

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Projektdaten

Kurztitel	Flexible PV-Systeme
Langtitel	Hochbarrierematerialien zum Schutz sensibler Dünnschichtsolarzellen und Verfahren zur Rolle zu Rolle-Herstellung flexibler PV-Module und PV-Dachbahnen
Programm/Programmlinie	Neue Energien 2020 2 Ausschreibung
Antragsteller	ISOVOLTAIC AG DI Dr. Albert K. Plessing / Dr. Christina Schinagl / Dr. Harald Muckenhuber
Projektpartner	FLISOM AG RENOLIT Belgium N.V. ISOSPORT GmbH AIT Energy (ÖFPZ Arsenal)

1) Einleitung

Aufgabenstellung

Die Produktentwicklung von flexiblen, witterungsbeständigen Hochbarrierematerialien zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen, die nachfolgende Rolle-zu-Rolle Fertigung von flexiblen Solarmodulen und anschließende Rolle-zu-Rolle Laminierung dieser flexiblen Module auf Dachbahnen ermöglicht eine innovative und ressourcenschonende Produktion von Photovoltaik Modulen. Große Mengen von flexiblen PV Dachbahnen können so effizient und qualitativ hochwertig hergestellt und verbreitet werden. Flexible PV Module können gebäudeintegriert, beispielsweise als rollbare Beschattungselemente, Anwendung finden.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

Schwerpunkte des Projektes

Im Zuge des Projekts sollten einerseits neue Hochbarriereprodukte zum Schutz sensibler Dünnschichtsolarzellen entwickelt werden und andererseits ein Herstellungsprozess sowie ein geeignetes Monitoringsystem dafür gefunden werden.

Produktentwicklung: Ziel war es mechanisch belastbare, flexible und UV beständige Einkapselungsmaterialien mit sehr guten Barrierewerten für Wasserdampf und für Sauerstoff zu entwickeln und diese anschließend durch Verwendung von geeigneten Einbettungsmaterialien mit dem jeweiligen Zelltyp sowie der Dachmembran dauerhaft zu verbinden.

Die von FLISOM hergestellten CIGS-Module sind empfindlich auf Wasserdampf und Sauerstoff, welche durch Diffusion im Einsatz die Leistungsfähigkeit vermindern können.

Hochbarrierematerialien sind daher zur hermetischen Versiegelung unerlässlich. Jedoch auch die Haftung der Schichten zueinander muss gewährleistet sein, weshalb die Definition und Austestung geeigneter Einbettungsmaterialien, abgestimmt auf den jeweiligen Zelltyp, notwendig ist.

Prozessentwicklung und Monitoring: Es galt einen Prozess zur Rolle-zu-Rolle Einkapselung von flexiblen Solarzellen bzw. in weiterer Folge zur Herstellung von PV Dachmembranen, welcher auf alle Einflussfaktoren wie Einkapselungsmaterial, Zelltypus, Einbettungsmaterial, Verbindung mit der Dachmembran hin optimiert ist, zu entwickeln. Eine ständige Überwachung der Produktion hinsichtlich Verbesserung und in weiterer Folge Kontinuität der Produktqualität war dafür notwendig, um einen Effizienzverlust zu vermeiden.

Einordnung in das Programm

Energiestrategische Ziele

- Sicherstellung der Kriterien der Nachhaltigkeit: ökonomisch, ökologisch und sozial dauerhaft
- Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz
- Reduktion der Importabhängigkeit bei Energieträgern
- Reduktion des Energiebedarfs durch verbraucherseitige Maßnahmen
- Aufbau und Sicherung langfristig klimaschützender Raum- und Wirtschaftsstrukturen
- Verbesserung des Wissens über langfristige Entwicklungen, ihre Kosten und Wirkungen

Das vorliegende Projekt trägt zur Sicherstellung der Kriterien der Nachhaltigkeit in mehrfacher Weise bei. Einerseits wird durch die effiziente Rolle-zu-Rolle Herstellung flexibler Solarmodule eine Kostenreduktion von Solarstrom realisiert – dies führt zu einer schnelleren Kostenparität und damit Rentabilität dieser regenerativen Energie im Verhältnis zu konventionell erzeugtem Strom.

Die Möglichkeit die flexiblen Zellen einfach und kostengünstig in neuen Applikationen, wie der Gebäudeintegration, großflächig einzusetzen kann der Photovoltaik zu einem weiter gesteigerten Wachstum verhelfen.

