

e!MISSION.at

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

30/06/2014

Projekttitle: Biogene Kunststoffe für solartechnische Applikationen

Projektnummer: KR12EF1K01038

e!MISSION.at - 1. Ausschreibung

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

Ausschreibung	1. Ausschreibung e!MISSION.at
Projektstart	01/04/2013
Projektende	30/06/2014
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	15 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben
AnsprechpartnerIn	Dr. Katharina Resch
Postadresse	Otto Glöckel-Strasse 2, 8700 Leoben
Telefon	03842 402 2105
Fax	03842 402 2101
E-mail	katharina.resch@unileoben.ac.at
Website	www.kunststofftechnik.at ; www.unileoben.ac.at

Biogene Kunststoffe für solartechnische Applikationen

AutorInnen:

Dr. Katharina Resch, Dr. Gernot Oreski

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	4
2	Einleitung	5
2.1	Zielsetzung und Einordnung in das thematische Programm.....	5
2.2	Gliederung der Forschungsarbeiten und wissenschaftlich-experimentelle Vorgehensweise.....	6
3	Inhaltliche Darstellung.....	8
3.1	Werkstoffauswahl und -verarbeitung.....	8
3.2	Untersuchung des Eigenschaftsprofils und des Alterungsverhaltens	8
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	11
5	Ausblick und Empfehlungen.....	14
6	Literaturverzeichnis	15
7	Kontaktdaten	16

2 Einleitung

2.1 Zielsetzung und Einordnung in das thematische Programm

In der Vernetzung der Kunststoffforschung mit der Solarenergieforschung liegt ein hohes Potenzial für innovative Weiterentwicklungen von Komponenten und Systemen, sowohl was deren Funktionsfähigkeit als auch was die Wirtschaftlichkeit (Kostenreduktion) anbetrifft. In der Photovoltaik sind Kunststoffe als Einkapselungs- und Rückseitenmaterialien von Modulen bereits seit vielen Jahren Stand der Technik. Dennoch besteht stetig werkstofflicher Innovationsbedarf, vor allem um neue kosteneffizientere Produktionstechniken für Module zu etablieren. In der Solarthermie gewinnen Kunststoffe erst in den letzten Jahren an Bedeutung. Zahlreiche aktuelle Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten renommierter Forschungsinstitute der Polymerwissenschaften und der Solartechnik sowie der Global Player der Solar- und Kunststoffindustrie zeigen deutlich, dass Kunststoff auch der Werkstoff der Zukunft in solarthermischen Systemen sein wird. Neben den klassischen petrochemischen Kunststoffen etablieren sich jüngst Biokunststoffe, d.h. Kunststoffe welche auf nachwachsenden Rohstoffen basieren und/oder welche biologisch abbaubar sind, als neue, nachhaltige und zukunftssträchtige Werkstoffe am Markt, die bereits sehr erfolgreich unter anderem in der Automobil- und Elektronikindustrie eingesetzt werden. Das Potenzial dieser Biokunststoffe als Werkstoffe auch für solartechnische Komponenten und Systeme ist hoch einzuschätzen. Für Solarapplikationen wurden Biokunststoffe bislang jedoch noch nicht systematisch und umfangreich untersucht und charakterisiert. Bis dato sind keine Informationen über deren solartechnisch relevanten Eigenschaften (optische, mechanische, thermische Eigenschaften) bzw. über Eigenschaftsänderungen durch langzeitige Einwirkung in der Solartechnik vorherrschender Umgebungsbedingungen (UV-Strahlung und/oder Feuchtigkeit und/oder Temperatur) bekannt. Die **Hauptzielsetzung** des gegenständlichen Projekts lag daher in der **umfassenden Sondierung und Auslotung des Potenzials und der Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen.**

