

# NEUE ENERGIEN 2020

## Publizierbarer Endbericht

### Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

### Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

## Projektdaten

<b>Kurztitel</b>	<b>SolPol-2</b>
<b>Langtitel</b>	<b>Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen - Teil 2</b> Entwicklung von neuartigen Kollektoren und Kunststoff-Compounds
<b>Projektnummer</b>	<b>827788</b>
<b>Programm/Programmlinie</b>	<b>Neue Energien 2020</b> <b>3. Ausschreibung</b>
<b>Antragsteller</b>	Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT) O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Reinhold W. Lang
<b>Projektpartner</b>	<p><b>Wissenschaftliche Partner</b></p> <p>Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)</p> <p>Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Analytische Chemie (JKU-IAC)</p> <p>Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Chemie der Polymere (JKU-ICP)</p> <p>Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Chemische Technologie Organischer Stoffe (JKU-CTO)</p> <p>Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymer-Spritzgießtechnik und Prozessautomatisierung (JKU-IPIM)</p> <p>Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)</p> <p>Kunstuniversität Linz, Institut für Raum und Design, Abteilung Industrial Design (UFG-ID)</p> <p>Universität Innsbruck, Lehrstuhl für Energieeffiziente Gebäude und Erneuerbare Energie (UIBK-EGEE)</p> <p><b>Unternehmenspartner</b></p> <p>AGRU Kunststofftechnik GmbH (AGRU)</p> <p>APC Advanced Polymer Compounds (APC)</p> <p>Borealis Polyolefine GmbH (Borealis)</p> <p>ENGEL Austria GmbH (ENGEL)</p> <p>Greiner Technology &amp; Innovation GmbH (Greiner)</p> <p>KEKELIT Kunststoffwerk Gesellschaft m.b.H. (KE KELIT)</p> <p>Lenzing Plastics GmbH (Lenzing)</p>

	Schöfer GmbH (Schöfer) Sunlumo Technology GmbH (Sunlumo)	
<b>Projektstart u. - Dauer</b>	Projektstart: 01.12.2010	Dauer: 41 Monate
<b>Berichtszeitraum</b>	von 01.12.2012 – 30.04.2014	
<p><b>Synopsis zu <i>SolPol-2</i>:</b></p> <p>In der Vernetzung der Kunststoff- und Solarenergieforschung liegt ein hohes Potenzial für innovative Weiterentwicklungen von Solarthermie-Technologien. Das gegenständliche Projekt betreffend Teil 2 (<i>SolPol-2</i>) zweier sich ergänzender Projekte ist als Industrielle Forschung konzipiert, um basierend auf den in Teil 1 (<i>SolPol-1</i>) begleitend erarbeiteten wissenschaftlichen und methodischen Erkenntnissen neuartige Modell-Kollektoren mit hohem Kunststoffanteil und Kunststoff-Compounds für solarthermische Anwendungen zu entwickeln.</p>		

## INHALT

<b>Kurzfassung</b>	<b>5</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2. Inhalte und Ergebnisse von SolPol-2</b>	<b>8</b>
<b>3. Wesentliche Schlussfolgerungen von SolPol-2</b>	<b>12</b>
<b>4. Ausblick und Empfehlungen</b>	<b>12</b>
<b>Literatur</b>	<b>13</b>
<b>Anhang: Zusammenstellung der Tabellen und Abbildungen</b>	<b>17</b>

### **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**

*Christian Fink, Robert Hausner, Alexander Kaiser, Thomas Ramschak*

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

*David Nitsche*

AGRU Kunststofftechnik GmbH (AGRU)

*Willibald Koller, Roland Riepl*

Greiner Technology & Innovation GmbH (Greiner)

*Wolfgang Buchberger, Susanne Beißmann*

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

*Christian Paulik, Klaus Bretterbauer*

Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Chemische Technologie Organischer Stoffe (JKU-CTO)

*Oliver Brüggemann, Stephan Beer*

Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Chemie der Polymere (JKU-ICP)

*Georg Steinbichler, Bernhard Praher*

Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Polymer-Spritzgießtechnik und Prozessautomatisierung (JKU-IPIM)

*Harald Schobermayr, Klemens Grabmayer, Harald Kicker, Markus Povacz*

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

*Robert Buchinger*

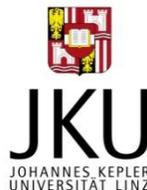
Sunlumo Technology GmbH (Sunlumo)

*Axel Thallemer, Martin Danzer, Florian Nimmervoll*

Kunstuniversität Linz, Institut für Raum und Design, Abteilung Industrial Design (UFG-ID)

*Wolfgang Streicher, Alexander Thür, Claudia Hintringer*

Universität Innsbruck – Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften (UIBK-EGEE)



## Kurzfassung

In der Vernetzung der Kunststoff- und Solarenergieforschung liegt ein hohes Potential für die Weiterentwicklung von Solarthermie-Technologien. *SolPol-1* betrifft Teil 1 zweier sich ergänzender Projekte und ist als Grundlagenforschung zur Schaffung der wissenschaftlichen und methodischen Voraussetzungen für die Entwicklung neuartiger Kollektorsysteme in Kunststoffbauweise sowie zur Abschätzung der ökologischen und ökonomischen Folgewirkungen konzipiert. Die Industrielle Forschung zur Entwicklung von neuartigen Polymermaterialien sowie daraus herzustellender Modell-Kollektoren und -Komponenten ist Gegenstand des zeitversetzt gestarteten, assoziierten Kooperativen Projektes *SolPol-2* (Titel: *Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Teil 2: Entwicklung von neuartigen Kollektoren und Kunststoffcompounds*), auf das sich der gegenständliche Bericht bezieht.

Im Forschungsprogramm des Kooperativen Industriellen Forschungsprojektes *SolPol-2* werden in insgesamt 6 Arbeitspaketen (AP) folgende Themen mit den angeführten Zielsetzungen behandelt:

- AP-01:** *Eigentemperatursicherer solarthermischer Modell-Kollektor mit hohem Polyolefinanteil (OHC Collector)* – Detailkonzeption, Simulation, Werkstoffauswahl, Fertigung, Aufbau und Vermessung von Modell-Kollektoren.
- AP-02:** *Solarthermische Modell-Kollektoren ohne Überhitzungsschutz in Kunststoff- und Hybridbauweise (Hybrid Collector)* – Detailkonzeption, Simulation, Werkstoffauswahl, Herstellung, Simulation und Vermessung von Modell-Kollektoren.
- AP-03:** *Konzeptstudie zu Großflächen-Folien-Kollektoren (Large-Area Film Collector)* – Identifizierung, Auswahl und Charakterisierung geeigneter Werkstoffe und Halbzeuge.
- AP-04:** *Langzeitbeständige funktionale Polyolefine mit spektral-selektiven Eigenschaften (Functional Compounds)* – Systematische Variation der Einsatzstoffe, Optimierung der solaren Absorption sowie Herstellung und Vermessung von Modell-Kollektoren.
- AP-05:** *Polyolefin-Compounds für langzeitbeständige Wasser-Wärmespeicher adaptierbarer Kapazität (Durable Compounds)* – Werkstoffentwicklung, Herstellung von Halbzeugen und beschleunigte Charakterisierung des Alterungsverhaltens für anwendungsrelevante Bedingungen.
- AP-06:** *Neuartige Designkonzepte für Vollkunststoff-Kollektorsysteme (ID Collector Concepts)* – Ideenskizzen für neuartige Voll-Kunststoffkollektoren, Simulation und Werkstoffauswahl

Die Ergebnisse von *SolPol-1* und *SolPol-2* sind eine wichtige Voraussetzung für die weitere effiziente und zielgerichtete industrielle Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Solarthermie aber auch für die Etablierung und Marktdurchdringung von künftigen, durchgängig optimierten solarthermischen Systemen in Kunststoffbauweise. Die Gesamtkostenreduzierung derartiger Systeme betreffend ist als Mindestzielsetzung für die in Europa vorherrschenden gepumpten Systeme eine Halbierung anzusetzen. Berücksichtigt man, dass derzeit die Kollektorkosten von gepumpten solarthermischen Systemen bei etwa 10-20 % der Gesamtsystemkosten liegen, wird deutlich, dass das Kostenreduktionsziel nur durch eine umfassende Optimierung des Gesamtsystems bei gleichzeitiger Realisierung hoch-integrierter, multifunktionaler "Plug&Function"-Elemente (Komponenten und Baugruppen) mit deutlich reduziertem Installationsaufwand zu bewerkstelligen ist. Die genannten Attribute zu erreichen ist die zentrale Herausforderung künftiger Innovationen und damit auch der bestimmende Faktor zur Wiederbelebung des europäischen Solarthermiemarktes und ist wohl nur in Kunststoffbauweise zu realisieren. Gleiches bzw. Analoges gilt, wenn auch mit anderen Voraussetzungen und Randbedingungen, für die künftige Weiterentwicklung des Solarthermie-Weltmarktes. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde vom *SolPol*-Konsortium im Förderprogramm e!MISSION.at das Nachfolge-Forschungsvorhaben *SolPol-4/5* eingereicht, das mittlerweile genehmigt und gestartet wurde.

## 1 Einleitung

Wie in anderen industrialisierten Ländern der gemäßigten Klimazone, hat auch in Österreich der Sektor Warmwasser und Raumwärmebereitstellung mit etwa 30 % den bedeutendsten Anteil am Endenergieverbrauch. Szenarien auf nationaler und europäischer Ebene ergeben für diesen sogenannten „Niedertemperaturbereich“ mit Arbeitstemperaturen bis ca. 90 °C ein starkes Entwicklungspotenzial für eine solarthermische Deckung, die aktuell bei etwa 3 % liegt (Weiss und Biermayr, 2009).

Dennoch liegt Österreich derzeit im internationalen Vergleich in nahezu allen Sektoren der Solarthermie im Spitzenfeld. So ist Österreich bei der in Betrieb befindlichen Kollektorfläche mit ca. 4,7 Mio. m<sup>2</sup> weltweit an sehr guter 9. Stelle platziert (Stand 2011; Mauthner und Weiss, 2013). Wird die installierte Fläche auf die Einwohnerzahl bezogen, liegt Österreich weltweit gesehen mit ca. 0,58 m<sup>2</sup>/Person sogar an 3. Stelle, in Europa nach Zypern an 2. Stelle (Mauthner und Weiss, 2013). Zusammen mit Deutschland zählt Österreich auch zu den europäischen Technologieführern im Bereich der Solarthermie. Dies gilt sowohl für die industrielle Produktion als auch für Forschung und Entwicklung.