Die Verwendung von dezentral hergestelltem Solarstrom bedeutet natürlich auch eine Reduktion der Importabhängigkeit von elektrischer Energie.

Des Weiteren wird durch die neuartigen Solarmodule, insbesondere der flexiblen PV-Dachhaut, eine Möglichkeit zur einfachen Integration von Photovoltaik in Gebäude bereitgestellt. Speziell auf bisher ungenutzten Industriedächern kann so elektrische Energie generiert werden und eine teilweise Energieautarkie realisiert werden.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

Im Sinne des Programms „Neue Energien 2020“ soll insgesamt ein geschlossener Kreislauf realisiert werden:

- Rationelle Rolle-zu-Rolle Herstellung neuartiger Einkapselungsmaterialien für Solarzellen
- Rationelle Rolle-zu-Rolle Einkapselung von Rollen-Solarzellen
- Rationelle Rolle-zu-Rolle Herstellung der photovoltaischen Dachhaut
- Die PV-Dachhaut erzeugt wieder elektrische Energie für die Herstellung der Einkapselungsmaterialien und die Rolle-zu-Rolle Einkapselung

Systembezogene Ziele

- Reduktion des Verbrauchs fossiler und nuklearer Energieträger
- Erschließung von Ressourcen erneuerbarer Energieträger
- Verbesserung der Umwandlungseffizienz
- Entwicklung von Schlüsseltechnologien
- Herstellung einer Optionenvielfalt bei Technologien und Energieträgern
- Multiplizierbarkeit, Hebelwirkung und Signalwirkung
- (Kosten-)Effizienz der Treibhausgasreduktion: Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent pro Jahr, über die Kyoto-Periode und über die technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition

Die Entwicklung flexibler Solarzellen und damit flexibler Photovoltaikmodule stellt einen wichtigen Schritt für die Nutzung von Solarenergie dar. Zum einen werden dadurch vollkommen neue Anwendungen realisierbar, die mit herkömmlichen, starren Solarmodulen nicht denkbar sind, zum anderen können zur Herstellung solcher flexibler Solarmodule effiziente und kostengünstige kontinuierliche Produktionsprozesse eingesetzt werden.

Für den Schritt vom starren zum flexiblen Solarmodul wird ein transparentes Folienmaterial benötigt, welches die starre Glaseinkapselung ersetzt und die extrem hohen Qualitätsanforderungen erfüllt. Insbesondere sind die meisten in flexiblen Solarzellen eingesetzten Aktivmaterialien sensibel gegenüber Umwelteinflüssen, wie zum Beispiel Sauerstoff und/oder Wasserdampf. Daher ist die Entwicklung zuverlässiger transparenter Hochbarrierematerialien eine Schlüsseltechnologie zur Realisierung solcher flexibler Solarmodule. Der Einsatz geeigneter Einkapselungsmaterialien wird eine drastische Verlängerung der Lebenszeiten der verschiedenen flexiblen Solarzellen bewirken – damit kann natürlich die gesamte Energiebilanz der Module deutlich verbessert werden. Außerdem ist durch den Einsatz kontinuierlicher, reproduzierbarer Prozesse in der Herstellung der Solarmodule auch mit einer Verbesserung der Modulwirkungsgrade zu rechnen.

Flexible Solarmodule können in neuartigen Anwendungen, insbesondere in der Gebäudeintegrierten Photovoltaik (GIPV), eingesetzt werden. Durch die neue Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten gewinnt die Photovoltaik an Interesse für Architekten. Die Kombination flexibler Module mit einer konventionellen Dachbahn wiederum ermöglicht eine besonders einfache und kostengünstige Integration von Photovoltaik in Gebäude, speziell in Industriekomplexe.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

Technologiestrategische Ziele

- Unterstützung von Innovationssprüngen
- Erhöhung des inländischen Wertschöpfungsanteils im Energiesystem
- Forcierung von Kooperationen und Partnerschaften zwischen Wissenschaft und Wirtschaft
- Stärkung der Technologiekompetenz österreichischer Unternehmungen
- Verstärkung interdisziplinärer Kooperationen und des Systemdenkens
- Verstärkung internationaler Kooperationen und Ausbau der internationalen Führungsrolle
- Förderungen von Qualifikationen im Energie- und Klimaschutzbereich und Ausbau des Forschungsstandortes
- Generierung von Sekundärnutzen bzw. Spin Offs durch eine Technologie

Die Herstellung flexibler Solarmodule mit neuartigen Hochbarrierematerialien unter Einsatz effizienter und kostensparender kontinuierlicher Produktionsprozesse stellt einen Innovationssprung für die Solarbranche dar. Durch diesen Schritt wird einerseits eine deutliche Kostensenkung für Solarstrom möglich gemacht, andererseits eröffnen diese neuen Produkte neue Anwendungen und Märkte für die Photovoltaik.