In Hinblick auf das thematische Programm **e!mission des Klima- und Energiefonds (1. Ausschreibung)** adressiert das Projekt das **Themenfeld 2 (Erneuerbare Energie)** und dabei die **Subschwerpunkte 2.2 (Photovoltaik) und 2.3 (Solarthermie)**. Im Mittelpunkt des Subschwerpunktes 2.2 stehen neue Materialien für die Anwendung in der Photovoltaik (PV). Kostengünstige Biokunststoffe, die das für die Anwendung notwendige Anforderungsprofil erfüllen, können einen wichtigen Beitrag zur Erreichung von Kostensenkungen in der Photovoltaik leisten. Kostensenkungen werden als der Schlüssel für den weiteren erfolgreichen Ausbau von der Photovoltaik gesehen, um damit in Zukunft die Netzparität zu erreichen und damit den Anteil erneuerbarer Energien am Energiemix zu erhöhen. Subschwerpunkt 2.3 adressiert vornehmlich Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen bei Solarkollektoren, beispielsweise durch die Erprobung und den Einsatz neuer Materialien wie Kunststoffe. Biokunststoffe stellen insbesondere in Hinblick auf prognostizierte steigende Rohölpreise ökonomisch höchst interessante Alternativen zu konventionellen, erdölbasierenden Kunststoffen, mit entsprechend positiven Implikationen auf die Kosten- und damit Preisentwicklung der daraus hergestellten Komponenten und Systeme, dar. Durch das Projekt sind damit Impulse zur Erarbeitung völlig neuer,

innovativer und besonders ökologischer und nachhaltiger Lösungswege auf Kunststoffbasis für die Solarbranche sowie zur Erschließung neuer Anwendungsfelder und Zielmärkte für die aufstrebende Biopolymerbranche zu erwarten. Die im Projekt aufgebaute Expertise trägt daher zur **innovativen Weiterentwicklung bestehender Lösungen bzw. Konzepte in der Solartechnik** bei und kann in weiteren Forschungsfeldern der Photovoltaik, Solarthermie und Kunststofftechnik gewinnbringend eingesetzt werden. Damit trägt es zur **wissenschaftlichen Positionierung und Sichtbarkeit der Projektpartner** und aufgrund der bereits existierenden engen Vernetzung mit der Industrie zum **Ausbau der Technologieführerschaft** bzw. zur **Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen** bei.

2.2 Gliederung der Forschungsarbeiten und wissenschaftlich-experimentelle Vorgehensweise

Die Hauptzielsetzung des gegenständlichen Projekts lag in der umfassenden Sondierung und Auslotung des Potenzials und der Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieranlagen. Daraus wurden folgende **Einzelzielsetzungen** abgeleitet:

- Ermittlung eines umfassenden polymerphysikalischen Eigenschaftsprofils von Biokunststoffen in Hinblick auf solartechnische Applikationen
- Untersuchung der Alterungscharakteristik von Biokunststoffen unter für solartechnische Applikationen relevanten Bedingungen
- Evaluierung der Substituierbarkeit von Werkstoffen in unterschiedlichen Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieranlagen durch Biokunststoffe

Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellungen erfolgte im Rahmen folgender **vier technisch-experimenteller Arbeitspakete**:

- Arbeitspaket 1: Recherche und Auswahl von Biokunststoffen
- Arbeitspaket 2: Polymerphysikalisches Eigenschaftsprofil von Biokunststoffen
- Arbeitspaket 3: Alterungscharakteristik von Biokunststoffen
- Arbeitspaket 4: Evaluierung von Biokunststoffen für Solarapplikationen

Arbeitspaket 1 befasste sich mit der **Recherche, dem Screening und der Auswahl** prinzipiell infrage kommender **Biokunststoffe** basierend auf Erkenntnissen von Vorprojekten bzw. der Literatur sowie der Expertise der Projektbeteiligten was prinzipielle werkstoffliche Anforderungen an Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieranlagen betrifft, unter Zuhilfenahme etablierter Werkstoffauswahltools. Für Solarapplikationen prinzipiell infrage kommende Biokunststoffe wurden von den entsprechenden Rohstoffherstellern in Granulatform bezogen und mittels Cast-Extrusionsverfahren zu Folien verarbeitet, aus denen die für die in den Arbeitspaketen 2 und 3 geplanten Charakterisierungsverfahren erforderlichen Prüfkörper gefertigt werden.