Solarthermische Kollektoren und Kollektorsysteme werden derzeit in aufwändigen und kostenintensiven Fertigungsprozessen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien mit einem vergleichsweise geringen Kunststoffanteil gefertigt. Der überwiegende Anteil der weltweit installierten solarthermischen Kollektoren entfällt derzeit auf Vakuumröhrenkollektoren (62,3 %) gefolgt von verglasten Flachkollektoren (27,9 %), wobei beide Kollektortypen vornehmlich für die Warmwasserbereitung und die Heizungsunterstützung mit einer Arbeitstemperatur bis etwa 90 °C eingesetzt werden. Kostengünstige Kunststoffkollektoren (9,2 %) kommen bis dato fast ausschließlich als nicht-abgedeckte Absorbermatten für die Schwimmbaderwärmung mit einer Arbeitstemperatur von etwa 30 °C zum Einsatz. Der verbleibende Anteil von 0,7 % entfällt auf Luftkollektoren (Mauthner und Weiss, 2013).

Bevor auf die Inhalte, Zielsetzungen und Ergebnisse des gegenständlichen Berichtes eingegangen wird sei angemerkt, dass sämtliche Tabellen und Abbildungen auf die im nachfolgenden Textteil verwiesen wird, im Anhang dieses Berichtes zusammen gestellt sind.

### **Zielsetzungen, Forschungsprogramm und Methodik**

Abgesehen von der begrenzten künftigen Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffressourcen, wie beispielsweise Kupfer für Absorber, liegt in der Verwendung eines zunehmenden Anteils von Polymerwerkstoffen in solarthermischen Systemen auch ein hohes Potential für innovative Weiterentwicklungen in Bezug auf Funktionsfähigkeit und attraktiveres Design mit gleichzeitigen Folgewirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (Kostenreduktion) und die Marktdurchdringung. Daher war eine übergeordnete Gesamtzielsetzung des gegenständlichen Forschungsvorhabens, die anwendungsmäßige und technologische Spitzenposition Österreichs auf dem Gebiet der Solarthermie durch polymerbasierende innovative Neuentwicklungen auch künftig sicherzustellen bzw. diese sogar weiter auszubauen. Dazu sollten die existierenden Stärken Österreichs auf den Gebieten der Solarthermie und der Kunststofftechnologien zusammengeführt, zielgerichtet ausgebaut und in innovative Produktentwicklungen umgesetzt werden. Gleichzeitig soll damit auch ein wesentlicher Beitrag zur Verbreitung erneuerbarer Energietechnologien und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen geleistet werden.

Zur Erreichung obiger Gesamtzielsetzung wurde vom Konsortium der Projektpartner ein Forschungsvorhaben bestehend aus zwei sich ergänzenden Projekten konzipiert (Lang et al. 2011c, 2013b), dem Projekt *SolPol-1* als *Teil 1* für die erforderliche Grundlagenforschung (insgesamt 5 Wissenschaftliche Partner) und einem separat eingereichten und zeitversetzt genehmigten, gegenständlichen kooperativen Projekt *SolPol-2* als *Teil 2* für die

Industrielle Forschung (insgesamt 8 Wissenschaftliche Partner und nach Zusammenschluss zweier Unternehmenspartner (SUN MASTER Energiesysteme GmbH und Greiner Technology & Innovation GmbH) 9 Unternehmenspartner). Die Leitung der *SolPol*-Projekte obliegt dem *Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung* der Johannes Kepler Universität Linz (JKU-IPMT), das neben der inhaltlichen Koordination und wissenschaftlichen Leitung (R. W. Lang und G. Wallner) auch die sonstigen Management- und Administrationsaufgaben (Leitung J. Fischer) innehat. Wesentliche Daten und Fakten zu den Projekten *SolPol-1* und *SolPol-2* sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Die spezifischen Zielsetzungen des Projektes *SolPol-1* liegen in der Schaffung der wissenschaftlichen und methodischen Voraussetzungen für die Entwicklung neuartiger thermischer Kollektorsysteme in Kunststoffbauweise sowie in der Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Folgewirkungen bei entsprechender Marktdurchdringung. Die Industrielle Forschung zur Entwicklung von neuartigen Polymermaterialien sowie daraus herzustellender Modell-Kollektoren und -Komponenten ist Gegenstand des gegenständlichen, assoziierten kooperativen Projektes *SolPol-2* (Titel: *Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Teil 2: Entwicklung von neuartigen Kollektoren und Kunststoffcompounds*). Das gesamte Forschungsprogramm der Projekte *SolPol-1* und *SolPol-2* besteht aus insgesamt 9 Work Packages (WP für *SolPol-1*) bzw. Arbeitspaketen (AP für *SolPol-2*), die entlang der Wertschöpfungskette in **Abb. 1** gezeigt sind.

Im Grundlagenforschungsprojekt *SolPol-1* werden im Forschungsprogramm in 3 Arbeitspaketen ("work packages", WP) folgende Themen mit den angeführten Zielsetzungen behandelt:

- WP-01:** Leistungsanforderungen an Polymerwerkstoffe in solarthermischen Systemen – Komponentenspezifische Definition der Performance- und Eigenschaftsprofile inkl. Quantifizierung der physikalischen und technischen Werkstoffeigenschaften
- WP-02:** Zeitraffende Charakterisierungsmethoden für Polymerwerkstoffe für solarthermische Komponenten in Kontakt mit Wasser und Luft
- WP-03:** Nationale und europäische ökonomische und ökologische Perspektiven für thermische Kollektorsysteme aus Kunststoff – Marktpotential, CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale und volkswirtschaftliche Auswirkungen

Das industrielle Forschungsprojekt *SolPol-2* besteht aus den folgenden 6 Arbeitspaketen (AP):

- AP-01:** Eigentemperatursicherer (überhitzungsgeschützter) solarthermischer Kollektor mit hohem Polyolefinanteil (OHC Collector)
- AP-02:** Solarthermische Kollektoren ohne Überhitzungsschutz in Kunststoff- und Hybridbauweise (Hybrid Collector)
- AP-03:** Konzeptstudien zu Folienmembran-Kollektoren (Large-Area Film Collector)
- AP-04:** Entwicklung von langzeitbeständigen, funktionalen Polyolefinen mit spektral-selektiven Eigenschaften (Functional Compounds)
- AP-05:** Entwicklung von Polyolefin-Compounds für langzeitbeständige Wasser-Wärmespeicher adaptierbarer Kapazität (Durable Compounds)
- AP-06:** Neuartige Designkonzepte für Vollkunststoff-Kollektorsysteme (ID Collector Concepts)

Den gegenständlichen Abschlussbericht von *SolPol-2* betreffend entspricht die obige Struktur der Arbeitspakete AP-01 bis AP-06 gleichzeitig auch dem inhaltlich-methodischen Ansatz der Forschungsarbeiten. Ein wesentliches weiteres methodisches Element von *SolPol-2* lag in der multi-lateralen Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete und Problemstellungen durch die beteiligten Forschungspartner. In enger Kooperation der beteiligten Fachleute unterschiedlicher Disziplinen nehmen dabei je nach Aufgabenstellung ExpertInnen aus der Solartechnik (AP-01 bis AP-03), der Kunststofftechnik (AP-04 und AP-05) oder aus den Bereichen des industriellen Designs und

Kunststofftechnik (AP-06) führende Rollen in den einzelnen Arbeitspaketen ein (s. dazu die Zwischenberichte zu den Arbeitspaketen in Anhang, Annex 1).

## Einordnung in die Themenprioritäten des Förderprogramms

Das industrielle Forschungsprojekt *SolPol-2* ist in erster Linie dem Themenfeld **“3.5 Solarthermie“** der Ausschreibung mit Bezug zu den folgenden Themenpunkten zuordenbar:

- **Thema 3.5.1:** Schlüsseltechnologie – Neue Materialien und Ihre Anwendung
- **Thema 3.9.8:** Auswirkungen der Implementierung erneuerbarer Energien

## 2 Inhalte und Ergebnisse von *SolPol-2*

In der Folge werden die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der 6 Arbeitspakete von *SolPol-2* in kompakter Form dargestellt.

### **AP-01: Eigentemperaturesicherer solarthermischer Modell-Kollektor mit hohem Polyolefin-anteil (OHC Collector) – Detailkonzeption, Simulation, Werkstoffauswahl, Fertigung, Aufbau und Vermessung von Modell-Kollektoren**

Gegenstand von **Arbeitspaket AP-01 (OHC Collector)** war die Entwicklung und Untersuchung von unterschiedlichen Polyolefin-basierenden solarthermischen Modell-Kollektoren für gepumpte Systeme mit integrierter, neuartiger Temperaturbegrenzung durch gezielte, automatische Aktivierung des Thermosiphon-Effektes und der Rückkühlung auf der Kollektorrückseite bei Erreichung einer einstellbaren Grenztemperatur. Die Forschungsarbeiten hatten ihren Fokus in folgenden Bereichen:

- Materialauswahl und Austesten von Werkstoffen unter Berücksichtigung kommerzieller Werkstoffe bzw. von Werkstoffentwicklungen in AP-04 (geeignete PE- und PP-Typen für den Absorber)
- Herstellung und Austestung von Modell-Absorbern und Rückkühlern mit unterschiedlichen Werkstoffen und Fertigungsverfahren; Herstellung und Austestung von Modell-Kollektoren.
- Entwicklung von Simulationstools für OHC-Kollektoren (CFD- und FEM-Modellierung) und Anwendung auf die Optimierung von Kollektorkomponenten (insbesondere Absorber und Rückkühler) sowie Validierung der Simulationsmodelle durch Funktionstests und Leistungsmessungen

Die Funktionstests bezüglich Stagnationsverhalten und Temperaturbegrenzung an Modell-Kollektoren in Kunststoff-Bauweise zeigten, dass das Prinzip des Überhitzungsschutzes grundsätzlich funktioniert (s. **Abb. 1-1** und **Abb. 1-2**). Alterungsversuche an Polyolefin-Absorbermaterialien (PP-B, PP-RCT, PE-X) zeigten für alle Typen ein vielversprechendes Verhalten und die prinzipielle Anwendbarkeit aus thermo-oxidativer Sicht wurde nachgewiesen. Ein zentrales Ergebnis aus Markt-perspektivischer Sicht war, dass Jahressimulationen von Anlagen zur Warmwasserbereitung für Klimazonen mit hohem Marktpotenzial (z.B. Südafrika) sogar deutlich höhere solare Deckungsgrade im Vergleich zu Warmwasseranlagen mit herkömmlichen, hoch-effizienten Flachkollektoren ergaben (s. **Abb. 1-3**). In künftigen Arbeiten (*SolPol-4/5*) soll der Nachweis der Langzeitinnendruckbeständigkeit der Absorberwerkstoffe unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen erbracht werden. Auch die entwickelten Rechenmodelle bedürfen einer Weiterentwicklung und Validierung, um weitere Optimierungspotenziale für ein OHC-Kollektorsystem zu realisieren.