Allerdings bedingt die komplexe Aufgabenstellung des Projekts Know-How von Experten aus den verschiedensten Bereichen, wie der Solarzellentechnologie, Einkapselungsmaterialien, Barrierebeschichtungen, Rolle-zu-Rolle Prozesse, Kunststoffdachbahnen, Solarmodulbau etc. Dieses Wissen wird durch das ausgewählte internationale Projektkonsortium bereitgestellt. Des Weiteren wird mit renommierten wissenschaftlichen Partnern, wie dem AIT, kooperiert, was eine Stärkung der wissenschaftlichen- und technologischen Kompetenz in Österreich zur Folge hat.

Des Weiteren sind solche Barrierefolien nicht nur für die Einkapselung von Solarzellen von großem Interesse, sondern werden auch als Schlüsselkomponente zur Herstellung flexibler (organisch) elektronischer Bauelemente, wie zum Beispiel OLED Displays und Beleuchtungselemente, organische Sensoren oder Elektrolumineszenzelemente, angesehen.

Aufbau und Methodik des Projektes

Im Rahmen dieses Projekts sollte die Entwicklung von Hochbarrierematerialien zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen in einem mehrstufigen Rolle-zu-Rolle Prozess integriert werden. Denn nur so kann eine effiziente Rolle-zu-Rolle Herstellung von flexiblen Einkapselungsmaterialien realisiert werden. Eine für diesen Prozess definierte Qualitätskontrolle in Form von Permeationsmessungen überwacht die Herstellung der Mehrschichtbarriereverbunde. Ein kontinuierlicher, qualitativ gesteuerter Prozessablauf ist Garant für ein hochwertiges und langlebige Produkt.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

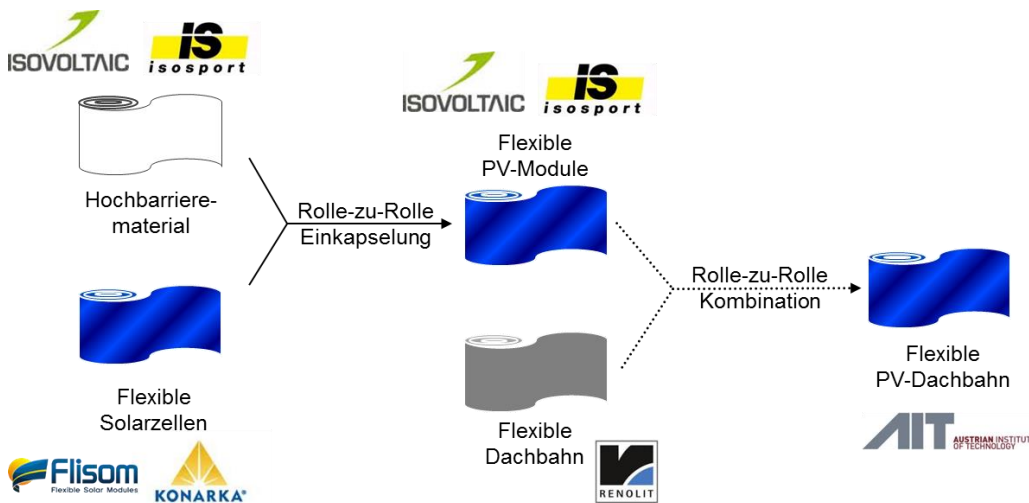


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Rolle-zu-Rolle Einkapselung.

Im vorliegenden Projekt mussten deshalb sehr viele Entwicklungen und Untersuchungen an den Einzelkomponenten im diskontinuierlichen Prozess durchgeführt werden, bis diese dann zu einem funktionierenden Gesamtprozess vereint werden konnten (Abbildung 1). Deshalb wurden parallel Hochbarrierematerialien entwickelt und untersucht, sowie verschiedenste Einkapselungsmaterialien hinsichtlich ihrer Haftung zu CIGS-Zellen überprüft. Anschließend wurde das erlangte Wissen auf den kontinuierlichen Prozess übertragen werden und somit das Gesamtkonzept für eine kostengünstige, langlebige, flexible photovoltaische Dachhaut realisiert werden.