In Arbeitspaket 2 erfolgten die **umfassende Charakterisierung anwendungsrelevanter Eigenschaften** der in Arbeitspaket 1 ausgewählten Referenzmaterialien und damit die Ermittlung des

polymerphysikalischen Eigenschaftsprofils von Biokunststoffen für Solaranwendungen. Dabei wurden insbesondere die mechanischen, thermo-mechanischen, thermischen und spektroskopischen Charakteristika der Werkstoffe ermittelt, sowie Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erarbeitet. Ausgehend von den generierten Ergebnissen erfolgte eine Evaluierung für welche Komponenten in Photovoltaik- und Solarthermieanlagen die unterschiedlichen Biokunststoffe als Werkstoffe prinzipiell einsetzbar sind. Basierend darauf wurden die Werkstoffe für die weiterführenden Alterungsuntersuchungen in Arbeitspaket 3 festgelegt.

Arbeitspaket 3 beschäftigte sich mit der **Untersuchung des intrinsischen Alterungsverhaltens** von in Arbeitspaket 2 ausgewählten Biokunststoffen unter in solartechnischen Anwendungen vorherrschenden Bedingungen. Entsprechend der für die einzelnen Werkstoffe infrage kommenden Systemkomponenten wurden maßgeschneiderte Alterungsprozedere (thermisch, thermo-oxidativ, photo-oxidativ, hydrolytisch) festgelegt und die jeweilige Werkstoffbeanspruchung durchgeführt. Nach Bestimmung des thermischen, thermo-mechanischen, mechanischen und spektroskopischen Eigenschaftsprofils der gealterten Referenzmaterialien und der polymerphysikalischen Interpretation der Daten. Anschließend erfolgte eine erste Beurteilung des werkstofflichen Optimierungsbedarfs bzw. werkstofflicher Optimierungsmöglichkeiten.

Arbeitspaket 4 befasste sich mit der abschließenden und übergeordneten **Evaluierung der prinzipiellen Einsetzbarkeit und konkreter Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten in Photovoltaik- und Solarthermieanlagen** sowie des erforderliche werkstoffliche Optimierungsbedarfs. Methodisch kamen dabei die Gegenüberstellung und der Abgleich der prinzipiellen werkstofflichen Anforderungen in Solarapplikationen und der generierten Eigenschaftsprofile der Referenzmaterialien (aus Arbeitspaketen 2 und 3) zum Einsatz.

Durch die gewählte Vorgehensweise wurden im Projekt **folgende Aspekte** umfangreich und detailliert **adressiert**:

- Eigenschaftsprofil von Biokunststoffen mit besonderem Schwerpunkt auf solartechnische Anwendungen
- Alterungsverhalten und die Alterungscharakteristik von Biokunststoffen unter in solartechnischen Anwendungen vorherrschenden Bedingungen
- Potenzial von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen
- Konkrete Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen
- Werkstoffliche Optimierungsmöglichkeiten bzw. werkstofflicher Optimierungsbedarf von Biokunststoffen

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Werkstoffauswahl und -verarbeitung

Für vorab identifizierte mögliche Einsatzbereiche von Biokunststoffen in Solarthermie- (Rahmen, Absorber, Verglasung, Wärmetauscher) und Photovoltaik-Modulen (Einkapselung, Rahmen) erfolgte die Materialauswahl mittels Werkstoffauswahlsoftware unter Berücksichtigung der Parameter Verarbeitbarkeit durch Extrusion, Einsatztemperaturbereich (-20°C – bis 80 bzw. 100°C), mechanische Eigenschaften und Transparenz. Faktoren wie Additive oder Stabilisierung für die erforderliche Langzeitstabilität wurde im ersten Schritt nicht berücksichtigt. In Hinblick auf das Anforderungsprofil in Bezug auf die Langzeitstabilität wurden kompostierbare Polymere (z.B. Stärkepolymere) ausgeschlossen. Insgesamt wurden **25 Materialien aus folgenden 8 Werkstoffklassen** ausgewählt:

