

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

27.03.2015

Projekttitlel:

Solar-electrical Systems based on Polymeric Materials:
Novel Polymeric Encapsulation Materials for PV Modules

SolPol-3

Projektnummer:

829761

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes

Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Ausschreibung	4. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01/07/2011
Projektende	31/12/2014
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	42 Monate
Projektnehmer (Institution)	Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)
Ansprechpartner	O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Reinhold W. Lang
Postadresse	Altenbergerstrasse 69, A-4040 Linz
Telefon	+43 732 2468 6610
Fax	+43 732 2468 6613
E-mail	reinhold.lang@jku.at
Website	www.jku.at/ipmt; www.solpol.at

Solar-electrical Systems based on Polymeric Materials

Novel Polymeric Encapsulation Materials for PV Modules

SolPol-3



Kernautoren

Reinhold W. Lang (Projektleiter)

Gernot M. Wallner (Stv. Projektleiter)

Jörg Fischer (Administrativer Leiter)

alle: Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)

Unterstützende Autoren

Markus Rennhofer

Austrian Institute of Technology (AIT)

Karl Schnetzinger

APC Advanced Polymer Compounds (APC)

Andreas Meinecke, Girish Galgali

Borealis AG (Borealis)

Wolfgang Buchberger, Ingrid Hintringer

Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Analytische Chemie (JKU-IAC)

Klaus J. Geretschläger

Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)

Armin Kogler

KIOTO Photovoltaics GmbH (KIOTO)

Andreas Brandstätter

Lenzing Plastics GmbH & Co KG (Lenzing)

Peter Fankhauser

SENOPLAST KLEPSCH & Co. GmbH (SENOPLAST)

Andreas Zimmermann

Sunplugged GmbH (Sunplugged)



1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	5
2	Einleitung und inhaltliche Darstellung.....	6
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	8
4	Ausblick	14
5	Literaturverzeichnis.....	15
6	Kontaktdaten.....	18

2 Einleitung und inhaltliche Darstellung

Die Photovoltaik-Industrie befindet sich seit nunmehr zehn Jahren in einer außergewöhnlich dynamischen Wachstumsphase, die sie vor große Herausforderungen im Zusammenhang mit der stetig steigenden Marktnachfrage stellt. Eine der wesentlichen technologischen Herausforderungen, die es zu lösen gilt, hat mit dem Einsatz von neuartigen Polymerwerkstoffen für die PV-Zellen-Einkapselung und die damit im Zusammenhang stehenden Verfahren zur PV-Modul-Produktion zu tun.

Für österreichische Unternehmen ergeben sich hervorragende Möglichkeiten an dem stark wachsenden weltweiten PV-Markt zu partizipieren. Basierend auf den verfügbaren wissenschaftlichen und industriellen Kompetenzen auf dem Gebiet der PV- und Kunststoff-Technologien in Österreich wurden im Rahmen des gegenständlichen Projektes folgende übergeordneten Ziele verfolgt:

- (1) Nachhaltige Stärkung der Position der österreichischen PV-Industrie durch Vernetzung der industriellen Kompetenzen führender österreichischer PV- und Kunststoff-Unternehmen mit der Expertise führender österreichischer Forschungseinrichtungen aus dem PV- und Kunststoff-Bereich.
- (2) Unterstützung und Impulsgebung für polymerbasierende Produktinnovationen für unterschiedliche Typen von PV-Modulen durch den Einsatz neuartiger Einkapselungsmaterialien mit verbesserter Anwendungs-Performance bei gleichzeitig verbesserten Verarbeitungseigenschaften und daraus resultierenden Kostenreduktionen.

Zur Erreichung dieser Gesamtzielsetzung wurde das gegenständliche industrielle Forschungsprojekt von einem Partnerkonsortium bestehend aus 7 Unternehmenspartnern und 3 wissenschaftlichen Partnern durchgeführt. Die technologischen Hauptziele des Projektes lagen einerseits in der Entwicklung neuartiger Polymermaterialien für die Einkapselung von Solarzellen (Einbettmaterialien und Rückseitenfolien), andererseits in der Entwicklung verbesserter und kosteneffizienter Verarbeitungsverfahren für diese Einkapselungsmaterialien zur Herstellung von PV-Modulen. Für diese Ziele wurden zudem die notwendigen prüftechnischen und analytisch-experimentellen Voraussetzungen entwickelt und implementiert.

Das Forschungsprogramm des Projektes war in insgesamt 5 Arbeitspakete (Work-Packages; WP) mit folgenden Themenschwerpunkten inkl. Hinweisen zur eingesetzten Methodik gegliedert:

WP-01: Leistungsanforderungen und Prüfmethode für polymere Einkapselungsmaterialien

Komponentenspezifische Definition von Performance- und Eigenschafts-Profilen inkl. Quantifizierung der physikalischen und technologischen Materialeigenschaften und Entwicklung und Implementierung von Analysemethoden für die umfassende Charakterisierung des Alterungsverhaltens von kommerziell verfügbaren und neuartigen Einkapselungsmaterialien auf Probekörperebene und PV-Modulebene

WP-02: Neue Polyolefin-basierende Einbettfolien mit optimierter Verarbeitbarkeit/Performance