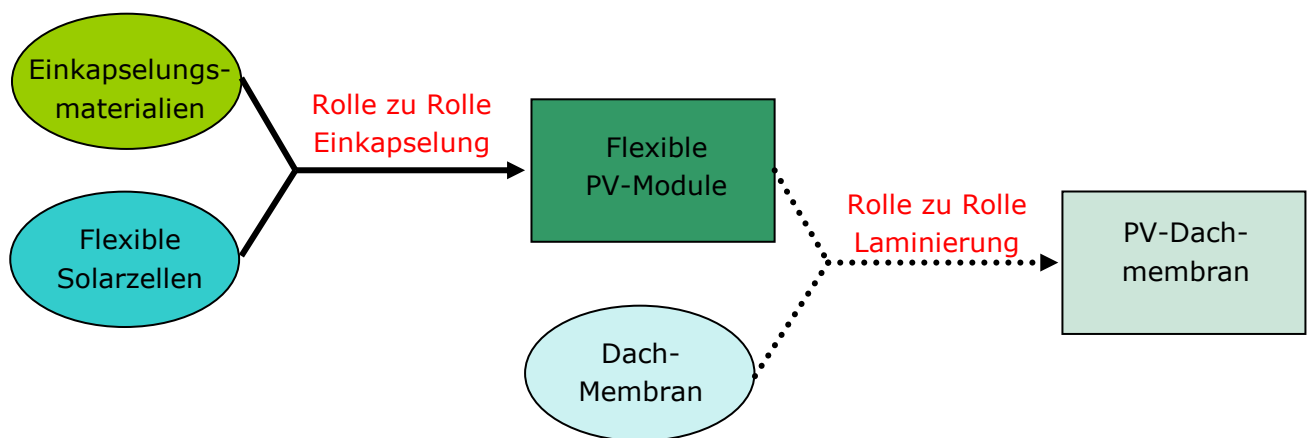
2) Inhaltliche Darstellung

Die Zielsetzung des Projekts war dabei die Entwicklung von Materialien und Prozessen für die R2R-Fertigung von flexiblen PV-Modulen unter Verwendung von Dünnschicht-Solarzellen. Im Detail wurden folgende Ziele angestrebt:

- **Produktentwicklung**
 - Entwicklung von mechanisch belastbaren, flexiblen und UV-beständigen Einkapselungsmaterialien unter Berücksichtigung der Barriereanforderungen der eingesetzten Zelltypen.
 - Entwicklung von verbesserten Barriereigenschaften unter Einbeziehung von anorganisch-organischen Hybridschichten und metalloxidischen Schichten.
 - Definition der Einbettungsmaterialien, abgestimmt auf Zelltypus, um eine dauerhafte Verbindung zu erreichen.
 - Verbesserung und Adaptierung des Herstellungsprozesses des entwickelten Hochbarrierematerials. Erreichung der für sensible, flexible Solarzelltechnologien notwendigen Barriere- und Materialeigenschaften im industriellen Produktionsmaßstab.
- **Prozessentwicklung & Monitoring**
 - diskontinuierliche Einkapselung (Batch-Verfahren) funktioneller, flexibler Dünnschichtsolarzellen (flexible CIGS-Technologien) mit Hochbarrierematerialien durchführen und evaluieren.

- Verbesserung der diskontinuierlichen Einkapselung.
- Rolle-zu-Rolle Einkapselung der flexiblen PV Module zur Herstellung photovoltaischer Dachbahnen und anderer gebäudeintegrierbarer photovoltaischer Lösungen.
- Verbesserung bzw. Adaptierung des kontinuierlichen Einkapselungsprozesses.
- Definition einer Methode zur Untersuchung der Barrierewirkung des Einkapselungsmaterials vor, während und nach dem Rolle-zu-Rolle Prozess.
- Konzeptionierung des Messsystems für das Langzeitmonitoring der hergestellten flexiblen PV-Module und PV-Dachbahnen

Prozessschema zur Kombination der einzelnen Komponenten im R2R-Prozess:



3) Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projektes

Im Rahmen des Projekts wurden die geeigneten Materialkombinationen für die Herstellung eines Hochbarrierematerials untersucht und festgelegt. Auf dieser Grundlage wurden Maschinenversuche zur Herstellung eines Hochbarrierematerials durchgeführt und so ein flexibles, transparentes Material in einer Breite >1000mm erhalten, welches für R2R Einkapselungsversuche in weiterer Folge verwendet wurde.