- Polymilchsäure und Polymilchsäure-Blends
- Cellulose-Polymere
- Bio-Polyethylene
- Polyhydroxyalkanoate
- Bio-Thermoplastische Elastomere
- Bio-Polyamide
- Bio-Polyester
- Wood-Compounds

Diese wurden von den entsprechenden Rohstoffherstellern in Granulatform bezogen und mittels Flachfolienextrusionsverfahren zu Folien verarbeitet, aus denen die für die geplanten Charakterisierungsverfahren erforderlichen Prüfkörper gefertigt wurden. Da derzeit übliche Verarbeitungsmaschinen nicht für die Verarbeitung von Biopolymeren optimiert sind, wurden hierzu für jedes Material die individuell erforderlichen Verarbeitungsprozessparameter bestimmt um optimale Folienqualität zu erzielen. Dennoch war die erhaltene Folienqualität teilweise unterdurchschnittlich gut (Verwölbung, Verzerrung). Die erhaltene Foliendicke variierte zwischen 350 und 600µm.

3.2 Untersuchung des Eigenschaftsprofils und des Alterungsverhaltens

Um das Potenzial derzeit verfügbarer Biokunststoffe als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieranlagen hinreichend beurteilen zu können, wurde zunächst ein grundlegendes polymerphysikalisches Verständnis der Werkstoffeigenschaften in Hinblick auf solartechnische Applikationen aufgebaut. Dies erfolgte über eine **umfassende Bestimmung der thermo-analytischen, thermo-mechanischen, mechanischen und spektroskopischen Eigenschaften** der Materialien, wofür folgende Charakterisierungsmethoden zum Einsatz kamen:

- Zugprüfung (Elastizitätsmodul, Bruchspannung und -dehnung, Festigkeit)
- Dynamisch mechanische Analyse (viskoelastische Eigenschaften, Glasübergang)
- UV/Vis/NIR-Spektroskopie (gerichtet hemisphärische sowie gerichtet diffuse Transmission und Reflexion)

- IR-Spektroskopie (Transmissions- und Absorbanzspektren)
- Differential Scanning Calorimetry (Glasübergang, etwaiger Schmelzbereich)
- Thermisch mechanische Analyse (Längenausdehnung als Funktion der Temperatur)
- Thermogravimetrie (Massenänderung als Funktion der Temperatur)

Während die thermo-mechanischen, mechanischen und UV/VIS/NIR-spektroskopischen Analysen an Folienprüfkörpern erfolgten, wurden thermo-analytische und IR-spektroskopische Messungen sowohl am bezogenen Rohstoffgranulat als auch an Folienprüfkörpern durchgeführt. Ausgehend von den Ergebnissen, den erarbeiteten Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen sowie einer ersten Evaluierung der unterschiedlichen Biokunststoffe hinsichtlich potenzieller Einsatzmöglichkeiten in Photovoltaik- und Solarthermieanlagen, wurden **elf Materialien aus folgenden Werkstoffklassen für weiterführende Alterungsuntersuchungen** ausgewählt:

- Polymilchsäure und Polymilchsäure-Blends
- Cellulose-Polymere
- Bio-Polyethylene
- Polyhydroxyalkanoate
- Bio-Thermoplastische Elastomere
- Bio-Polyamide
- Bio-Polyester

Im Rahmen der Alterungsuntersuchungen wurde für jeden Werkstoff, **seiner potenziellen Anwendung (Systemkomponente)** entsprechend, ein **maßgeschneidertes Alterungsprozedere** festgelegt (siehe Tabelle 1). Bei der Wahl der Auslagerungsparameter in Bezug auf solarthermische Komponenten wurde dabei stets von einem kunststoffgerechten Kollektordesign ausgegangen, das insbesondere für Flachkollektoren einen Überhitzungsschutz inkludiert, der die maximal auftretenden Temperaturen auf 80°C begrenzt. Anschließend erfolgte die Auslagerung (beschleunigte Alterung) von Folienprüfkörpern der Werkstoffe in anwendungsrelevanten Temperaturbereichen an Luft oder in Wasser bzw. unter UV Bestrahlung in Wärmeschränken und im Xenontest entsprechend der festgelegten Alterungsprozedere für 250, 500 und 1000 Stunden. Zusätzlich erfolgte eine Auslagerung ausgewählter Proben am Freibewitterungsprüfstand am Dach der Montanuniversität Leoben. Dabei wird das natürliche Alterungsverhalten der Materialien unter klassischen Witterungsbedingungen untersucht, wobei die Probenentnahme nach 3 Monaten erfolgte, sowie nach 6, 12, 18, 24 und 30 Monaten erfolgen wird und somit auch nach Projektabschluss noch Untersuchungsdaten erhalten werden.