**AP-02: Solarthermische Modell-Kollektoren ohne Überhitzungsschutz in Kunststoff- und Hybridbauweise (Hybrid Collectors) – Detailkonzeption, Simulation, Werkstoffauswahl, Herstellung, Simulation und Vermessung von Modell-Kollektoren**

Schwerpunkt des *Arbeitspaketes AP-02 (Hybrid Collectors)* war die kunststoffgerechte Weiterentwicklung und Optimierung von Kunststoffkollektoren ohne Überhitzungsschutz für gepumpte Drainback-Systeme. Die Arbeiten wurden in 2 Hauptpfade unterteilt, mit dem Fokus in folgenden Bereichen:

- Hauptpfad AP-02a (Greiner): Entwicklung der Komponentengruppe „Kollektor“ für gepumpte Systeme in Vollkunststoff-Hybridbauweise unter Nutzung unterschiedlicher Kunststoffarten und -typen.
- Hauptpfad AP-02b (Sunlumo): Entwicklung der Komponentengruppe „Entleerungseinheit“, möglichst in Vollkunststoff-Hybridbauweise für einen konventionellen Kollektor, sowie eines „neuartigen Kollektorkonzeptes“ in Werkstoff-Hybridbauweise.

Im Hauptpfad AP-02a wurde ein Hybrid-Flachkollektor in Vollkunststoff-Mischbauweise konzipiert, simuliert, gefertigt und ausgetestet (s. **Abb. 2-1**). Der funktionale Zielwert eines Mindestwirkungsgrades von 0,40 (bei einer Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung von 40 °C und einer Einstrahlung von 800 W/m<sup>2</sup>) bei gleichzeitiger Reduktion der Stillstandstemperatur auf etwa 135 bis 140 °C konnten erreicht und nachgewiesen werden. Dies erlaubt den Einsatz von kostengünstigeren technischen Kunststoffen mit Materialpreisen unter 6 €/kg, was zur Erreichung der Kostenziele ein zentrales Teilergebnis darstellt. Allerdings sind vor einer Pilot- oder Nullserienfertigung noch weitere Entwicklungsarbeiten auf dem TRL4-Niveau erforderlich (u.a., werkstoffliche Langzeitnachweise; Optimierung der Bauteilgeometrien, der Prozesstechnik und der Herstellungsparameter; Integration in ein Kollektorsystem). Im Hauptpfad AP-02b wurde eine Entleerungseinheit in Kunststoff- und Hybridbauweise konzipiert, modelliert, gefertigt und ausgetestet. Im Gegensatz zu den derzeit zylindrischen Bauweisen wurden signifikante Vorteile für flache, prismatische Hohlkörper herausgearbeitet. In einer zweiten Serie lag der Fokus bei einem Hybrid-Flachkollektor mit Absorber-integrierter Entleerungseinheit (s. **Abb. 2-2**). Für die Austestung von Einzelkomponenten wurden erste Versuchswerkzeuge konstruiert und aufgebaut (s. **Abb. 2-3**). Die Erkenntnisse werden im Rahmen einer bereits außerhalb des Projektes geplanten Nullserienfertigung nach Projektende unmittelbar genutzt.

**AP-03: Konzeptstudie zu Großflächen-Folien-Kollektoren (Large-Area Film Collector) – Identifizierung, Auswahl und Charakterisierung geeigneter Werkstoffe und Halbzeuge**

Im *Arbeitspaket AP-03 (Large-Area Film Collector)* lag der Schwerpunkt bei der Auslotung und Einschätzung der prinzipiellen Machbarkeit von völlig neuartigen solarthermischen Großflächenkollektoren aus Polymerfolien. Dies beinhaltete die Identifizierung, Auswahl und Charakterisierung potentiell geeigneter Werkstoffe und Halbzeuge für derartige Kollektoren unter Berücksichtigung von konstruktiven und marktrelevanten Aspekten und Bedingungen. In zwei Hauptpfaden wurden unterschiedliche Folienkollektorkonzepte in modularer Bauweise und in Vollflächen-Bauweise erstellt, untersucht und bewertet (s. **Abb. 3-1**). Für Kollektorkonzepte zur Warmwasserbereitung ergaben Simulationsrechnungen je nach Art der Gebäudeintegration (Dach oder Fassade) und Standort um 20 bis 50 % niedrigere zu erwartende Jahreserträge für Kunststofffolienkollektoren im Vergleich zu hoch-effizienten Flachkollektoren (s. **Abb. 3-2**). Als potenzielle Werkstoff- und Halbzeugvarianten wurden Faserbündel-verstärkte Folienlamine für die transparente Abdeckung, Absorberhalbzeuge auf Basis von Hybridfolien aus Aluminium/Glasgewebe/Kunststoffsiegelschicht und Aluminium/Kunststoff-Folienlamine für den Reflektor oder die Wärmedämmung als besonders geeignet identifiziert, gefertigt und getestet (s. **Abb. 3-3**). Die Hybridfolie für den Absorber bietet neben den besseren mechanischen Langzeiteigenschaften eine deutlich höhere Flexibilität bezüglich der Applizierbarkeit von Absorberbeschichtungen oder der geometrischen Auslegung (Verhältnis von Kanal- zu Siegelbreite) von vollflächig durchströmten Absorbern. Für das Kollektor-Funktionsmuster vom Typ „Greiner Hot Focus“ wurde die prinzipielle Funktionstüchtigkeit der Frontseiten- und der

Reflektorfolie, des Spannsystems und des Kollektor-Befestigungssystems im Außeneinsatz nachgewiesen. Während Folienstrukturen für die Wärmedämmung oder für rückseitige Reflektoren ein hohes Potenzial aufweisen und als technisch umsetzbar eingestuft wurden, wurde für Frontseitenfolien und insbesondere Absorberfolien ein hoher Entwicklungsbedarf mit konkrete Maßnahmen für Lösungsansätze abgeleitet und aufgezeigt (teilweise Gegenstand von *SolPol-4/5*).

**AP-04: Langzeitbeständige funktionale Polyolefine mit spektral-selektiven Eigenschaften (Functional Compounds) – Systematische Variation der Einsatzstoffe, Optimierung der solaren Absorption sowie Herstellung und Vermessung von Modell-Kollektoren**

Das Hauptziel von **Arbeitspaket AP-04 (Functional Compounds)** bestand in der Entwicklung neuartiger Polyolefin-Compounds für Komponenten von Solarkollektoren (z.B. Absorber oder Rückkühler). Bezüglich der Immobilisierung von Antioxidantien wurden 2 Entwicklungsstrategien verfolgt (Oligomer-Antioxidantien und Partikel-Antioxidantien). Bei der Kopplung von Antioxidantien an Oligomere oder Partikel ergaben sich bereits nach der Synthese deutlich bessere Funktionalisierungsgrade und Ausbeuten für Oligomer-Antioxidantien. Besonders vielversprechende Ergebnisse wurden durch die Kopplung eines  $\alpha,\omega$ -Diens an phenolische Antioxidantien und die anschließende Polymerisation über den ADMET-Mechanismus und die Synthese von makromolekularen Antioxidantien über die Thiol-En Addition zur Herstellung von Oligomer-Thiosynergisten erzielt (s. **Abb. 4-1**). Zu diesen Oligomer-Antioxidantien wurden ein Österreich-Patent und ein weltweites Patent angemeldet. Als vielversprechendste Lösung für Partikel-Antioxidantien wurde die Synthese von Kern/Schale-Rußpartikeln mit einer geschlossenen  $\text{SiO}_2$ -Oberfläche und die Ankopplung von Antioxidantien über Silan-Spacergruppen herausgearbeitet (s. **Abb. 4-2**).

Ferner wurden neuartige Werkstoff-Compounds auf Basis kommerzieller Polyolefine und kommerzieller Additive (Ruß, phenolische Antioxidantien, gehinderte aminische Lichtschutzmittel, Thiosynergisten) konzipiert, hergestellt und bezüglich Alterungsverhalten charakterisiert. Für kommerziell verfügbare schwarzpigmentierte PP-B-Typen, die auch als Benchmark verwendet wurden, wurde eine gute Beständigkeit nach Lagerung an Luft und in Solarflüssigkeit bei erhöhten Temperaturen nachgewiesen. Zur Extrapolation auf anwendungsrelevante Einsatztemperaturen wurden theoretische und empirische Ansätze untersucht (s. **Abb. 4-3**). Unter Berücksichtigung von Standort-abhängigen Temperaturbelastungsprofilen für den Absorber von Flachkollektoren für die Warmwasserbereitung und unter Annahme eines kumulativen Schädigungsmodells wurde eine Lebensdauerabschätzung vorgenommen. Dabei ergab sich eine signifikant bessere Performance (Faktor 2) für den Werkstoff PP-B2 (s. **Abb. 4-4**). Neben den kommerziellen Werkstoffen wurden neuartige Eigenformulierungen hergestellt und untersucht, deren Alterungsbeständigkeit die Performance-Werte der Benchmark-Materialien noch übertrifft. Für quantitative Lebensdauerabschätzungen ist eine Fortführung der Langzeit-Alterungs-versuche in *SolPol-4/5* vorgesehen. Neben den mechanischen Kurzzeituntersuchungen von *SolPol-2* sind zudem noch strukturmechanische Langzeitalterungsversuche erforderlich.

**AP-05: Polyolefin-Compounds für langzeitbeständige Wasser-Wärmespeicher adaptierbarer Kapazität (Durable Compounds) – Werkstoffentwicklung, Herstellung von Halbzeugen und beschleunigte Charakterisierung des Alterungsverhaltens für anwendungsrelevante Bedingungen**

Gegenstand von **Arbeitspaket AP-05 (Durable Compounds)** war die Entwicklung neuartiger Polyolefin-Compounds für Anwendungen bis 95 °C und einer Gebrauchsdauer von 25 Jahren unter Flüssigmedieneinwirkung (z.B. Saisonal-Wasserwärmespeicher). Die Einsatzstoffe für diese Compounds wurden zunächst über ein Vorauswahlverfahren aus kommerziellen PE- bzw. PP-Polymeren und kommerziellen Antioxidantien (Stabilisatorsystemen) ausgewählt. Dazu wurden insgesamt 3 Werkstoffserien definiert, die zeitlich gestaffelt waren und nacheinander abgearbeitet um basierend auf den Ergebnissen der vorangehenden Serie die Ziele und Methodik der nachfolgenden Serie entsprechend festzulegen. In Serie 1 wurde herausgearbeitet, dass für die

untersuchten PE-Typen die Heißwasserlagerung als deutlich kritischer einzustufen ist die Exposition an Luft bei erhöhten Temperaturen (s. **Abb. 5-1**). Das Alterungsverhalten der PE-Compounds war signifikant von der Prüfkörperdicke abhängig. Für 100 µm Mikro-Prüfkörper und 2 mm Makro-Prüfkörper wurde ein Beschleunigungsfaktor von zumindest 5 ermittelt. Die Alterungsdaten erlaubten ein Ranking der PE-Werkstoffe, jedoch keine abgesicherte Lebensdauerabschätzung. Für unterschiedlich aufstabilisierte PP-Compounds wurde in Serie 2 ein deutlich besseres Alterungsverhalten in Wasser als in Luft bei erhöhter Temperatur nachgewiesen. Die Abhängigkeit von der Prüfkörperdicke war deutlich geringer als bei den PE-Werkstoffen. Die Beschleunigungsfaktoren für Mikro- und Makro-Prüfkörper lagen je nach Formulierung zwischen 1 und 2. Auch für die PP-Compounds war auf Basis der zum Projektende vorliegenden Daten die Lebensdauerabschätzung für Anwendungen in Wasserwärme-speichern noch nicht möglich. Dazu werden die Langzeitauslagerungsversuche in *SolPol-4/5* fortgeführt. Zur Aufklärung der Interaktion unterschiedlicher Stabilisatorklassen in PP wurde in Serie 3 eine neuartige Alterungsmethode implementiert, bei der Stabilisatorsysteme in einer flüssigen PP-Modellsubstanz (Squalan) eingebracht und ausgelagert werden. Die beste thermooxidative Langzeitbeständigkeit wurde bei einer Mischung von HALS, phenolischen Antioxidantien und Thiosynergisten erhalten (s. **Abb. 5-2**).