Herstellung von neuartigen Compounds, Extrusion und Charakterisierung von Einbettfolien und Erarbeitung von Struktur/Eigenschafts-Beziehungen

WP-03: Kontinuierlich hergestellte mehrlagige Rückseiten- und Frontseiten-Folien aus fortschrittlichen Kunststoff-Compounds

Formulierung von extrudierbaren Compounds, Lamination und Charakterisierung von neuartigen mehrlagigen Rückseiten- und Frontseiten-Folien

WP-04: Starre PV-Module mit neuen Einkapselungsmaterialien

Diskontinuierliche Lamination, Prozessbewertung und Charakterisierung von starren PV-Modulen

WP-05: Semi-flexible und flexible PV-Module mit neuen Einkapselungsmaterialien

Lamination und Charakterisierung von semi-flexiblen und flexiblen PV-Modulen

Wesentliche Synergieeffekte entstanden aus der Miteinbeziehung und interdisziplinären Zusammenarbeit führender österreichischer Forschungseinrichtungen und Unternehmen auf dem PV-Sektor und auf dem Gebiet der Kunststoffe. So wurden Anwendungs- und Markt-Kompetenz der industriellen Partner in idealer Weise mit dem wissenschaftlichen Ansatz und den wissenschaftlichen Kompetenzen der Forschungseinrichtungen verknüpft. Basierend auf diesem industriellen und wissenschaftlichen Hintergrund wurde durch dieses Projekt ein einzigartiges Potential zur Stärkung der österreichischen Industrie im rasch wachsenden Markt der Photovoltaik geschaffen.

Das industrielle Forschungsprojekt *SolPol-3* ist in erster Linie dem **Themenfeld "3.6 Photovoltaik"** der Ausschreibung mit Bezug zu den folgenden Themenpunkten zuordenbar:

- **Thema 3.6.3.:** Photovoltaics – Materials
- **Thema 3.6.2:** Photovoltaics – Grid- and systems aspects, Components

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Folgende Ergebnisse wurden in den einzelnen Projektphasen (Projektjahr 1, Projektjahr 2 und Projektjahr 3) des insgesamt 3,5-jährigen Projektes (inkl. 6-monatiger Projektverlängerung), sowohl auf die Gesamtzielsetzungen von *SolPol-3* als auch auf die Zielsetzungen der einzelnen Arbeitspakete bezogen, erzielt.

Ergebnisse im Projektjahr 1:

Gesamtprojektmäßig gesehen wurden folgende wesentlichen Ergebnisse samt Schlussfolgerungen erzielt:

- Dem Arbeitsplan entsprechend lag der Fokus der Tätigkeiten im Jahr 1 bei den Arbeitspaketen WP-01, WP-02 und WP-03. In diesen Arbeitspaketen wurden geeignete Prüfmethode identifiziert, teilweise entwickelt und implementiert und für die umfassende Charakterisierung von PV-Polymermaterialien eingesetzt. Damit wurden wesentliche Grundvoraussetzungen für die Forschungsarbeiten der Jahre 2 und 3 geschaffen.
- Für die weiteren Entwicklungen von besonderer Bedeutung waren die sehr positiven Zwischenergebnisse an Polyolefin- und Polystyrol-Materialien sowohl für die Einbettung als auch für Rückseitenfolien. Die in diesem Zusammenhang wichtigen und kritischen TRL 3-Bewertungen waren daher positiv. Dies hat nicht zuletzt auch dazu geführt, dass das Partnerunternehmen Borealis auch für die restliche Laufzeit an *SolPol-3* mitwirkte und im Konsortium verblieb.

Zwei Highlights der Ergebnisse aus dem Projektjahr 1 sind nachfolgend detailliert beschrieben:

1. Implementierung eines Methodenspektrums zur Charakterisierung von polymeren PV-Einkapselungsmaterialien und Erstellung eines umfangreichen Datenkatalogs für kommerzielle und potenzielle PV-Einkapselungsmaterialien

Ein zentrales Problem der Photovoltaik aus polymerwissenschaftlicher Sicht ist die mangelnde Verfügbarkeit und Vergleichbarkeit von physikalischen und physikalisch/chemischen Kenndaten zu in der Photovoltaik genutzten Polymerwerkstoffen und -halbzeugen. Dies liegt einerseits am (teilweise) mangelnden Verständnis für Polymerwerkstoffe in der Photovoltaik-Industrie, andererseits am Fehlen von präzise und quantitativ definierten Leistungsanforderungen auf Werkstoff- und Halbzeugebene sowie der zugehörigen Prüfmethode samt Prüfbedingungen.

In WP-01 wurde zunächst ein aussagekräftiges Methodenspektrum zur gezielten und systematischen Charakterisierung von Polymerwerkstoffen für die Photovoltaik (Einbettung, Front- und Rückseitenmaterialien) definiert und implementiert, das folgende Methoden umfasst:

Basischarakterisierung:

- IR-Spektroskopie (IR), Differentialthermoanalyse (DTA, DSC) und dynamisch-mechanische Analyse (DMA); werkstoffliche Analyse und Bestimmung thermischer Übergänge,
- UV/VIS/NIR-Spektroskopie (UV/VIS/NIR); solare Transmission und Reflexion,
- Zugversuch (ZV); Bestimmung mechanischer Eigenschaften.