Nach den festgelegten Auslagerungszeiten erfolgte eine umfassende Bestimmung der thermo-analytischen, thermo-mechanischen, mechanischen und spektroskopischen Eigenschaften der Materialien analog zur Basischarakterisierung. Aus den generierten Daten wurden Eigenschaftsänderungen evaluiert und die prävalenten Abbaumechanismen identifiziert. Ausgehend davon erfolgte die **Beurteilung werkstofflicher Optimierungsmöglichkeiten und des werkstofflichen Optimierungsbedarfs**. Abschließend wurden die **prinzipielle Einsetzbarkeit und konkrete Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten in Photovoltaik- und Solarthermieanlagen** beurteilt.

Tabelle 1: Auslagerungsprozedere für Komponenten in solartechnischen Anwendungen.

Anwendung	Auslagerungsprozedere					
	Wärmeschrank (Wasser)		Wärmeschrank (Luft)			Xenontest
	35°C	80°C	60°C	70°C	80°C	38°C
Rahmen für div. Kollektoren und PV Module						X
Absorber für Flach-, Thermosyphon- und Speicherkollektoren		X			X	X
Kollektorverglasung			X	X	X	X
Absorber für Schwimmbadkollektoren	X		X	X		X
Absorber für verglaste Luftkollektoren					X	X
Absorber für unverglaste Luftkollektoren			X	X		X
Wärmetauscher		X				X
Einkapselung für PV-Module						X

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projekts wurde zum einen **umfassendes und grundlegendes Wissen über Biopolymere** an sich, deren **Eigenschaften und Verarbeitungsverhalten** und den entsprechenden **Biopolymermarkt** aufgebaut. Sämtliche am Markt verfügbaren Biokunststoffklassen wurden umfassend polymerphysikalisch untersucht, womit das werkstoffliche Kompetenzspektrum der Projektpartner signifikant ausgebaut wurde und damit **fundiertes und umfangreiches Wissen über die gesamte Breite der Biopolymerarten** vorliegt. **Prinzipielle Herausforderungen im Umgang mit und in der Anwendung von Biopolymeren** wurden aufgezeigt. Neben der Materialverfügbarkeit und teilweise außerordentlich langen Lieferzeiten sind hierbei insbesondere das Verarbeitungsverhalten zu nennen. Biokunststoffe benötigen zur Verarbeitung spezielles Equipment bzw. Prozessparameter. Da derzeit in der Kunststoffbranche übliche Verarbeitungsverfahren und -maschinen konventionellen Kunststoffen angepasst sind, sind für Biokunststoffe maßgeschneiderte Verarbeitungsverfahren noch nicht etabliert, was teilweise in signifikanten Qualitätsschwankungen der hergestellten Folien resultierte. Gerade in Bezug auf Prozessparameter wurden daher im Projekt zahlreiche Fragestellungen aufgezeigt, welche adressiert und gelöst werden müssen, um künftig eine starke Marktdurchdringung von Biopolymeren zu ermöglichen. Darüber hinaus wurden Kontakte zu zahlreichen Biopolymerherstellern aufgebaut bzw. intensiviert, welche hohe Relevanz für künftige (Zusammen)-Arbeiten haben werden.

