaus möglich.

Bezüglich der Transparenzgrade des PV-Halbzeugs liegt die hauptsächliche Limitierung noch in der Leitfähigkeit der transparenten oder halbtransparenten Rückkontakte. Hier wurden erste Recherchen und Versuche durchgeführt, jedoch konnte im Projektzeitraum noch keine zufriedenstellende Lösung gefunden werden, welche annähernd vergleichbare Leitfähigkeiten zu den momentan verwendeten nicht-transparenten Kontaktpasten hat.

Zur Entwicklung des Halbproduktes wurden im Zuge des Projektes verschiedene transparente Polymere auf Ihre Eignung als Frontseitenstabilisierungsmaterial untersucht. Es zeigte sich, dass nicht jedes Polymer geeignet ist. Mit zum Beispiel Silikon oder auch Polyurethanen konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Durch experimentelle Versuche und Untersuchungen (z.B. der Beeinflussung der Frontkontaktleitfähigkeit durch das Frontseitenstabilisierungspolymer) ist es im Zuge des Projektes gelungen, nicht nur ein geeignetes Material zu finden, sondern auch den Aufbau und die Verarbeitung des Halbzeuges so zu gestalten, dass dieses mit einem vergleichsweise einfachen Prozess hergestellt werden kann.

Zusätzlich konnte mittels Recherchen und Zusammenarbeit mit Zulieferfirmen von Verkapselungsmaterialien ein Vakuumlaminationsprozess bei crystalsol aufgesetzt werden, der zu zufriedenstellenden Ergebnissen hinsichtlich der Dichtheit von Glas-Glas-Modulen geführt hat. Im Zuge der Versuche wurde festgestellt, dass die Gleichmäßigkeit der Verpressung bezüglich Glasbruch entscheidend ist. Die Stabilität gegenüber während des Laminationsprozesses auftretender Scherkräfte wurde ebenfalls untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass Laminationsparameter und Aufbau des Halbproduktes einen entscheidenden Einfluss auf das erzielbare Ergebnis haben.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind essentiell für die Weiterentwicklung der Technologie. Mit den Erfahrungen sollte ein relativ unproblematisches Hochskalieren der im Zuge des Projektes nur kleinmaßstäblich durchführbaren Versuche möglich sein. Die gestalterische Freiheit, die durch das realisierbare Halbzeug gewonnen wurde, stellt eine gute Basis für die weitere Entwicklung in Richtung gebäudeintegrierbarer Photovoltaik dar.

5 Ausblick und Empfehlungen

Der erfolgreiche Abschluss des Projektes ermöglicht es nun crystalsol die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen der Aufskalierung des Produktionsprozesses, sowie der Modulgrößen in ein vermarktbare Produkt überzuführen. Auf der Grundlage einer stetig verbesserten Herstellungstechnologie wird sich crystalsol mehr und mehr der Entwicklung von maßgeschneiderten Photovoltaiklösungen zuwenden. Die wesentliche Richtung zur Weiterentwicklung des Produktes wird dabei einerseits von den spezifischen Anforderungen der Kunden im Bereich Gebäudeintegration vorgegeben, andererseits durch die einschlägigen industriellen Standards in diesem Segment.

Ein inhärenter Vorteil der crystalsol Drucktechnologie ist es, dass Anpassungen in Form, Größe und Farbe der zu druckenden Schichten ohne aufwendige Veränderungen an den Produktionsanlagen möglich sind. Das ist ein entscheidender Vorteil gegenüber herkömmlichen Photovoltaiktechnologien, der es crystalsol erlaubt, Lösungen für Anwendungsfelder zu entwickeln, die heute für die Photovoltaik noch nicht erschlossen werden können. Ein Beispiel ist die direkte Integration der Folie auf Betonflächen, die Applikation von photovoltaischen Folien auf bereits bestehende Elemente der Gebäudehülle (Dachbahnen, Fassadenelemente, ...) ohne Einbußen in der Flächenausnutzung und Ästhetik oder die Erschließung von gekrümmten Oberflächen unterschiedlichster Baukörper.

Internationale Standards, wie die IEC 61646 „Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval“ und IEC 61730 „Photovoltaic (PV) module safety qualification“ werden neben den nationalen bautechnischen Anforderungen die Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung des Produktes vorgeben. (Beispiele für bautechnische Anforderungen sind die Normen DIN VDE 0126-21 „Photovoltaik im Bauwesen“, ÖNORM B 3716 Beiblatt 1 „Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau“ und ÖNORM M7778 „Montageplanung und Montage von thermischen Solarkollektoren und Photovoltaikmodulen“). Die technologischen Herausforderungen liegen hier vor allem in Bereich der Langzeitstabilität des Produktes, der Kompatibilität mit anderen Baustoffen sowie der mechanischen und elektrischen Schnittstellen zwischen Photovoltaikfolie und Gebäude.

Ein weiterer Schwerpunkt gegenwärtiger und zukünftiger Entwicklungsanstrengungen liegt im Bereich flexibler, transparenter Barrierefolien für die Verkapselung. Heutige Folien bestehen aus einem

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Mehrschichtstapel organischer und anorganischer Materialien, deren Herstellung zum Teil unterschiedliche Vorkonditionierungs- und Beschichtungstechnologien erfordert. Die damit verbundenen Kosten sind heute noch deutlich höher als für starre Verkapselungsmaterialien wie z.B. Glas. Die Verringerung der Komplexität dieser Schichten bei gleichzeitigem Erhalt der Barrierewirkung ist ein zentrales Thema im Bereich flexibler Photovoltaik und bedarf nach wie vor hoher Anstrengungen sowohl in der akademischen als auch in der industriegeführten Forschung und Entwicklung. Darüber hinaus ist es erforderlich, hochproduktive Herstellungsprozesse für die flexible Photovoltaik zu entwickeln, die mit der einzigartigen crystalsol Technologie kompatibel sind. Das ist nicht in jedem Fall gegeben und erfordert die Entwicklung neuer, innovativer Ideen im Bereich der Druck- als auch Laminieretechnik.

Grundsätzlich existieren in den oben aufgeführten Bereichen heute noch keine etablierten Standardlösungen, auf die zurückgegriffen werden kann. Stattdessen setzt crystalsol hier auf die internen Entwicklungskapazitäten, auf die Kooperation mit diversen österreichischen Knowhow Trägern in der PV-Branche, insbesondere auf die Zusammenarbeit mit FuE Partners aus der TPPV¹, als auch auf direkte Kooperationen mit zukünftigen Kunden/Anwendern der Technologie.

¹ Die Technologie Plattform Photovoltaik (TPPV) ist die Plattform für Forschung und Innovation der österreichischen Photovoltaikindustrie, siehe <http://tppv.at/>

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

6 Kontaktdaten

Ing. Christoph Glatz, MSc

crystalsol GmbH

Simmeringer Hauptstraße 24, 1110 Wien, Phone: +43 1 890 18 79 0, Fax: +43 1 890 18 79 99

info@crystalsol.com

www.crystalsol.com