Werkstoffliche und morphologische Analyse

- Hochauflösende IR- und Raman-Mikroskopie (für organische Komponenten)
- Raman-Mikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenstrahlanalyse (für anorganische Komponenten)
- Hochdruck-Flüssigchromatographie und Methodenkopplungen (für die Stabilisatoranalytik)

Kontaktlose Bestimmung von Alterungsindikatoren:

- Fluoreszenzspektrometrie
- Gekoppelte Ramanspektroskopie und dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)

In Interaktion der Arbeitspakete WP-01 (Prüfmethoden) mit den Arbeitspaketen WP-02 (Einbettungsmaterialien) und WP-03 (Front- und Rückseitenmaterialien) wurden im ersten Projektjahr insgesamt 47 unterschiedliche (kommerzielle und potenzielle) Polymere/Polymerformulierungen/Halbzeugzustände für die PV-Einbettung und insgesamt 30 unterschiedliche (kommerzielle und potenzielle) Polymere/Polymerformulierungen/Halbzeugzustände für PV-Front- und Rückseiten untersucht. Die Auswahl der kommerziell bereits eingesetzten und verfügbaren Folien-Halbzeuge (ein- und mehrlagig) erfolgte systematisch und umfassend nach Polymerklassen und beinhaltete Einbettungsmaterialien (EVA, PVB, PUR, TPSE, Ionomer, Polyolefin), Frontseitenfolien (ETFE, FEP, ECTFE, PMMA/PP/PET) und Rückseitenfolien (TPT, FPF, AAA, APA, PET). Damit verfügt das Konsortium über den weltweit wohl umfangreichsten und einzigartig harmonisierten Datenkatalog zu derartigen Materialien. Gleichzeitig war und ist dieser Datenkatalog eine wesentliche Grundvoraussetzung für die Bewertung nachfolgender und künftiger Materialkandidaten für derartige Anwendungen, seien es kommerzielle Materialien oder Entwicklungsmaterialien.

2. Identifizierung neuartiger, potenzieller polyolefinischer Einkapselungsmaterialien beim Projektpartner Borealis

Borealis beteiligte sich am Konsortium von *SolPol-3* vor allem um die technisch-wissenschaftlichen Potenziale und Adaptierungsmöglichkeiten sowie die patentrechtlichen Möglichkeiten ihrer bestehenden Polyolefintechnologie für Hochspannungs-Kabelummantelungsmaterialien auch für Photovoltaik-Anwendungen zu bewerten und bei positiver Bewertung weiter zu entwickeln. Dazu war in den Arbeitspaketen WP-02 (Einbettungsmaterialien) und WP-03 (Front- und Rückseitenmaterialien) nach 12-monatiger Laufzeit eine „kritische“ grundsätzliche Bewertung nach TRL 3 (Machbarkeitsüberprüfung) vorgesehen, von der die Weiterführung der Arbeiten auf dem Gebiet der Polyolefine sowie der weitere Verbleib von Borealis im *SolPol-3* Konsortium abhing.

Als Teil von Arbeitspaket WP-02 wurde daher ein starker Fokus auf die Untersuchung und Evaluierung von Silan-vernetzenden Polyolefin-Formulierungen für den Einsatz als Einbettungsmaterial gelegt (10 der insgesamt 22 untersuchten Polymerformulierungen), mit sehr positiven Ergebnissen sowohl die Eigenschaftsprofile als auch die Verarbeitbarkeit und die Kombinierbarkeit mit EVA (Blends oder Mehrschichtfolien) betreffend. Analog wurden in Arbeitspaket WP-03 Formulierungen auf Basis von Polypropylen (PP) (Variationen von Basismaterial und Pigmentierung, unterschiedliche Blends mit anderen Polymeren; 14 der insgesamt 25 untersuchten Polymerformulierungen) für den Rückseiten-

folien-Einsatz untersucht, auch hier mit sehr positiven Ergebnissen als potenzielle Kandidaten für diese Anwendung.

Die angesprochene TRL 3-Bewertung wurde bei Borealis Anfang Juni 2012 im Rahmen des internen „Entrepreneurial Projects“ durchgeführt. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse in Projektjahr 1 an den Silan-vernetzenden und nicht Silan-vernetzenden Polyolefin-Formulierungen für PV-Module und der sich daraus ableitenden überaus interessanten Marktchancen wurde die weitere Beteiligung am Projekt bestätigt.