Zum anderen wurden **umfassende Erkenntnisse über das Potenzial von Biokunststoffen als Werkstoffe für Systemkomponenten von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen** aufgebaut. Dabei zeigte sich, dass **zahlreiche Biopolymerklassen prinzipiell ein hohes Potenzial für die Anwendung in der Solartechnik** aufweisen. Dieses soll im Folgenden für die Photovoltaik und die Solarthermie separat diskutiert werden:

Kunststoffe, die in **Photovoltaikmodulen** eingesetzt werden, haben vielfältige und zum Teil sehr herausfordernde Aufgaben zu erfüllen [1-6]. Eine kritische Komponente ist das Einbettungsmaterial der Silizium-Solarzellen. Die Hauptaufgaben sind mechanische Unterstützung, optische Verbindung sowie elektrische Isolation und physikalischer Schutz der Solarzellen. Aufgrund der wesentlichen Unterschiede in der Temperaturexpansion zwischen Kunststoffen und den Silizium-Solarzellen können durch den Tag/Nacht-Temperaturzyklus Eigenspannungen im Einbettungsmaterial entstehen, die zum Bruch der spröden Solarzellen führen können. Um diese Eigenspannungen zu verhindern, muss das Einbettungsmaterial die thermische Ausdehnung ohne Bildung von Eigenspannungen oder gar Rissen mitmachen. Diese Eigenschaften werden am besten von einem Elastomer mit niedrigem E-Modul erreicht. Die Vorderseite (Glazing) und die Rückseite (Backsheet) dienen als Schutz gegen jegliche Umwelteinflüsse, bieten elektrische Isolation und wirken als mechanische Versteifung des Moduls. Zusätzlich schwächt die Verglasung den UV-Anteil des einfallenden Sonnenlichtes ab. Während der Modul Lamination werden die Solarzellen samt den elektrischen Leitungen zwischen zwei Einbettfolien eingelegt, die wiederum mit der Glas-Vorderseite und der Rückseite (entweder aus Glas oder aus Kunststoff) zum fertigen Modul laminiert werden. Der Laminiervorgang kann je nach Material bis zu 30 Minuten pro Modul dauern und wird bei Temperaturen um etwa 150°C in Vakuum durchgeführt. Im Zuge dessen muss einerseits das Einbettmaterial so erweichen, dass es die Solarzellen samt Leiterbändchen umfließt und vollständig verkapselt. Andererseits darf die Backsheetfolie in diesem Temperaturbereich

nicht erweichen, um in weiterer Folge die elektrische Sicherheit gewährleisten zu können. Wegen der geforderten Einsatzzeiten von 20 Jahren und mehr müssen Kunststoffe, die im PV Modul eingesetzt werden, hohe Stabilität gegenüber Hydrolyse und Photo-Oxidation aufweisen.

Aufgrund der Ergebnisse wurden vier Materialien als mögliche Kandidaten für die Verwendung in PV Modulen identifiziert:

- **Einbettungsmaterial:** Bio-Thermoplastisches Elastomer, Bio-Polyethylen
- **Verglasung:** Bio-Polyamid
- **Backsheet:** Bio-Polyester, Bio-Polyamid

In der **Solarthermie** gibt es vielfältigste Kollektortypen und damit Komponenten mit dementsprechend unterschiedlichsten werkstofflichen Anforderungsprofilen. Diese reichen von Absorbern für unverglaste Schimmbad- bzw. Luftkollektoren, über Absorber und Verglasungen von verglasten Kollektoren (Flachkollektoren, Luftkollektoren, integrierte Speicherkollektoren, Thermosyphonkollektoren) bis hin zu Kollektorrahmen und Wärmetauschern. Detaillierte werkstoffliche Anforderungsprofile (in Bezug auf Kunststoffe) für die unterschiedlichsten Kollektorkomponenten sind in der Literatur beschrieben [7-14]. Im Wesentlichen geht es um die Beibehaltung der mechanischen bzw. je nach Applikation optischen Eigenschaften in einem weiten Temperaturbereich auch unter Einfluss von UV-Strahlung und Wasser. Dementsprechend ist eine hohe Stabilität gegenüber thermo-oxidativen, photo-oxidativen und hydrolytischen Abbau erforderlich.