#### **AP-06: Neuartige Designkonzepte für Vollkunststoff-Kollektorsysteme (ID Collector Concepts) – Ideenskizzen für neuartige Voll-Kunststoffkollektoren, Simulation und Werkstoffauswahl.**

Hauptziel des **Arbeitspaketes AP-06 (ID Collector Concepts)** war die Entwicklung und Ausarbeitung von radikal neuartigen Design-Konzepten für Voll-Kunststoff-Kollektoren und die Bewertung des technisch-wirtschaftlichen Potentials dieser Design-Konzepte. Dazu wurden die für Kunststoffe spezifischen Erfolgsfaktoren wie umfassende und gezielt einstellbare Eigenschafts- und Performance-Profile, Multifunktionsintegration, hohe Designfreiheit und daraus resultierende Ästhetik der Bauteile, einfache Herstellung und hochautomatisierbare Verarbeitbarkeit, Qualität und Zuverlässigkeit in der Anwendung und hohe Wirtschaftlichkeit (Kostenreduktionspotentiale) systematisch ausgenutzt und mit Industrial Design Konzepten basierend auf wissenschaftlich-bionischen Ansätzen kombiniert. Bei der Erarbeitung der Design-Konzepte wurden unterschiedliche Kollektortypen und -designs mit verschiedener Komplexität (auch unterschiedlichen Kosten) und unterschiedliche Klimazonen betrachtet und berücksichtigt.

Als wesentliches Ergebnis liegt ein Dokument mit insgesamt 40 unterschiedlichen Design-Entwürfen (Ideen-Skizzen, s. dazu Auswahl in **Abb. 6-1**) vor, die in einem von UFG-ID geleiteten studentischen Brainstorming-Ansatz als Teil von Projektarbeiten erarbeitet wurden. Die Design-Entwürfe wurden anhand eines speziell ausgearbeiteten Fragebogens von einer Expertenrunde aus dem Kreis der AP-06-Partner in einem mehrstufigen Prozess (zunächst individuell und dann nach Auswertung und Aggregation der Individualbewertungen gemeinsam) umfassend bewertet und gereiht. Der Fragebogen war so gestaltet, dass sowohl technisch-funktionale, kostenmäßige und marktrelevante Aspekte evaluiert wurden. Auf Basis dieser Erstbewertung folgten dann die noch ausstehenden Arbeitsschritte (SWOT-Analyse der vorliegenden Design-Entwürfe; Pre-Design für ausgewählte Design-Entwürfe; Bewertung der Pre-Designs; Auswahl von erfolversprechenden Design/Konzept-Komponenten; Rein-Entwürfe für ausgewählte Konzepte; Abschließende Dokumentation und Gestaltungsmodelle). Damit liegt ein umfassender Pool an kreativ bis visionären und von Experten evaluierten Ideen für Kollektor-Konzepte mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden vor. Einige dieser Konzeptideen werden in *SolPol-4/5* in Richtung weiterer Konkretisierung weiterverfolgt. Ein besonderes Ergebnis-Highlight stellt die Veröffentlichung eines Buchbandes des Partners UFG-ID mit einem 60-seitigen Abschnitt zu solarthermischen Kollektoren und Komponenten aus Kunststoffen dar (Thallemer und Danzer, 2014).

### 3 Wesentliche Schlussfolgerungen von SolPol-2

Da die wesentlichen übergeordneten technisch/technologisch-wissenschaftlichen Schlussfolgerungen aus den Projektergebnissen bereits in den vorangehenden Abschnitten beschrieben sind und weitere detaillierte Schlussfolgerungen in den ausführlichen Tätigkeitsberichten zu den einzelnen Arbeitspaketen im Anhang (Annex 1) enthalten sind, werden in der Folge lediglich die darüber hinausgehende Erkenntnisse und Schlussfolgerungen im Kontext der weiteren Nutzung der Projektergebnisse entweder durch einzelne Projektpartner oder durch das gesamte Projektkonsortium bzw. auch durch Zielgruppen jenseits des Projektkonsortiums behandelt.

Die in diesem Kontext wohl wichtigste Schlussfolgerung ergibt sich aus dem Vergleich und der Analyse der Kostenentwicklung und Marktentwicklung in der Solarthermie und der Photovoltaik (letztere zur Wärmebereitstellung in Kombination mit einer Wärmepumpe) in den letzten 10 Jahren und insbesondere in den letzten 4 Jahren seit Antragstellung. So kann eine Neubelebung des aktuell stagnierenden bzw. sogar rückläufigen Solarthermiemarktes in Österreich und Europa nur durch eine zumindest 50 %-Reduktion der Gesamtkosten eines Solarthermiesystems für Endkunden gelingen. Berücksichtigt man, dass derzeit die Kollektorkosten von gepumpten solarthermischen Systemen bei etwa 10-20 % der Gesamtsystemkosten für Endkunden liegen (die Kollektorherstellungskosten liegen sogar unter 10 % der Endkundensystemkosten) wird deutlich, dass das Kostenreduktionsziel nur durch eine umfassende Optimierung des Gesamtsystems bei gleichzeitiger Realisierung hoch-integrierter "Plug&Function"-Elemente (Komponenten und Baugruppen) mit deutlich reduziertem Installationsaufwand zu bewerkstelligen ist. Wesentliche weitere Merkmale derartiger Systeme sind eine hohe Funktionsfähigkeit bei gleichzeitiger Einfachheit, hohe Robustheit und Qualität sowie attraktives und möglichst multifunktionales Design. Die genannten Attribute auf Gesamtsystemebene zu erreichen ist die zentrale Herausforderung künftiger Innovationen und damit auch der bestimmende Faktor zur Wiederbelebung des europäischen Solarthermiemarktes. Die Projektpartner sind mehr denn je überzeugt, und diese Erkenntnis wurde im Projektverlauf nochmals deutlich erhärtet, dass Kunststoffen und Polymertechnologien, und damit der Polymerwissenschaft und der Kunststoffwirtschaft, bei der Umsetzung zur Erreichung dieser Ziele eine Schlüsselrolle zukommt.

Wichtige technisch-wissenschaftliche Voraussetzungen um diese Schlüsselrolle über zielgerichtete Forschung und Entwicklung und daraus entstehenden Kunststoff-Innovationen einnehmen zu können, wurden sowohl in SolPol-1 aber insbesondere auch in SolPol-2 geschaffen.

Weiter in die Zukunft reichend wurde basierend auf den zentralen Erkenntnissen zur Marktentwicklung und zu den Marktanforderungen für den Bereich der Solarthermie 09/2013 im Förderprogramm e!MISSION.at das Nachfolge-Forschungsvorhaben SolPol-4/5 als "Leitprojekt" eingereicht. SolPol-4/5 baut sowohl auf Erkenntnisse des Grundlagenforschungsprojektes SolPol-1 als auch auf Ergebnisse des industriellen Forschungsprojektes SolPol-2 auf. Wesentliche Eckdaten des Leitprojektes SolPol-4/5 sind:

- Projekttitel: *"Solar-thermal Systems Based on Polymeric Materials: Novel Pumped and Non-pumped Collector Systems"*
- Gesamtbudget: 6,6 Mio. EURO (beantragte Förderung: 4,7 Mio. EURO)
- Laufzeit: 4 Jahre
- Konsortium: 7 wissenschaftliche Partner, 10 Unternehmenspartner

### 4 Ausblick und Empfehlungen

Thermische Kollektoren und Kollektorsysteme werden derzeit in aufwändigen und kostenintensiven Fertigungsprozessen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien mit einem vergleichsweise geringen Kunststoffanteil gefertigt. Während in Europa im Bereich der Solarthermie die Marktentwicklung für die vornehmlich

eingesetzten gepumpten Flachkollektorsysteme derzeit stagniert bzw. sogar rückläufig ist, nimmt weltweit aufgrund nach wie vor guter Wachstumsraten die Bedeutung und der Anteil nichtgepumpter Systeme, die als Thermosiphon- oder integrierte Speicherkollektoren ausgeführt sind, zu.

Wie an anderer Stelle in diesem Endbericht bereits hervorgehoben, sind die Ergebnisse von *SolPol-2* eine wichtige Voraussetzung und wesentlicher Meilenstein für eine effiziente und zielgerichtete industrielle Forschung und Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Solarthermie aber auch für die Etablierung und Marktdurchdringung von künftigen, durchgängig optimierten solarthermischen Systemen in Kunststoffbauweise. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde im Förderprogramm e!MISSION.at das Nachfolge-Forschungsvorhaben *SolPol-4/5* eingereicht (Fördergenehmigung erteilt, Projektstart erfolgte mit Mai 2014).

Wie im Forschungsantrag zu *SolPol-4/5* ausführlich dargelegt, liegt die technisch-wissenschaftliche Herausforderung künftiger FuE-Arbeiten unter Berücksichtigung globaler Marktbedürfnisse in der Entwicklung von gepumpten und nichtgepumpten Systemen in Vollkunststoffbauweise bzw. mit einem hohen Kunststoffanteil, die sich durch folgende Merkmale auszeichnen:

- hoher Vorfertigungsgrad und optimierte Funktionsintegration,
- Reduzierung des Kollektorgewichts und einfache Montage (plug&function),
- hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer,
- attraktiveres Design sowie
- reduzierte Kosten/Preise bzw. besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis.