Ergebnisse im Projektjahr 2:

Gesamtprojektmäßig gesehen wurden folgende wesentlichen Ergebnisse samt Schlussfolgerungen erzielt:

- In den Arbeitspaketen WP-01 bis WP-03 wurden geeignete Prüfmethode implementiert, Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften abgeleitet und Polyolefin-, Polyamid- und Polyoxymethylen-basierende Werkstoffe mit vielversprechenden Eigenschaften formuliert, compoundingiert, zu Muster-Folien und -Laminaten verarbeitet und grundlegend charakterisiert. Methoden für die theoretische Simulation von PV-Modulen mit Kunststoffverkapselungsmaterialien wurden zur Optimierung der Einkapselungsfolien im Projektjahr 3 aufgebaut. Bei den Folienhalbzeugen wurde besonderes Augenmerk auf die Untersuchung des Alterungsverhaltens gelegt.
- In den Arbeitspaketen WP-04 und WP-05 wurden starre, semi-flexible und flexible Mustermodule mit neuartigen Einkapselungsmaterialien entwickelt und teilweise sehr positiv beurteilt. Ausgewählte Modulaufbauten wurden außerhalb von SolPol-3 weiteroptimiert und im Hinblick auf die kommerzielle Umsetzung untersucht. Bei den semi-flexiblen Modulen erwies sich eine neuartige organisch-anorganische Hybridfolie im Hinblick auf die Prozessierbarkeit und die Funktions-tauglichkeit als sehr vielversprechend.

Zwei Highlights der Ergebnisse aus dem Projektjahr 2 sind nachfolgend detailliert beschrieben:

1. Modellierungs- und Simulationsmethoden zur Optimierung von Einkapselungsmaterialien für Photovoltaik-Module

Während zur Optimierung von Solarzellen eine Reihe von Simulationsmethoden entwickelt und implementiert wurde, standen zu Beginn des Projekts für die Bestimmung der Anforderungsprofile an Einkapselungsmaterialien für PV-Module kaum Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Die Bestimmung der erforderlichen Eigenschaftsprofile für Einkapselungsmaterialien erfolgte daher weitgehend über empirische Ansätze durch experimentelle Charakterisierung kommerziell verwendeter Einbettungs-, Frontseiten- und Rückseitenfolien. Die experimentell-empirische Herangehensweise ergab allerdings weite Spannen für die erforderlichen Eigenschaften, die keine systematische Optimierung und Sensitivitätsanalyse der unterschiedlichen Einflussfaktoren erlaubten. Das im Projektjahr 1 in WP-01 definierte und implementierte aussagekräftige Methodenspektrum zur gezielten und systematischen Charakterisierung von Polymerwerkstoffen für die Photovoltaik (Einbettung, Front- und Rückseitenmaterialien), wurde im Projektjahr 2 auf eine Vielzahl kommerziell eingesetzter Einkapselungsmaterialien angewendet. Die abgeleiteten Eigenschaftsanforderungen (Grenzwerte)

wurden dann zur technisch-wissenschaftlichen Bewertung und Auswahl der in WP-02 und WP-03 entwickelten Materialien verwendet.

Die Entwicklung grundlegender Charakterisierungs- und Simulationsmethoden betreffend, lag in Projektjahr 2 der Schwerpunkt bei der Implementierung von Modellierungs- und Simulationsmethoden zur Optimierung von Einkapselungsmaterialien für Photovoltaik-Module. Dazu wurde ein ein-dimensionales Simulationsprogramm zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung in PV-Zellen weiterentwickelt und adaptiert. Das erweiterte Programm nutzt beispielsweise Ergebnisse aus extensiven CFD-Simulationen zur Berechnung der Windkühlung des Moduls. Zudem bietet sich die Möglichkeit den Strahlungsverlauf über Tageszeit und Breitengrad zu variieren und so unterschiedliche weltweite Einsatzgebiete zu simulieren. Das Simulationsprogramm wurde signifikant durch strahlungstechnische Kennwerte und Parameter erweitert. So ist es nun möglich die materialabhängigen Absorptionskoeffizienten und Brechungsindizes quantitativ zu erfassen. Durch die Absorption in den Einkapselungsmaterialien kommt es zu einer ortsabhängigen Energiedissipation und Temperaturerhöhung im Modul, die wesentlich von den wärmetechnischen Kennwerten Wärmeleitung, Wärmekapazität und Wärmestrahlungsabsorption abhängig ist.

Das implementierte Simulationsprogramm wurde für eine systematische Parametervariation an einem Referenzmodul (starres PV-Modul mit Glas/Rückseitenfolie-Aufbau) angewendet. Dabei wurden in einem ersten Schritt die Inputparameter Lichtabsorptionskoeffizient und Wärmeleitung des Einbettungsmaterials in weiten Bereichen variiert und die Effekte auf die absolute Leistung des Referenzmoduls untersucht. Die Variationsrechnungen zeigten, dass die Erhöhung der für Kunststoffe üblichen Wärmeleitfähigkeitswerte von etwa 0,2 W/(mK) um den Faktor 2 zu einer Leistungssteigerung des Moduls von etwa 0,07% führt.