Parallel wurden Einbettungsmaterialien für flexible Solarzellen entwickelt, die speziell auf CIGS-Zellen abgestimmt waren. Diese thermoplastischen Folien wurden ebenfalls auf Breiten >1000mm hochskaliert, um für R2R-Prozesse verfügbar zu sein.

Es wurde eine grundlegende Recherche zur Findung neuer geeigneter Materialien für die Entwicklung eines flexiblen, transparenten Hochbarriereverbunds betrieben. Dabei haben sich Hybridpolymere für die Verwendung als Siegelschicht als von Interesse erwiesen. Sie zeichnen sich durch zwei besondere Effekte aus, welche für die Weiterverarbeitung von großer Bedeutung sind: einerseits der Planarisierungseffekt, welcher eine weitere Anbindung an Materialien stark vereinfacht und vorhandene Cracks in der darunterliegenden Metalloxidschicht (MeOx) verschließt, und andererseits ein Synergieeffekt durch den ähnlichen chemischen Aufbau der benachbarten Schichten, welcher zu einer besseren Haftung führt.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

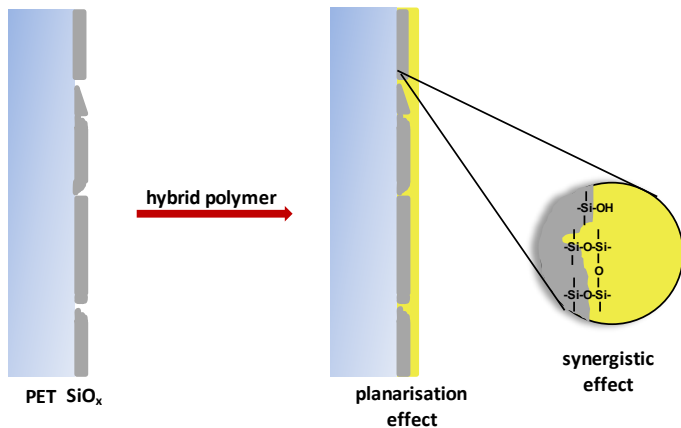


Abbildung 2: Planarisierung einer PET SiOx-Schicht durch ein Hybridpolymer

Durch die Kombination mehrerer Lagen von PET-SiOx incl. Hybridpolymerbeschichtung zu Barriereverbunden wurde ein Material geschaffen, welches die Barriereanforderungen von CIGS-Solarzellen erfüllt. Die Kombination mit weiteren witterungsbeständigen Folien ermöglicht eine entsprechende Langlebigkeit bei beschleunigten Alterungsprüfungen oder in der Freibewitterung.

Solche Materialverbunde wurden im Labormaßstab entwickelt und kontinuierlich bis zum Pilotmaßstab hochskaliert.

Desweiteren wurden im Rahmen des Projekts die zusätzlich erforderlichen Einkapselungsmaterialien entwickelt. Dies erfolgte ebenfalls vom Labor- bis zum Pilotmaßstab. Hier ist im Besonderen die Abstimmung des Transmissionsverhaltens auf die CIGS-Zellen von hoher Relevanz. Im Rahmen des Projekts wurden Möglichkeiten geschaffen dieses Transmissionsverhalten in weiten Bereichen zu variieren, wie Abbildung 3 (auch im Vergleich zu EVA-Folie) zeigt.