Als wirtschaftliche und ökologische Zielsetzungen können dadurch einerseits neue Impulse für die Belebung des europäischen und insbesondere auch des österreichischen Marktes für die solare Warmwasserbereitung und Raumheizung mit deutlicher Reduktion von Treibhausgasemissionen gesetzt werden, andererseits kann gleichzeitig die Position der österreichischen Solarthermieindustrie am Weltmarkt gestärkt werden.

## Literatur

*Weiss W., Biermayr P. (2009): Potential of Solar Thermal in Europe, European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) (2009)*

*Mauthner F., Weiss W. (2013): Solar Heat Worldwide – Markets and Contribution to the Energy Supply 2011, IEA SHC Edition (2013)*

### **SolPol-2 Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften (17):**

*Beer S., Teasdale I., Brueggemann O. (2014): Immobilization of antioxidants via ADMET polymerization for enhanced long-term stabilization of polyolefins, European Polymer Journal, 49, 4257-4264 (2014)*

*Beissmann S., Reisinger M., Toelgyesi L., Klampfl C., Buchberger W. (2013a): Fast screening of stabilizers in polymeric materials by flow injection-tandem mass spectrometry, Anal Bioanal Chem, 405, 6879-6884 (2013)*

*Beissmann S., Stiftinger M., Grabmayer K., Wallner G., Nitsche D., Buchberger W. (2013b): Monitoring the degradation of stabilization systems in polypropylene during accelerated aging tests by liquid chromatography combined with atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry, Polymer Degradation and Stability, 98, 1655-1661 (2013)*

*Beissmann S., Reisinger M., Reimann A., Klampfl C., Buchberger W. (2014a): High-throughput quantification of stabilizers in polymeric materials by flow injection tandem mass spectrometry, Rapid Commun. Mass Spectrom., 28, 939-947 (2014)*

*Beissmann S., Reisinger M., Grabmayer K., Wallner G. M., Nitsche D., Buchberger W. (2014b): Analytical evaluation of the performance of stabilization systems for polyolefinic materials. Part I: Interactions between hindered amine light stabilizers and phenolic antioxidants, Polymer Deradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Beissmann S., Grabmayer K., Wallner G., Nitsche D., Buchberger W. (2014c): Analytical evaluation of the performance of stabilization systems for polyolefinic materials. Part II: Interactions between hindered amine light stabilizers and thiosynergists. Polymer Deradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Grabmayer K., Wallner G. M., Beissmann S., Schlothauer J., Steffen R., Nitsche D., Röder B., Buchberger W., Lang R. W. (2014a): Characterization of the aging behavior of polyethylene by photoluminescence spectroscopy, Polymer Degradation and Stability, 107, 28-36 (2014)*

*Grabmayer K., Wallner G. M., Beissmann S., Braun U., Steffen R., Nitsche D., Röder B., Buchberger W., Lang R. W. (2014b): Accelerated aging of polyethylene materials at high oxygen pressure characterized by photoluminescence spectroscopy and established aging characterization methods, Polymer Degradation and Stability, 109, 40-49 (2014)*

*Grabmayer K., Beissmann S., Wallner G. M., Nitsche D., Schnetzinger K., Buchberger W., Schobermayr H., Lang R. W. (2014c): Characterization of the influence of sample thickness on the aging behavior of a polypropylene based model compound, Polymer Degradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Grabmayer K., Wallner G. M., Beissmann S., Nitsche D., Buchberger W., Lang R. W. (2014d): Aging behavior of polyolefin based liner materials. Part I: Polyethylene grades, Polymer Degradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Grabmayer K., Wallner G. M., Beissmann S., Nitsche D., Schnetzinger K., Buchberger W., Lang R. W. (2014e): Aging behavior of polyolefin based liner materials. Part II: Polypropylene grades, Polymer Degradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Grabmayer K., Wallner G. M., Beissmann S., Nitsche D., Buchberger W., Lang R. W. (2014f): Aging behavior of polyolefin based liner materials. Part III: Lifetime prediction for seasonal hot water heat storages, Solar Energy, eingereicht (2014)*

*Kurzböck M., Wallner G. M., Lang R. W. (2012): Black-pigmented polypropylene materials for solar absorbers, Energy Procedia, 30, 438-445 (2012)*

*Povacz M., Wallner G. M., Lang R. W. (2014a): Black-pigmented polypropylene materials for solar thermal absorbers – Effect of carbon black concentration on morphology and performance properties, Solar Energy, eingereicht (2014)*

*Povacz M., Wallner G. M., Beissmann S., Grabmayer K., Buchberger W., Lang R. W. (2014b): Aging behavior of black-pigmented polypropylene materials for solar thermal absorbers, Solar Energy, eingereicht (2014)*

*Povacz M., Wallner G. M., Beissmann S., Buchberger W., Lang R. W. (2014c): The influence of specimen thickness on the aging behavior of black-pigmented polypropylene impact copolymers for solar thermal absorbers, Polymer Degradation and Stability, eingereicht (2014)*

*Povacz M., Wallner G. M., Kaiser A., Fink C., Hausner R., Ramschak T., Lang R. W. (2014d): Lifetime modelling of polypropylene solar thermal absorber materials using Miner's rule, Solar Energy, eingereicht (2014)*

### **Sonstige SolPol-2 Veröffentlichungen (32):**

*Beer S., Brueggemann O (2013a): Antioxidant immobilization via the polymerization of fatty acid based monomers", EPF2013, Pisa, I (2013)*

*Beer S., Brueggemann O (2013b): Synthesis and characterization of macromolecular antioxidants for the long-term stabilization of polyolefins, 3th Biennial Bayreuth Polymer Symposium, Bayreuth, D (2013)*

- Beer S., Teasdale I., Brüggemann O., Rametsteiner K. (2014):* Stabilisator für Polyolefine sowie Verfahren zur Herstellung eines solchen Stabilisators, Österreichische Patentanmeldung A 50246/2012 und internationale Patentanmeldung PCT/AT2013/050124 durch KE-KELIT Kunststoffwerk Gesellschaft m.b.H; Veröffentlichungsnummer: WO2014000008 A2 (2014)
- Beissmann S. (2012):* Identification of polymer additives and their degradation products by HPLC/MS, 36th International Symposium on Capillary Chromatography (ISCC), Riva del Garda, I (2012)
- Buchinger R. (2014):* Machbarkeits- und Konzeptstudie zu Großflächen-Folien-Kollektoren, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2014 (2014)
- Grabmayer K., Wallner G. M., Schobermayr H., Lang R. W. (2011):* Evaluation of Accelerated Aging Test Methods for Polymeric Materials in Solar Thermal Applications, in: Proceedings ISES Solar World Congress 2011 (2011)
- Grabmayer K., Wallner G. M., Schobermayr H., Lang R. W. (2012):* Accelerated Aging Testing of Heat Storage Liner Materials Using Micro-Sized Specimens, in: MoDeSt 2012 Abstract Book, Series Proceedings MoDeSt (2012)
- Hintringer C., Thür A., Streicher W. (2013):* Entwicklung eines eigentemperatursicheren Kunststoffkollektors, in: 23. Symposium Thermische Solarenergie (2013)
- Hintringer C., Thür A., Streicher W. (2014):* Ein Beitrag zur Simulation und Messung eines Kunststoffkollektors mit integriertem Überhitzungsschutz, in: 24. Symposium Thermische Solarenergie (2014)
- Kaiser A., Fink C., Hausner R., Ramschak T., Streicher W. (2013a):* Leistungsanforderungen an Polymermaterialien in solarthermischen Systemen, Erneuerbare Energie, ee 1-13, 12-17 (2013)
- Kaiser A., Fink C., Hausner R., Ramschak T., Streicher W., Lang R. W., Wallner G. (2013b):* in: 23. Symposium Thermische Solarenergie (2013)
- Kicker H., Wallner G. M., Lang R. W. (2013):* Polymeric Materials for Solar-Thermal Collectors - Comprehensive evaluation of polymer based design concepts using the CES Selector, in: Information Booklet - 5th International Materials Education Symposium (2013)
- Lang R. W. (2011a):* SolPol - Solarthermie und Photovoltaik an der JKU, in: KC-aktuell (2011)
- Lang R. W., Wallner G. M. (2011b):* Kunststoffe als Innovationsmotor für Solarenergie-Technologien (SolPol - Eine wissenschaftsgetriebene österreichische Forschungsinitiative), in: Tagungsband "Forum Economy 2011 - 10 Jahre Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz" (2011)
- Lang R. W., Wallner G. M., Fischer J. (2011c):* Erneuerbare Energie, ee 1-11, 9-11 (2011)
- Lang R. W. (2011d):* Kunststoffe und die Transformation des Energiesystems, in: KC-aktuell (2011)
- Lang R. W., Wallner G. M. (2012a):* Herausforderungen und Möglichkeiten für den Einsatz von Polymermaterialien in solarthermischen Anwendungen, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2012, 285-288 (2012)
- Lang R., Wallner G. M. (2012b):* Polymeric Materials: The Key Materials for Solar Technology Innovations, in: Public Service Review: European Science & Technology, 14, 68-69 (2012)
- Lang R. W., Wallner G. M. (2013a):* Polymeric Materials - The Key Materials for Sustainable Development Technologies, in: Information Booklet - 5th International Materials Education Symposium (2013)
- Lang R. W., Wallner G. M., Fischer J. (2013b):* Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen: Das Großforschungsvorhaben SolPol, Erneuerbare Energie, ee 1-13, 7-11 (2013)
- Lang R. W. (2014a):* Accelerated testing of PE-HD materials for pressure pipe applications polymer Science approach to material screening, classification and certification, in: Proceedings ANTEC 2014 (2014)

*Lang R. W., Wallner G. M., Fischer J., Fink C., Streicher W. (2014b): Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen: Das Großforschungsvorhaben SolPol-1/2, in: 24. Symposium Thermische Solarenergie (2014)*

*Nimmervoll F., Thallemer A., Danzer, M. (2014): Materialtechnologisch getriebene Gestaltungsmethoden: Kollektorentwicklung im interdisziplinären Umfeld, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2014 (2014)*

*Povacz M., Wallner G. M., Lang, R. W. (2014): Neuartige Polyolefine für solarthermische Absorber, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2014 (2014)*

*Thallemer A., Danzer M. (2014): scionic® Band 2, Designillustrationsbuch, Arnoldsche Verlag, D (2014)*

*Thür A., Hintringer C., Richtfeld A., Streicher W., Kaiser A., Hausner R., Fink C., Koller W., Riepl R. (2013a): Status Quo der Entwicklung eines überhitzungsgeschützten Kunststoffkollektors, Erneuerbare Energie, ee 1-13 (2013)*

*Thür A., Streicher W. (2013b): Entwicklung eines physikalischen Kollektormodells mit eigensicherer Temperaturbegrenzung, in: 23. Symposium Thermische Solarenergie (2013)*