2. Neuartige Olefin-basierende Polymerwerkstoffe für die Einbettung von Solarzellen und für Rückseitenfolien

Ein zentrales Problem der Photovoltaik ist die Verfügbarkeit von großserien- und massenfertigungstauglichen Technologien für die Modulherstellung. Dreh- und Angelpunkt sind kosteneffiziente Einkapselungsmaterialien, die mit kontinuierlichen Verfahren hergestellt und mit kurzen Zykluszeiten verarbeitbar sind. In WP-02 und WP-03 wurden in den Projektjahren 1 und 2 eine Vielzahl von Werkstoffformulierungen erstellt, Compounds und Folienhalbzeuge gefertigt und in Wechselwirkung mit den Modularbeitspaketen WP-04 und WP-05 zu Musterlaminaten und Kleinmodulen verarbeitet. Den Aufbau und die chemische Struktur der Werkstoffe betreffend wurde stringent auf eine möglichst kosteneffiziente Rohstoffbasis geachtet. Neben technischen Kunststoffen auf Basis von halogenfreien CHO- und CHON-Polymeren wurden vorrangig neuartige Kohlenwasserstoff(CH)-basierende Polymerwerkstoffe entwickelt, Legierungen und Blends hergestellt und untersucht. Durch systematischen Abgleich mit den in WP-01 erstellten Leistungsanforderungen und daraus abgeleiteten erforderlichen Eigenschaftsprofilen wurde eine kontinuierliche Bewertung, Selektion und Optimierung der Werkstoffe vorgenommen. Nach Projektjahr 2 kristallisierten sich folgende Werkstoffe und Halbzeuge auf Basis von Olefinen als besonders vielversprechend für die Einbettung von Solarzellen und für Rückseitenfolien heraus:

- Silan-vernetzende polare Polyolefin-Formulierungen als Einbettungsmaterialien

- Polare Polyolefin-Einbettungsmaterialien mit funktionalen ionisierten Gruppen (Ionomere)
- Extrudierte Rückseitenfolien auf Basis von Polyolefin-Formulierungen (Copolymere und Blends) mit Oberflächenfunktionalisierung (Primer)
- Extrudierte Rückseiten- und Einbettungsfolien auf Basis von olefin-modifizierten Polyamiden
- In-line-laminierte Hybridrückseitenfolie auf mit Einbettungsschicht und Witterungsschutzschicht.

Ergebnisse im Projektjahr 3:

Gesamtprojektmäßig gesehen wurden folgende wesentlichen Ergebnisse samt Schlussfolgerungen erzielt:

- Mit den im Arbeitspaket WP-01 entwickelten Prüf- und Charakterisierungsmethoden wurden in WP-02 und WP-03 die neuartigen Einbettungsmaterialien und Rückseitenfolien weiter optimiert, wobei besonderes Augenmerk auf die Prozessierbarkeit und das Alterungsverhalten gelegt wurde. Für die neuartigen Einbettungsfolien auf Basis von polaren Polyolefin-Formulierungen wurde im Vergleich zu EVA eine deutlich bessere Langzeitbeständigkeit und geringere Vergilbung nach Dampf Heat- und UV-Alterung nachgewiesen. Von den untersuchten Rückseitenfolien auf Basis von Polyolefin-Blends, POM, PA-Blends und einer Hybridfolie zeigten die PA-Blend-Folien und das Hybridlaminat die beste Performance unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen. Sowohl die neuartigen Einbettungsmaterialien als auch die PA-Blend- und Hybrid-Rückseitenfolie wurden bezüglich der kommerziellen Umsetzbarkeit sehr positiv bewertet.
- In Arbeitspaket WP-04 wurden die neuartigen Einkapselungsfolien aus WP-02 und WP-03 für die Herstellung von starren PV-Mustermodule verwendet und mit ausgewählten Methoden für die Zulassungsprüfung charakterisiert. Bezüglich der Prozessierbarkeit war feststellbar, dass die neuartigen Einbettungsfolien geringfügig höhere Laminationstemperaturen erfordern, wobei durch die physikalische Vernetzung eine deutliche Verkürzung der Laminationszeit möglich ist (Faktor 1,5 bis 2,0). Bezüglich des Alterungsverhaltens der PV-Module wurde ein vergleichbares Ranking der Rückseitenfolien wie auf Halbzeugebene erhalten. In Arbeitspaket WP-05 wurde besonderes Augenmerk auf die Entwicklung von flexiblen Modulen mit CIGS-Solarzelle gelegt. Die besten Ergebnisse in Bezug auf Haftung, Schrumpfung und Verarbeitbarkeit wurden für Lamine mit CIGS-Solarzellen auf Polyimidsubstrat und Ionomer-Einkapselung erzielt. Flexible CIGS-Zellen auf Metallfolie waren ohne Rückseitenfolie nicht defektfrei laminierbar.

Zwei Highlights der Ergebnisse aus dem Projektjahr 3 sind nachfolgend detailliert beschrieben:

1. Kontaktlose Charakterisierung des Alterungsverhaltens von PV-Einkapselungsmaterialien

Im grundlegenden Arbeitspaket WP-01 lag ein Schwerpunkt bei der Entwicklung von neuartigen Methoden für die Charakterisierung von Einkapselungsmaterialien. In einer wissenschaftlichen Kooperation mit der Humboldt-Universität Berlin (HUB), Institut für Photobiophysik (Dissertation Jan Schlothauer) wurden neuartige nicht-invasive Lumineszenz-Messmethoden, thermoanalytische Verfahren, Infrarot-Spektroskopie und gekoppelte chromatographische Methoden implementiert und verwendet um das Alterungsverhalten von EVA-Einkapselungsmaterialien in PV-Minimodulen mit Si-Solarzelle zu beschreiben. Mit den unterschiedlichen Methoden wurden nach Heißluft-, Dampf Heat- und

UV-Alterung sensitive Indikatoren bestimmt, systematisch gegenübergestellt und Korrelationen herausgearbeitet. Die Ergebnisse werden in einem Peer-Review Journal veröffentlicht.