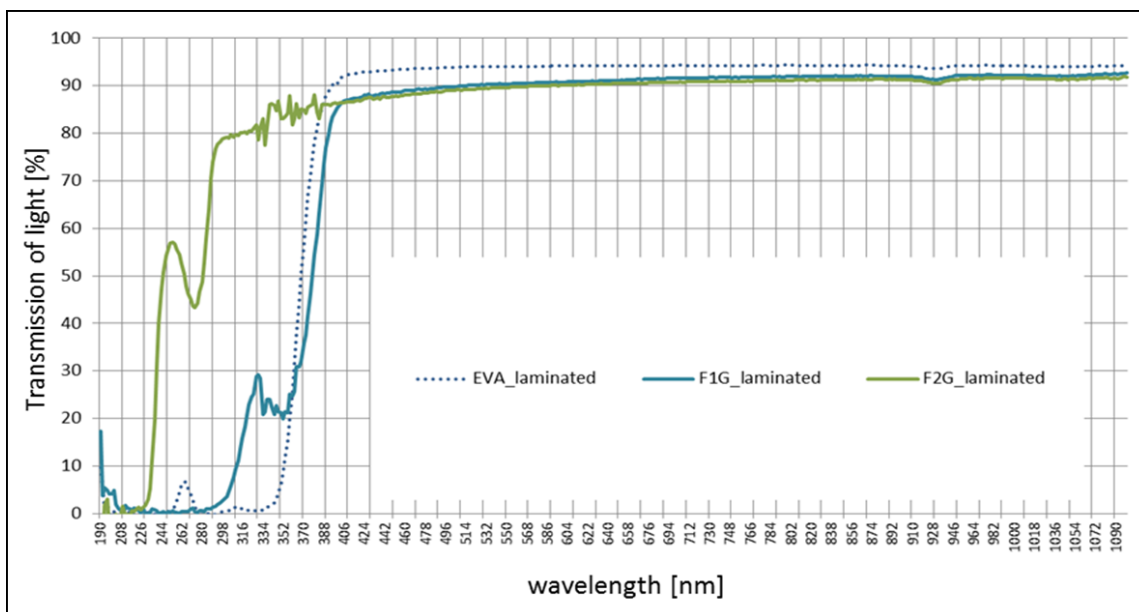


Abbildung 3: Vergleich der Transmissionskurven von EVA und zweier verschiedener Einbettungsmaterialien

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

Die Kombination aller Materialien mit flexiblen CIGS-Zellen erfolgte in Batch-Prozessen sowie auch kontinuierlich auf einer entsprechenden Pilotanlage. Umfangreiche Entwicklungen und Anpassungen im Bereich der Produktionsparameter waren hierzu erforderlich.

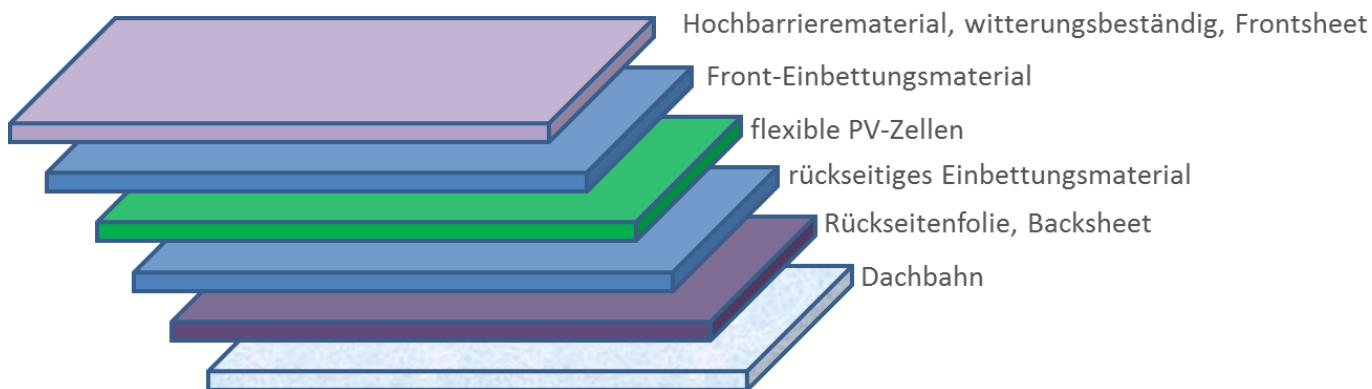


Abbildung 4: schematischer Aufbau eines flexiblen PV-Modules incl. Dachbahn

So konnten im Rahmen des Projekts erfolgreich flexible CIGS-Module in einem R2R-Prozess gefertigt werden.