*Thür A., Streicher W. (2014a): Validierung und Anwendung eines Kollektorrechenmodells zur Entwicklung eines Kunststoffkollektors mit eigensicherer Temperaturbegrenzung, in: 24. Symposium Thermische Solarenergie (2014)*

*Thür A. (2014b): Entwicklung eines Kunststoffkollektors mit eigensicherer Temperaturbegrenzung im Rahmen von SolPol-2 / AP-01, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2014 (2014)*

*Wallner G. M., Lang R. W., Povacz M., Grabmayer K., Koller W., Brandstätter A., Nitsche D. (2012): Solarthermische Kollektorsysteme mit Kunststoffabsorber - Materialien und Eigenschaftsprofile, in: Konferenzband Gleisdorf Solar 2012 (2012).*

*Wallner G. M., Grabmayer K., Beissmann S., Schobermayr H., Buchberger W., Lang R. W. (2013): Methoden zur beschleunigten Alterungsprüfung von Kunststoffen, Erneuerbare Energie, ee 1-13, 18-20 (2013)*

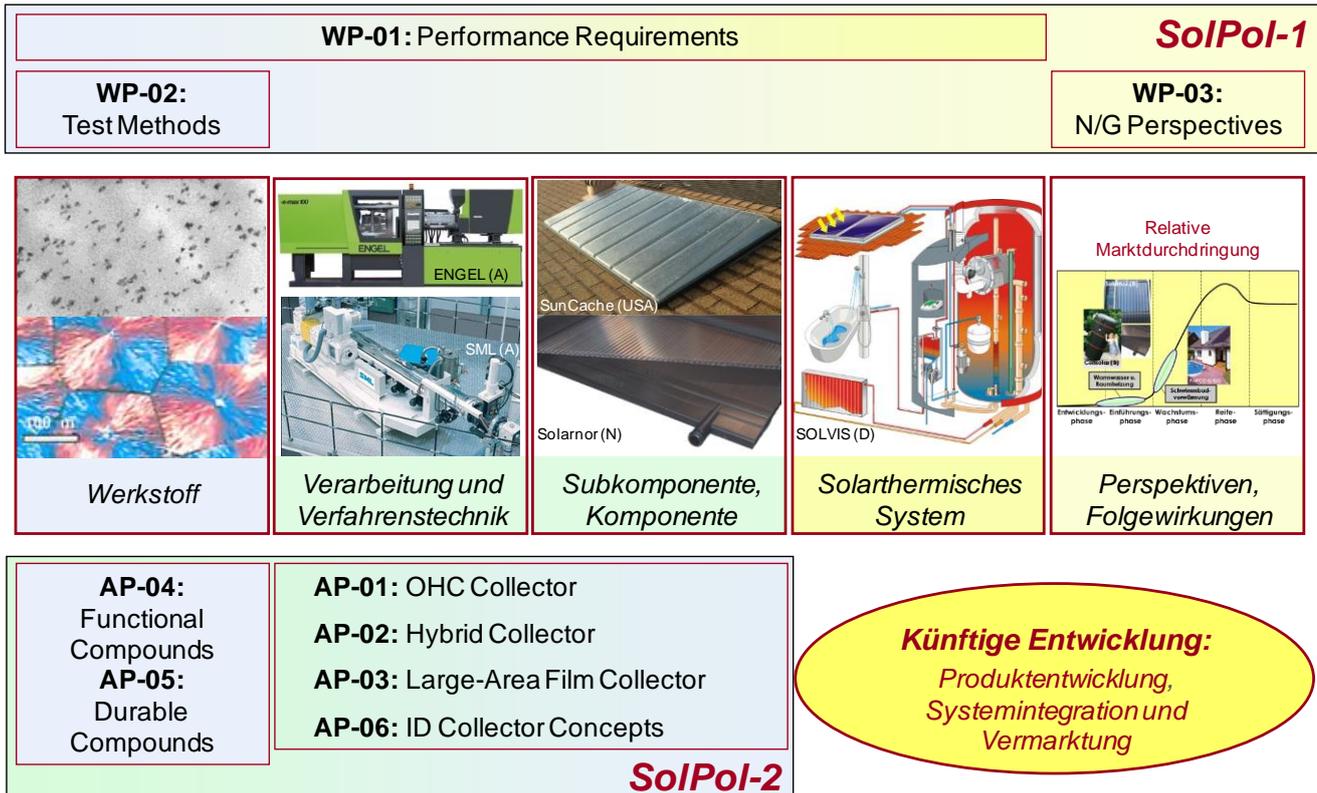
*Wallner G. M., Grabmayer K., Povacz M., Lang R. W., Beißmann S., Buchberger W. (2014b): Neuartige Polyolefine für solarthermische Absorber und Wärmespeicher, in: 24. Symposium Thermische Solarenergie (2014)*

**ANHANG:**

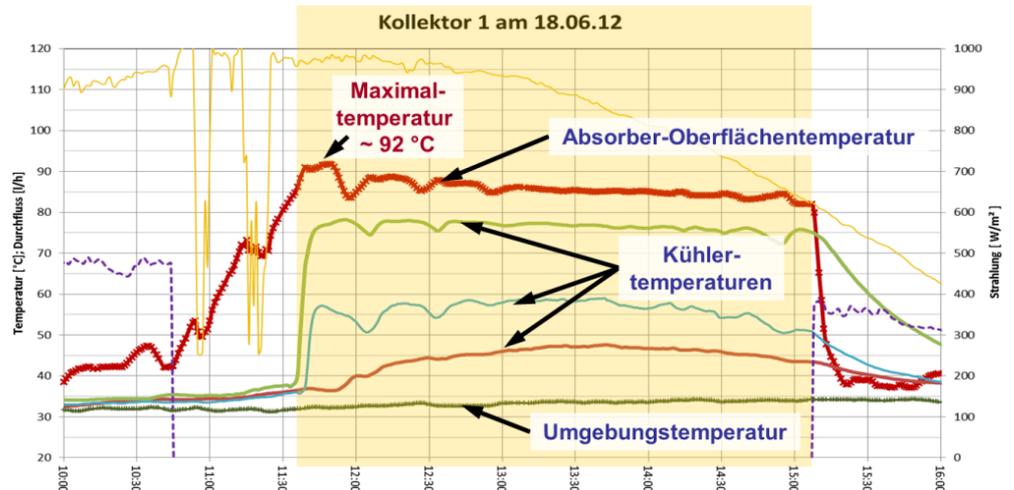
Zusammenstellung der Tabellen und Abbildungen

**Tabelle 1:** Daten und Fakten zu den Forschungsvorhaben *SolPol-1* und *SolPol-2* (teilweise aggregiert).

<b>Projektleitung</b>	<p><i>Leiter:</i> O. Univ.-Prof. Dr. Reinhold W. Lang  <i>Stv. Leiter:</i> Ao. Univ.-Prof. Dr. Gernot Wallner  <i>Administration</i>  <i>Manager:</i> Dr. Jörg Fischer</p> <p><i>Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (IPMT),  Johannes Kepler Universität Linz (JKU)</i>  solpol1@jku.at, solpol2@jku.at  <a href="http://www.jku.at/ipmt">www.jku.at/ipmt</a>; <a href="http://www.solpol.at">www.solpol.at</a></p>
<b>Budget</b>	<p>Gesamtbudget: € 5,1 Mio.  <i>SolPol-1:</i> € 0,7 Mio.  <i>SolPol-2:</i> € 4,3 Mio.</p>
<b>Laufzeit</b>	<p>10/2009-04/2014</p>
<b>9 Wissenschaftliche Partner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE-INTEC)</li> <li>▪ JKU - Institut für Analytische Chemie (JKU-IAC)</li> <li>▪ JKU - Institut für Chemie der Polymere (JKU-ICP)</li> <li>▪ JKU - Institut für Chemische Technologie Organischer Stoffe (JKU-CTO)</li> <li>▪ JKU - Institut für Polymer-Spritzgießtechnik und Prozessautomatisierung (JKU-IPIM)</li> <li>▪ JKU - Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)</li> <li>▪ Kunstuniversität Linz, Institut für Raum und Design, Abteilung Industrial Design (UFG-ID)</li> <li>▪ Universität Innsbruck, Lehrstuhl für Energieeffiziente Gebäude und Erneuerbare Energie (UIBK-EGEE)</li> <li>▪ Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO)</li> </ul>
<b>9 Unternehmenspartner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGRU Kunststofftechnik GmbH (AGRU)</li> <li>▪ APC Advanced Polymer Compounds (APC)</li> <li>▪ Borealis AG (Borealis)</li> <li>▪ ENGEL Austria GmbH (ENGEL)</li> <li>▪ Greiner Technology &amp; Innovation GmbH (Greiner)</li> <li>▪ KE KELIT Kunststoffwerk Gesellschaft m.b.H. (KE KELIT)</li> <li>▪ Lenzing Plastics GmbH (Lenzing)</li> <li>▪ Schöfer GmbH (Schöfer)</li> <li>▪ Sunlumo Technology GmbH (Sunlumo)</li> </ul>



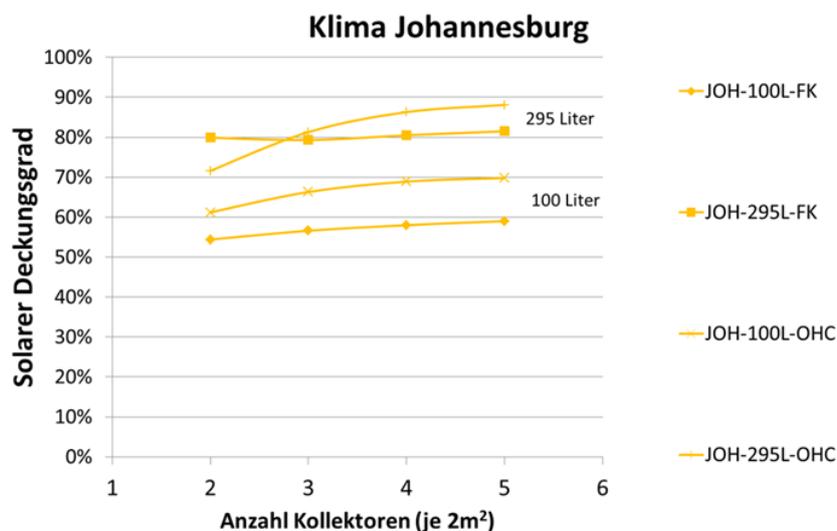
**Abb. 1:** Das Forschungsprogramm von SolPol-1 und SolPol-2 mit Positionierung der Arbeitspakete entlang der Wertschöpfungskette; Quelle: JKU-IPMT



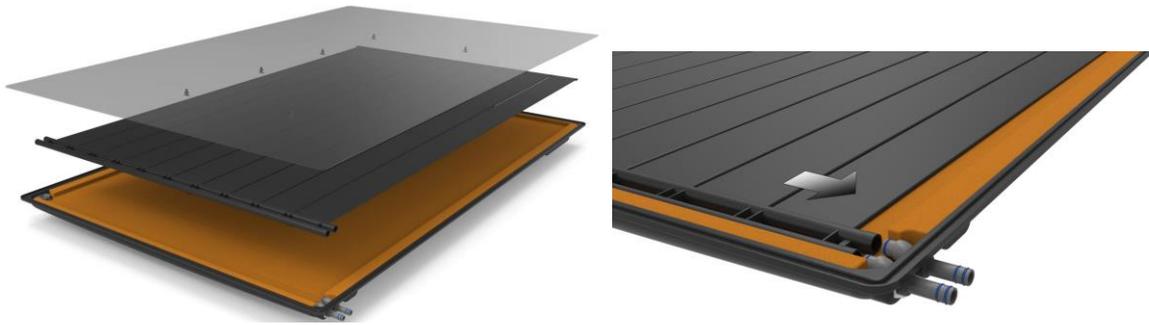
**Abb. 1-1:** Modell-Kollektor der Serie 1 am Prüfstand (links) und Verlauf der Kollektortemperaturen vor und nach dem Schalten des Ventils (rechts).