In Übereinstimmung mit der ortsabhängigen Verteilung der Lumineszenzintensitäten ergaben sich auch bei dynamisch-mechanischer Analyse im Schermodus Veränderungen im Speichermodul und in der Verlustzahl oberhalb der Schmelztemperatur. Als wissenschaftliches Highlight wurde erstmals gezeigt, dass die Lumineszenzintensität mit Schmelze-rheologischen Kennwerten, die von der makromolekularen Struktur des weitmaschig vernetzten EVAs bestimmt werden, korrelieren. Bisher wurde vermutet, dass die Lumineszenz vornehmlich durch strukturelle Veränderungen der Stabilisatoren bestimmt wird. Um diese Hypothese zu überprüfen wurde an ausgewählten Proben auch der Gehalt an HALS und UV-Absorbern gemessen. Die Korrelation zwischen HALS-Gehalt und Lumineszenzintensität war deutlich schwächer ausgeprägt. Durch die Arbeit wurde ein signifikanter Fortschritt im Verständnis der Abbaumechanismen in EVA-Einkapselungsmaterialien erzielt.

2. Neuartige starre PV-Module mit physikalischer Einbettung und Hybridrückseitenfolie

Konventionelle Glas/Folie-PV-Module sind asymmetrische Lamine, bei denen die Solarzelle nicht in der neutralen Faser liegt und daher bei Biegebelastungen Zug/Druck-Wechselspannungen ausgesetzt sind. Dies kann eine mechanische Schädigung der spröden Solarzelle (Mikrorisse) und damit einhergehend Leistungseinbußen bedingen. Deutliche Verbesserungen wären durch symmetrischere Aufbauten und vergleichbare Ausdehnungskoeffizienten der Einkapselung auf Vorder- und Rückseite möglich. Zur Lösung dieses Problems wurde in *SolPol-3* eine neuartige Hybridrückseitenfolie entwickelt, die sich durch hohe Steifigkeits- und Festigkeitswerte, geringere temperaturabhängige Ausdehnungskoeffizienten und eine Hochbarrierewirkung auszeichnet. Für die Lamination wurden physikalisch-vernnetzende Polyolefin-Formulierungen erarbeitet, die bei besseren Gebrauchseigenschaften auch eine signifikante Reduktion der Prozesszeiten erlaubt.

Mit diesen Einkapselungsmaterialien wurden neuartige starre PV-Mustermodule realisiert, die letztlich auch upgescaled wurden und für die eine ausgezeichnete Gesamtleistung nachgewiesen wurde. In weiterführenden Arbeiten wird die Behebung und Lösung identifizierter Defizite (Isolationseigenschaften, Laminationstemperatur und Benetzung der Zellkomponenten) angestrebt, sodass als Voraussetzung für die kommerzielle Umsetzung die Bauartzulassung erreicht wird. Die neuartigen Rückseitenlamine bieten auch hohes Potenzial für dünnere Module mit reduzierter Frontglasdicke.

4 Ausblick

Wie in Abschnitt „Einleitung und inhaltliche Darstellung“ dargestellt, befindet sich die Photovoltaik-Industrie seit nunmehr über einem Jahrzehnt in einer außergewöhnlich dynamischen Wachstumsphase, die sie vor große Herausforderungen im Zusammenhang mit der stetig steigenden Marktnachfrage stellt. Eine der wesentlichen technologischen Herausforderungen, die es zu lösen gilt, hat mit dem Einsatz von neuartigen Polymerwerkstoffen für die PV-Zellen-Einkapselung und die damit im Zusammenhang stehenden Verfahren zur PV-Modul-Produktion zu tun.

Im Rahmen der einzelnen Arbeitspakete konnten deutliche Fortschritte in der Entwicklung und Austestung neuartiger polymerer Einkapselungsmaterialien erzielt werden. Die künftigen Aktivitäten der Unternehmenspartner betreffend sind vor allem folgende Kommerzialisierungsbestrebungen zu nennen:

- APC: Vermarktung des Know Hows im Bereich funktionaler Compounds und Blends aus Ethylen-Copolymeren und Polyamiden
- Borealis: Bemusterung und Vorqualifikationstätigkeiten mit PV-Modulherstellern (neuartige polare Polyolefin-Formulierungen)
- Kioto: Implementierung und Anpassung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, die jetzigen Produktlinien betreffend (Spezifizierung, Zertifizierung, Quality Assurance)
- Lenzing: Weiterentwicklung, Vorqualifizierung und Bemusterung der Hybridrückseitenfolie und der Ionomer-Einbettungsfolien
- PerkinElmer: Portfolio-spezifische Produktlinien inkl. Bewerbung für die PV-Industrie und Forschungseinrichtungen
- Sunplugged: Bauartzulassung für semi-flexible PV-Module mit Hybridsubstrat und Schutzrechte für flexible PV-Modulaufbauten mit defektfreier Laminierbarkeit

Das Forschungskonsortium insbesondere die wissenschaftlichen Projektpartner sind bestrebt die erarbeiteten Erkenntnisse in weiteren kooperativen Forschungsprojekten zu nutzen. Was die thematische Ausrichtung derartiger künftiger Projekte betrifft, nehmen neben den bisherigen Projektergebnissen insbesondere die Erkenntnisse des vom bmvit beauftragten Projektes „Recherche der Einsatzmöglichkeiten von Polymerwerkstoffen in den Bereichen Photovoltaik und Windkraft“, das bis Ende 2015 abgeschlossen wird, einfließen. Darüber hinaus laufen Bestrebungen die erarbeiteten Kompetenzen auf dem Gebiet der Einkapselung von PV-Zellen in Anwendungsgebieten mit ähnlichem allgemeinem Anforderungsprofil zu nutzen.