Aufgrund der Ergebnisse wurden folgende Materialklassen als mögliche Kandidaten für die Verwendung als Komponenten von solar-thermischen Kollektoren identifiziert:

- **Kollektorverglasungen:** Cellulose-Polymere, Bio-Polyamid, Polymilchsäure-Blends, Bio-Polyethylen
- **Absorber für Schwimmbadkollektoren:** Bio-Polyethylen, evtl. Cellulose-Polymere,
- **Absorber für unverglaste Luftkollektoren:** Bio-Polyamid, Polymilchsäure und deren Blends, Bio-Polyethylen, evtl. Polyhydroxyalkanoate und Cellulose-Polymere,
- **Absorber für verglaste Luftkollektoren:** Bio-Polyethylen, Polymilchsäure-Blends, Bio-Polyamid Grilamid, evtl. Cellulose-Polymere
- **Absorber für Flach-, Thermosyphon- und Speicherkollektoren:** Bio-Polyethylen, evtl. Cellulose-Polymere
- **Wärmetauscher:** Bio-Polyethylen
- **Kollektorrahmen:** Bio-Polyamid

Für den Einsatz von Biokunststoffen in der Solarthermie sind jedenfalls Niedertemperaturkomponenten bzw. eine Begrenzung maximal auftretender Temperaturen durch Überhitzungsschutzmaßnahmen anzustreben.

In ihrer derzeitigen Form sind die untersuchten **Biokunststoffe noch nicht für eine reale Anwendung in der Solartechnik geeignet**. Zum einen sind Verbesserungen in den mechanischen Eigenschaften (z.B. Sprödigkeit) erforderlich. Zum anderen muss die Langzeitstabilität in Hinblick auf thermo-oxidativen, photo-oxidativen und hydrolytischen Abbau erhöht werden. Bei allen genannten Materialien besteht das **Potenzial eine Optimierung der Eigenschaften** durch Anpassungen der molekularen und

supermolekularen Struktur (z.B. durch Blending, Copolymerisation) sowie durch gezielte Stabilisierung der Materialien gegen thermo- und photooxidativen Abbau (z.B. durch spezielle Biopolymer-Additive und Stabilisatoren) zu erreichen und die Anwendung möglich zu machen. Erste Ansatzpunkte für eine gezielte Werkstoffoptimierung sind aus den erarbeiteten Struktur-Eigenschafts-Beziehungen ableitbar.

5 Ausblick und Empfehlungen

Durch das Projekt wurde das große Potenzial von Biokunststoffen für Solaranwendungen, ausgehend davon darüber hinaus auch für andere, ähnliche Strukturanwendungen aufgezeigt. Dem Charakter des Projekts als Sondierungsprojekt entsprechend, wurden neben zahlreichen Erkenntnissen aber auch viele neue Fragestellungen aufgeworfen, welche in zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten adressiert werden sollten, um künftig eine starke Marktdurchdringung von Biokunststoffen in unterschiedlichsten Applikationen zu ermöglichen:

Weiterführende Forschungsarbeiten sollen und müssen sich einerseits umfangreich den Aspekten der Verarbeitung von Biokunststoffen widmen. Derzeit in der Kunststoffbranche übliche Verarbeitungsverfahren und -maschinen sind konventionellen Kunststoffen angepasst. Da für die Verarbeitung von Biokunststoffen jedoch spezielles Equipment bzw. spezielle Prozessführung erforderlich ist, besteht derzeit insbesondere in Bezug auf maßgeschneiderte Verarbeitungsmaschinen und Prozesstechnik Optimierungs- und Handlungsbedarf.

Andererseits sollten weiterführende Forschungsarbeiten werkstoffliche Optimierungen von Biokunststoffen adressieren. Insbesondere sind die Optimierung der mechanischen Eigenschaften sowie eine Stabilisierung der Materialien gegen thermo- und photooxidativen Abbau erforderlich. Künftige Arbeiten sollten sich mit einer gezielten Werkstoffoptimierung durch Anpassungen in der molekularen und supermolekularen Struktur (z.B. Copolymerisation, Blending) bzw. durch Zufügen von speziellen Additiven und Stabilisatoren befassen. Insbesondere die Themen „Additive für Biopolymere“ sowie „Bioadditive“ weisen dabei eine hohe Wissenschafts- und Praxisrelevanz auf.