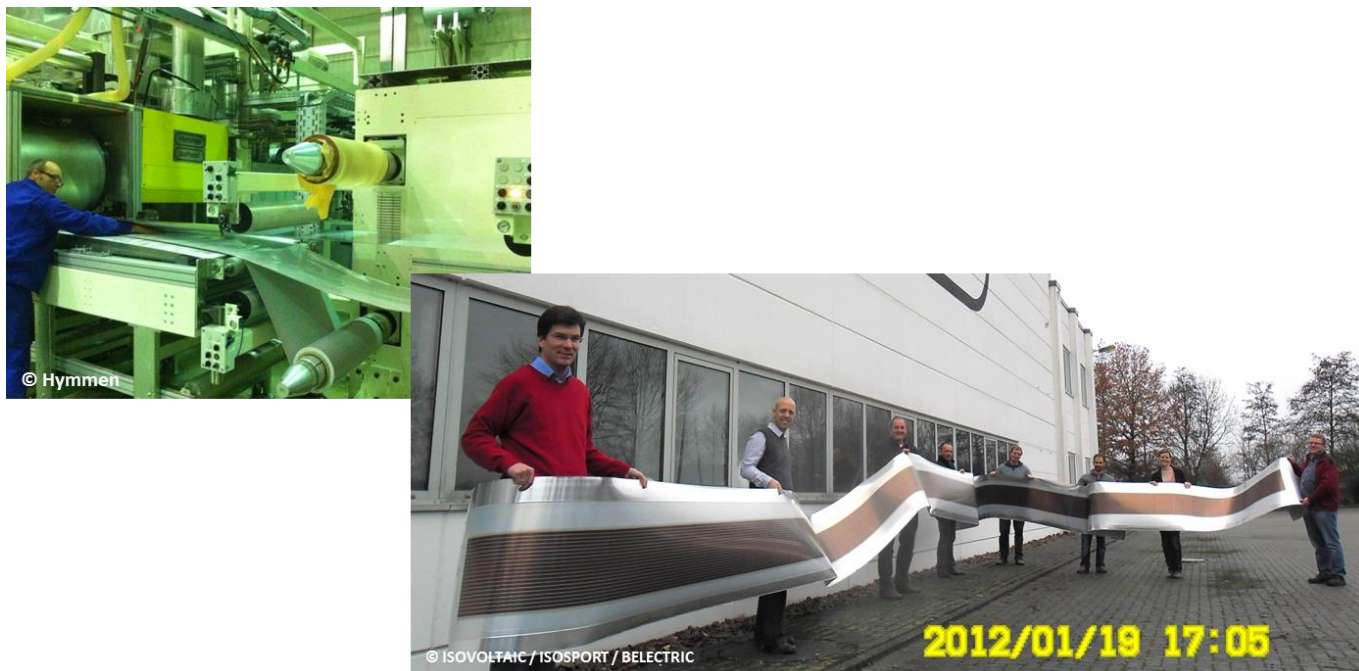


Abbildung 5: Fertigung von flexiblen PV-Modulen / flexibles PV-Modul aus R2R-Prozess

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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



Abbildung 6: mit dem neuen Hochbarrierematerial und im Rolle-zu-Rolle-Prozess eingekapselte CIGS-Module.

Von besonderer Relevanz im Rahmen des Projekts- waren auch die entsprechenden Alterungs- und Performanceprüfungen an den Einzelkomponenten und am gesamten flexiblen CIGS-Modul.

Prüfungen und Messgeräte wurden speziell für die Erfordernisse von flexiblen CIGS-Modulen angepasst und weiterentwickelt. So konnte die Effizienz und Stabilität unter verschiedensten Betriebs- und äußeren Bedingungen geprüft werden.

Von besonderer Relevanz war hier auch die Entwicklung eines Konzepts zur Überwachung und Effizienzmessung solcher Module. Eine installierte Testanlage mit flexiblen CIGS-Modulen wird bereits erfolgreich von einem Messsystem basierend auf diesem Konzept überwacht.

Beschreibung der „Highlights“ des Projektes

- Herstellung von Hochbarrierematerialien unter Verwendung von unterschiedlichen Siegelschichten im Labor- und Pilotmaßstab
- Herstellung von Einbettungsmaterialien mit spezieller Abstimmung auf flexible PV-Zellen im Labor- und Pilotmaßstab
- Erfolgreiche Implementierung von Fertigungs- und Testanlagen
- R2R Einkapselung von flexiblen Solarzellen
- Erstellung eines Monitoring-Konzepts und Implementierung der Monitoring-Anlage