5 Literaturverzeichnis

• **Akademische Arbeiten in SolPol-3**

- Brandstätter Andreas (Dissertation, Lenzing, abgeschlossen):
„Entwicklung und Charakterisierung neuartiger Kunststoffhalbzeuge für die Photovoltaik und die Solarthermie“
- Geretschläger Klaus J. (Dissertation, JKU-IPMT, in Bearbeitung):
„Morphology, property profiles and aging behaviour of polymeric compounds for solar energy technologies“
- Hintersteiner Ingrid (Dissertation, JKU-IAC, in Bearbeitung):
„Determination of stabilisers in polymeric materials used as encapsulants in photovoltaic modules“
- Grabmann Michael (Masterarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Untersuchung der Damp-Heat-Beständigkeit neuartiger Einkapselungsmaterialien für Photovoltaik-Module“
- Berger Veronika (Masterarbeit, JKU-IPMT, in Bearbeitung)
„Mikroskopische Analyse von Ionomer-Blends“
- Bräuer Gerhard (Masterarbeit, JKU-IPMT, in Bearbeitung)
„Semi-automatisierte Herstellung von Prüfkörpern aus Kunststoffen und Polymer Hybrid-Werkstoffen mittels CNC Fräsmaschine“
- Dankl Matthias (Masterarbeit, JKU-IPMT, in Bearbeitung)
„Alterungscharakterisierung von Silan-vernetzenden Copolymeren“
- Leitl Alexander (Masterarbeit, JKU-IPMT, in Bearbeitung)
„Morphologische und technologische Charakterisierung von Kunststoffblends für die Einkapselung von Solarzellen“
- Berger Veronika (Bachelorarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Licht- und infrarotmikroskopische Analyse von Rückseitenfolien für Photovoltaikanwendungen“
- Gadermayr Sabrina (Bachelorarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Dynamisch-mechanische Analyse von Rückseitenfolien“
- Gall Markus (Bachelorarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Charakterisierung kommerzieller Rückseitenfolien für Photovoltaik-Module“
- Gastberger Monika (Bachelorarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Basischarakterisierung von Einbettmaterialien für Photovoltaik-Module“
- Müller Michael (Bachelorarbeit, JKU-IPMT, abgeschlossen):
„Dynamisch-mechanische Analyse von polymeren Einbettungsmaterialien“

Basierend auf diesen akademischen Arbeiten (insbesondere den Dissertationen) sind derzeit weitere Publikationen für referierte Zeitschriften in Ausarbeitung.

• **Publikationen in Polymer- und Solarzeitschriften**

- Lang R. W., Wallner G. M., Fischer J. (2013). Neue Kunststofftechnologien für optimierte Photovoltaik-Module; energy innovation austria, 6-7.