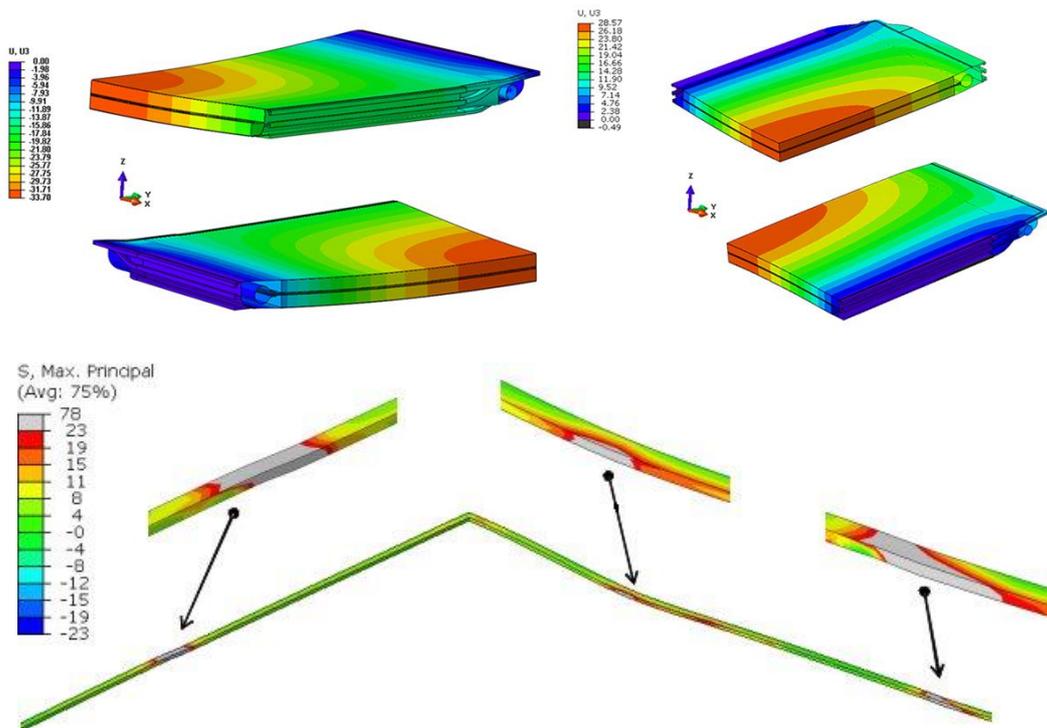
**Abb. 1-2:** Design eines dachintegrierten, eigentemperatursicheren Kunststoffkollektors (links) und Modell-Kollektor der Serie 2 am Prüfstand (rechts).



**Abb. 1-3:** Jahressimulation der Warmwasserbereitung mit sehr gutem Flachkollektor (FK;  $\eta_0=0,8$ ,  $a_1=3,0$ ;  $a_2=0,01$ ) im Vergleich zum Kunststoffkollektor mit Überhitzungsschutz (OHC;  $\eta_0=0,77$ ,  $a_1=6,1$ ;  $a_2=0,007$ ).



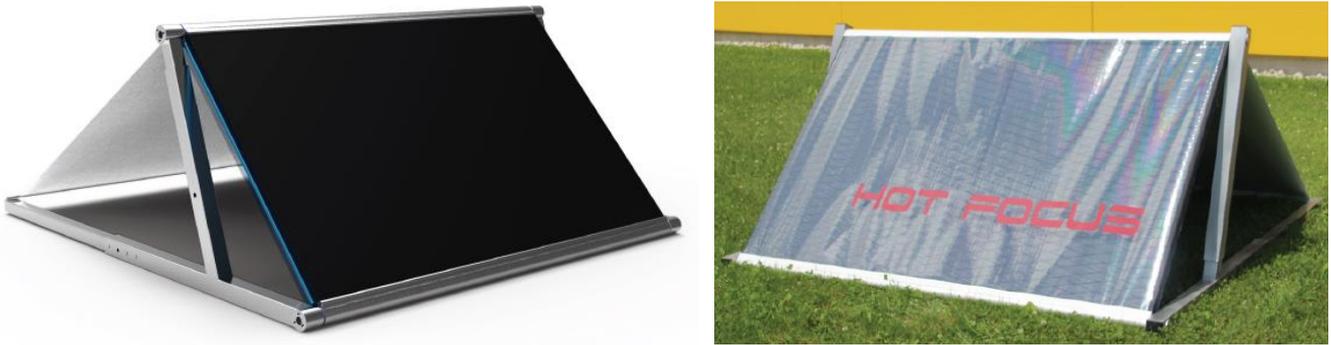
**Abb. 2-1:** Optimiertes Design für den Hybridflachkollektor Greiner mit ausgeschäumter Tiefziehwanne.



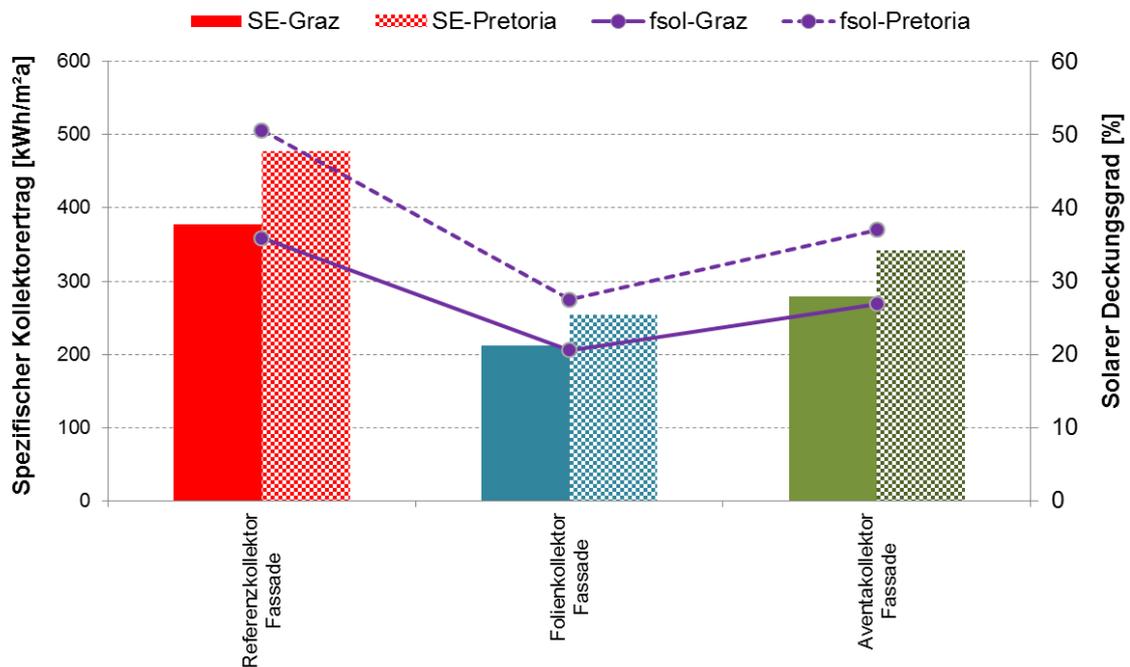
**Abb. 2-2:** Simulierte Spannungsverteilung bei Wind- und Schneelasten am Hybrid-Flachkollektor Sunlumo (oben) und in den Fügenähten zwischen transparenter Abdeckung und Rahmen (unten).



**Abb. 2-3:** Muster von lasergeschweißten Kunststoffpaarungen für das Kollektorgehäuse mit freigestellten Rosetten (links) für die reproduzierbare mechanische Charakterisierung (rechts).



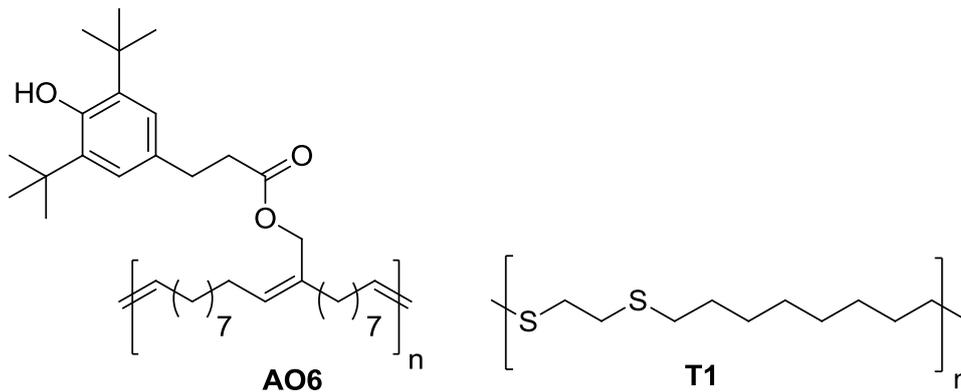
**Abb. 3-1:** CAD-Zeichnung (links) und realisiertes Modell (rechts) des Folienkollektorkonzeptes „Greiner HotFocus“.