4) Ausblick und Empfehlungen

Betrachtet man den Markt für flexible Solarmodule, so beinhaltet dieser zu einem großen Teil die folgenden drei Segmente: Gebäudeintegrierte PV (BIPV), Transportbereich und tragbare Elektronik. Von diesen drei Segmenten ist mengenmäßig BIPV bei weitem das größte, wegen der hohen Verfügbarkeit von großen Dach- und Fassadenflächen. Flexible Module gewinnen hier bereits Marktanteile durch die einfache Installation und die mögliche Doppelfunktion von Wetterschutz und Stromerzeugung. Es wird erwartet, dass dieser Markt eine jährliche Wachstumsrate von 56% aufweist (PR Newswire, 2011), startend bei 400 MW (\$606M) in 2012 zu 2.25 GW (\$2.4B) in 2017, (Pike Research, 2012). Große Möglichkeiten bietet auch die Integration von flexiblen Solarzellen in architektonische Bauteile wie Beschattungselemente.

Der BIPV-Markt ist in vielen Ländern durch staatliche Subventionen und Unterstützungen getrieben. Für gebäudeintegrierte Stromerzeugung wird oftmals eine höhere Vergütung bezahlt als für klassische Installationen.

Ein wichtiger Bereich für leichte Dachinstallationen sind Industriegebäude. Die verfügbare Fläche ist sehr groß und als weiterer Vorteil ist meist bereits ein entsprechend ausgelegter Anschluss an das Stromnetz vorhanden. Zudem kann bei stromintensiver Industrie bereits ein Teil der erzeugten Energie beim Besitzer oder Mieter des Gebäudes verbraucht werden. In manchen Ländern wird dieser sogenannte Eigenverbrauch bereits gefördert und auch finanziell unterstützt. Ein Nachteil kann dabei aber sein, dass PV-Installationen für eine Laufzeit von 20-25 Jahren ausgelegt werden. Die Dachfläche ist also während dieser Zeit für die Energiegewinnung reserviert und kann nicht verändert werden, was mögliche Umbauten beim Einzug eines neuen Mieters erschwert. Falls der neue Mieter ein viel weniger stromintensives Geschäft betreibt, kann dies ebenfalls zu finanziellen Problemen führen, da die Vergütung nicht mehr der geplanten Menge entspricht.

Als Basis für leichte PV-Installationen eignen sich auch viele Gebäude in der Landwirtschaft. Die meisten dieser Ställe und Scheunen sind für eine relativ niedrige Dachlast ausgelegt und vermögen die Last konventioneller Glasmodule (15 kg/m²) nicht zu tragen. Nach Aussagen von Installateuren liegt der Anteil an Gebäuden mit niedriger Traglast bei 70-80% aller vor ca. 1995 erstellten Bauten. Es ist aber zu erwarten, dass bei Neubauten und geeigneter PV-Einstrahlung verstärkte Konstruktionen zum Einsatz kommen um die Möglichkeit der Stromgewinnung bereits vorgängig mit einzuplanen.

Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten müssen im Speziellen das weitere Up-Scaling der Prozesse und Materialien hinsichtlich Prozessstabilität und Konstanz der Eigenschaften der Produkte umfassen. Im Labormaßstab und weitestgehend auch im Pilotmaßstab ist es aus dem Projekt heraus möglich, flexible PV-Module mit konstanten Eigenschaften zu fertigen.

Für einen Markterfolg der flexiblen Photovoltaik ist es jedoch unerlässlich mit effizienten Prozessen und geringen Ausschusszahlen zu fertigen. Nur so kann, trotz der Eignung für andere Anwendungsbereiche als konventionelle Photovoltaik, ein nachhaltiger Erfolg erreicht werden.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

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

5) Literaturverzeichnis / Publikationen

Science Brunch „Solarthermie und Photovoltaik“

Veranstalter: FFG, klima+energie fonds

Wien am 09.03.2011

„Flexible PV Systeme- Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen & Verfahren zur R2R Herstellung flexibler PV Module und Dachbahnen“; Schinagl Ch., ISOVOLTAIC.

Österreichische Photovoltaik Fachtagung „Photovoltaik-die Basis für Plus-Energie-Gebäude“

Wien, 20.-21.10.2011

Kurzpräsentation und Poster:

„Flexible PV Systeme“

Christina Schinagl, Angelika Nigg, Monika Schuler, Albert K. Plessing

Science Brunch „Solarthermie und Photovoltaik“

Veranstalter: FFG, klima+energie fonds

Sankt Veit an der Glan am 25.03.2014

„Flexible PV Systeme- Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen & Verfahren zur R2R Herstellung flexibler PV Module und Dachbahnen“;Muckenhuber H., ISOVOLTAIC.