Eine weitere Fragestellung für die Zukunft betrifft die Kosten von optimierten oder modifizierten Biopolymeren, die für einen Einsatz in Solaranwendungen in Frage kommen würden. Aufgrund des herrschenden Kostendrucks, speziell in der Photovoltaik, kommen derartige Werkstoffe nur dann in Frage, wenn sie bei in allen Belangen zumindest gleichen oder teilweise besseren Eigenschaften die gleichen Kosten wie vergleichbare, derzeit eingesetzte Werkstoffe aufweisen.

Aus dem Sondierungsprojekt heraus können und sollen daher zahlreiche industrielle Forschungsvorhaben zur Optimierung und Weiterentwicklung von Biokunststoffen sowie zur Anwendung von Biokunststoffen in Photovoltaik und Solarthermie initiiert werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Czanderna, A.W., Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 1996; 43(2), pp. 101 – 181,
2. Oreski, G., Wallner, G.M., Aging mechanisms of polymeric films for PV encapsulation, *Solar Energy* 2005, 79, pp. 612-617.
3. Saint-Lary, A., Photovoltaic modules reliability on accelerated and natural test, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2012; pp. 3523-3525,
4. Wohlgemuth J.H., Cunningham D.W, Nguyen A.M., Miller J., Long Term Reliability of PV Modules, *Proceedings of 20th EU PVSEC*, 2005; pp. 1942-1946.
5. Gambogi, W., The Role of Backsheet in Photovoltaic Module Performance and Durability, 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2011; pp. 3325 – 3328,
6. Köntges M, Kurz S, Packard C, Jahn U, Berger KA, Kato K, Friesen T, Liu H, Iseghem MV. Review of Failures Photovoltaic Modules. IEA PVPS Task 13 - International Energy Agency - Photovoltaic Power Systems Programme (www.iesa-pvps.org). Performance and Reliability of Photovoltaic Systems. Subtask 3.2: ISBN 978-3-906042-16-19, 2014, 132p.
7. Burch, J., 2006. Polymer-based solar thermal systems: past, present and potential products, *SPE Annual Technical Conference 2006*, 1877-1882.
8. Davidson, J.H., Mantell, S.C., Jorgensen, G.J., 2003. Status of the Development of Polymeric Solar Water Heating Systems. *Adv. in Sol. Energy* 15, 149-186.
9. Jorgensen, G., Brunold, S., Carlsson, B., Möller, K., Heck, M., Köhl, M., 2003. Durability of Polymeric Glazing Materials for Solar Applications, *First European Weathering Symposium Prague, Czech Republic September 25-26*.
10. Kahlen, S., 2009 *Aging Behavior of Polymeric Absorber Materials for Solar Thermal*
11. *Collectors*. PhD Thesis. November, 2008. Institute of Materials Science and Testing of Plastics. University of Leoben, Austria.
12. Mantell, S., Davidson, J., 2006. Long term performance of polymers for solar hit water applications, *SPE Annual Technical Conference 2006*, 766-660.
13. Raman, R., Mantell, S., Davidson, J., Wu, C., Jorgenson, G., 2000. A review of polymer materials for solar water heating systems, *J. Sol.Energy Eng.* 122, 92.
14. Wallner, G.M., Resch, K., Hausner, R. (2008). Property and performance requirements for thermotropic layers to prevent overheating in an all polymeric flat-plate collector, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92, 614-620.

7 Kontaktdaten

Projektleitung:

Dr. Katharina Resch

Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben

Otto Glöckel-Straße 2, 8700 Leoben

03842 402 2105

katharina.resch@unileoben.ac.at

www.unileoben.ac.at

www.kunststofftechnik.at

Kooperationspartner:

Dr. Gernot Oreski

Polymer Competence Center Leoben GmbH

Roseggerstrasse 12, 8700 Leoben

03842 42962 51

gernot.oreski@pccl.at

www.pccl.at