- *Hintersteiner, I., Sternbauer, L., Beissmann, S., Buchberger, W.W., Wallner, G.M. (2014). Determination of stabilisers in polymeric materials used as encapsulants in photovoltaic modules, Polymer Testing, 38, 172-178.*
- *Lang R. W., Wallner G. M. (2013). Polymeric Materials - The Key Materials for Sustainable Development Technologies, Information Booklet - 5th International Materials Education Symposium.*
- *Hintersteiner, I., Schmid, T., Himmelsbach, M., Klampfl, C.W., Buchberger, W.W. (2014). Quantitative analysis of hindered amine light stabilizers by CZE with UV detection and quadrupole TOF mass spectrometric detection, Electrophoresis, 35, 20, 2965-2971.*
- *Schlothauer, J.C., Grabmayer, K., Wallner, G.M., Röder, B. (2015). Correlation of spatially resolved photoluminescence and viscoelastic mechanical properties of encapsulating EVA in differently aged PV modules, Solar Energy Materials & Solar Cells, in Begutachtung.*
- **Sonstige SolPol-3 Veröffentlichungen**
 - “27th EU PVSEC 2012” (24.-28.09.2012; Frankfurt, D); Vortrag von K. J. Geretschläger, G. M. Wallner, J. Fischer zu *“Raman and infrared microscopical analysis of multilayer backsheets”* (JKU-IPMT).
 - “Proceedings of PVSEC 2012”; Paper von K. J. Geretschläger, G. M. Wallner, J. Fischer zu *“Raman and infrared microscopical analysis of multilayer backsheets”*, Paper 4BV.3.30, 4 Seiten (JKU-IPMT).
 - „10. Österreichische Photovoltaik Tagung“ (18.-19.10.2012; Wien, A); Posterpräsentation und Vortrag von G. M. Wallner, K. J. Geretschläger, J. Fischer, R. W. Lang, I. Hintersteiner, W. Buchberger zu *„Advanced Characterization of Encapsulation Materials for improved PV Module Performance“* (JKU-IPMT, JKU-IAC).
 - “ANAKON 2013” (04.-07.03.2013; Essen, D); Posterpräsentation von I. Hintersteiner, W. Buchberger, C. Klampfl zu *„Analysis of stabilisers in plastic materials used for photovoltaic modules: Rapid identification with DART-MS and quantification with HPLC/UV”* (JKU-IAC).
 - “ASPM Conference” (03.-05.04.2013; Bled, SI); Posterpräsentation von I. Hintersteiner et al. zu *„Determination of stabilizers in encapsulation materials for PV modules”* (JKU-IAC).
 - “ASPM Conference” (03.-05.04.2013; Bled, SI); Posterpräsentation von K. J. Geretschläger, G. M. Wallner, J. Fischer zu *„Raman and infrared microscopical analysis of multilayer backsheets”* (JKU-IPMT).
 - “ASPM Conference” (03.-05.04.2013; Bled, SI); Vortrag von K. J. Geretschläger, G. M. Wallner, J. Fischer zu *„Spectroscopic, thermal and (thermo)mechanical analysis of multilayer backsheets”* (JKU-IPMT).
 - “5th International Materials Education Symposium” (05.04.2013; Cambridge, UK); Posterpräsentation von R. W. Lang et al. zu *„Polymeric Materials – The Key Materials for Sustainable Development Technologies”* (JKU-IPMT).
 - „OED Careers/Karrierechance Ökoenergie“ (13.06.2013; Linz, A); Vortrag von R. W. Lang zu *„Ein Studienprogramm am Puls der Zeit: Kunststofftechnik & Polymertechnologien an der JKU Linz / Kunststoffe für Energieeffizienz und Solartechnologien“* (JKU-IPMT).

- “HPLC 2013” (16.-20.06.2013; Amsterdam, NL); Posterpräsentation von I. Hintersteiner, W. Buchberger, G. M. Wallner zu *“Analysis of stabilisers in plastic materials used for photovoltaic modules by HPLC and MS techniques”* (JKU-IAC, JKU-IPMT).
- “ESOPS19” (07.-11.07.2013; Prague, CR); Vortrag von J. Fischer, M. Grabmann, G. M. Wallner zu *“Raman spectroscopical analysis of melting transitions in beta-nucleated polypropylene”* (JKU-IPMT).
- „12. Österreichische Photovoltaik Tagung“ (03.-05.11.2014; Linz, A); Vortrag von Lang, R. W. zu *„PV – Chancen für den Technologiestandort Österreich“* sowie Beteiligung an der Podiumsdiskussion (JKU-IPMT).
- „12. Österreichische Photovoltaik Tagung“ (03.-05.11.2014; Linz, A); Posterpräsentation von Grabmann, M., Fischer, J., Wallner, G.M., Brandstätter, A., Grieshofer, H., Schnetzinger, K. zu *„Aging behavior of novel ionomer-based embedding films for photovoltaic modules“* (JKU-IPMT).
- „12. Österreichische Photovoltaik Tagung“ (03.-05.11.2014; Linz, A); Posterpräsentation von Geretschläger, K.J., Wallner, G.M. zu *„Basic characterization of polyethylene terephthalate (PET) mono films for PV backsheets“* (JKU-IPMT).
- „Junganalytiker-Forum“ (2014; Tulln, A); Vortrag von Hintersteiner I. zu *„Characterization of hindered amine light stabilisers (HALS) and their quantitation in polymers using CE-UV and CE/QTOF-MS“* (JKU-IAC).
- „CE-Forum“ (2014; Marburg, SI); Vortrag von Hintersteiner I. zu *„ Characterization and quantitation of hindered amine light stabilisers (HALS) in synthetic polymers using CZE/QTOF-MS“* (JKU-IAC).
- „11. Workshop Photovoltaik-Modultechnik“ (2014; Köln, D); Vortrag von Wallner G. M. zu *„Recyclierbarkeit von PV-Einkapselungsfolien aus Kunststoff“* (JKU-IPMT).

6 Kontaktdaten

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Reinhold W. Lang

Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)

Altenbergerstrasse 69

A-4040 Linz

Tel: +43 732 2468 6610

Fax: +43 732 2468 6613

e-mail: reinhold.lang@jku.at

Webpage des Instituts: www.jku.at/ipmt

Webpage des gegenständlichen Projekts: www.solpol.at

Wissenschaftliche Partner

Austrian Institute of Technology (AIT)

JKU - Institut für Analytische Chemie (JKU-IAC)

Unternehmenspartner

APC Advanced Polymer Compounds (APC)

Borealis AG (Borealis)

KIOTO Photovoltaics GmbH (KIOTO)

Lenzing Plastics GmbH & Co KG (Lenzing)

PerkinElmer Vertriebs GmbH (PerkinElmer)

SENOPLAST KLEPSCH & Co. GmbH (SENOPLAST)

Sunplugged GmbH (Sunplugged)