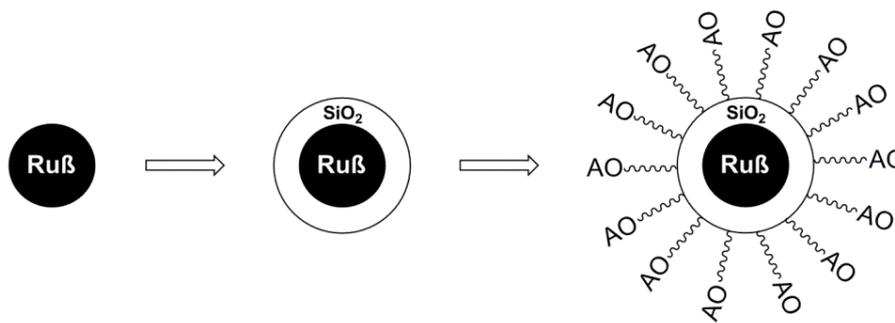
**Abb. 3-2:** Spezifischer Kollektorfeldertrag und solarer Deckungsgrad für fassadenintegrierte Warmwasserbereitungssysteme im Geschößwohnbau mit unterschiedlichen Kollektoren.



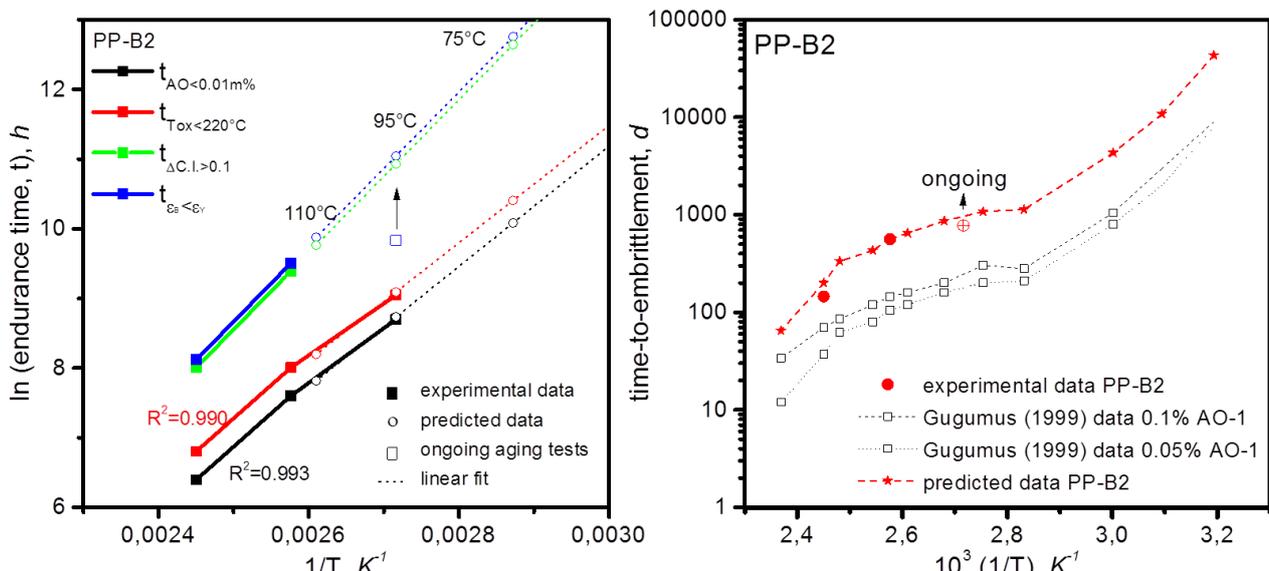
**Abb. 3-3:** Querschliffe oder Funktionsmuster einer Faserbündel-verstärkten Frontseitenfolie (links), einer Absorber-Hybridfolie (Mitte) und eines Reflektor-Folienlaminats (rechts).



**Abb. 4-1:** Chemische Strukturen des synthetisierten makromolekularen phenolischen Anti-oxidants AO6 und des Oligomer-Thiosynergisten T1.



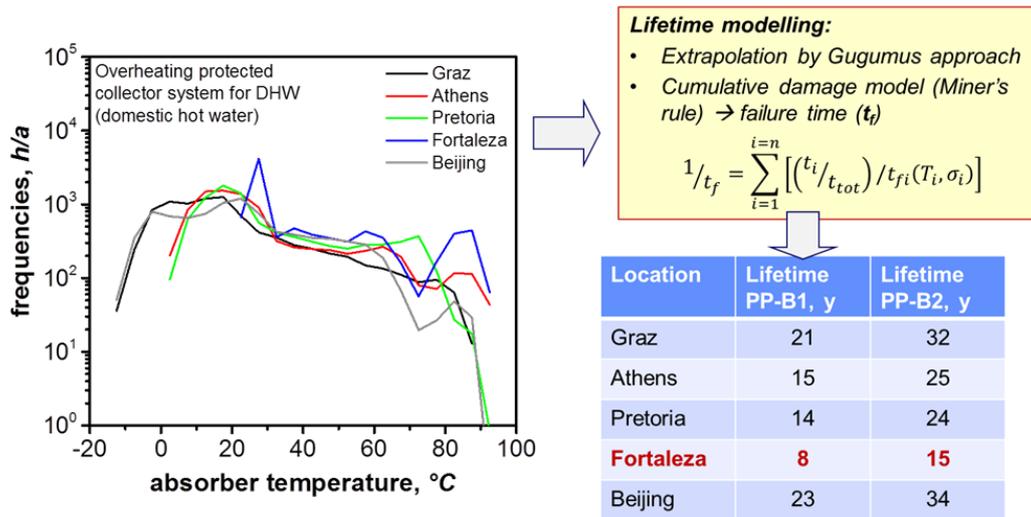
**Abb. 4-2:** Schematische Darstellung der Bildung sphärischer AO-funktionalisierter RuB-Siliziumdioxid Kern/Schale-Partikel.



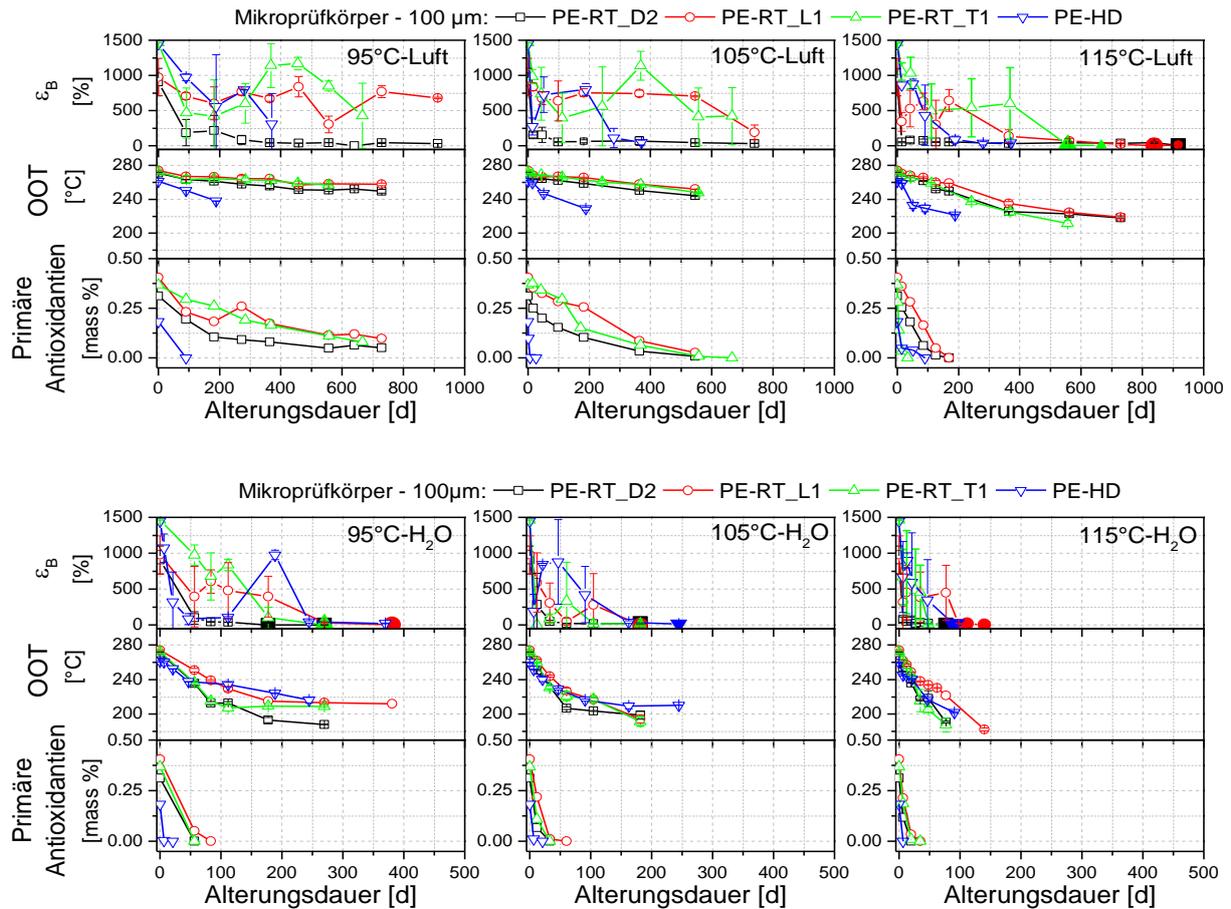
**Extrapolation to e.g., 75°C:**

- theoretical Arrhenius approach: ~ 40 y
- empirical Gugumus approach: ~ 4 y (factor: 10 (!))

**Abb. 4-3:** Extrapolation der Alterungsindikatoren auf Einsatztemperaturen unter 100°C unter Verwendung des Arrhenius-Ansatzes (links) und des Gugumus-Ansatzes (rechts).



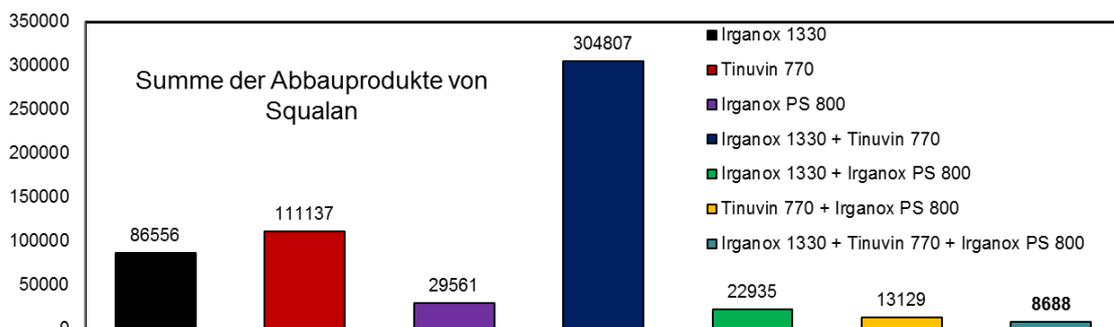
**Abb. 4-4:** Temperaturbelastungsprofile für den Absorber des AP-01-Kollektors (links) und zu erwartende Standortabhängige Lebensdauern bei Einsatz der Werkstoffe PP-B1 und PP-B2 (rechts).



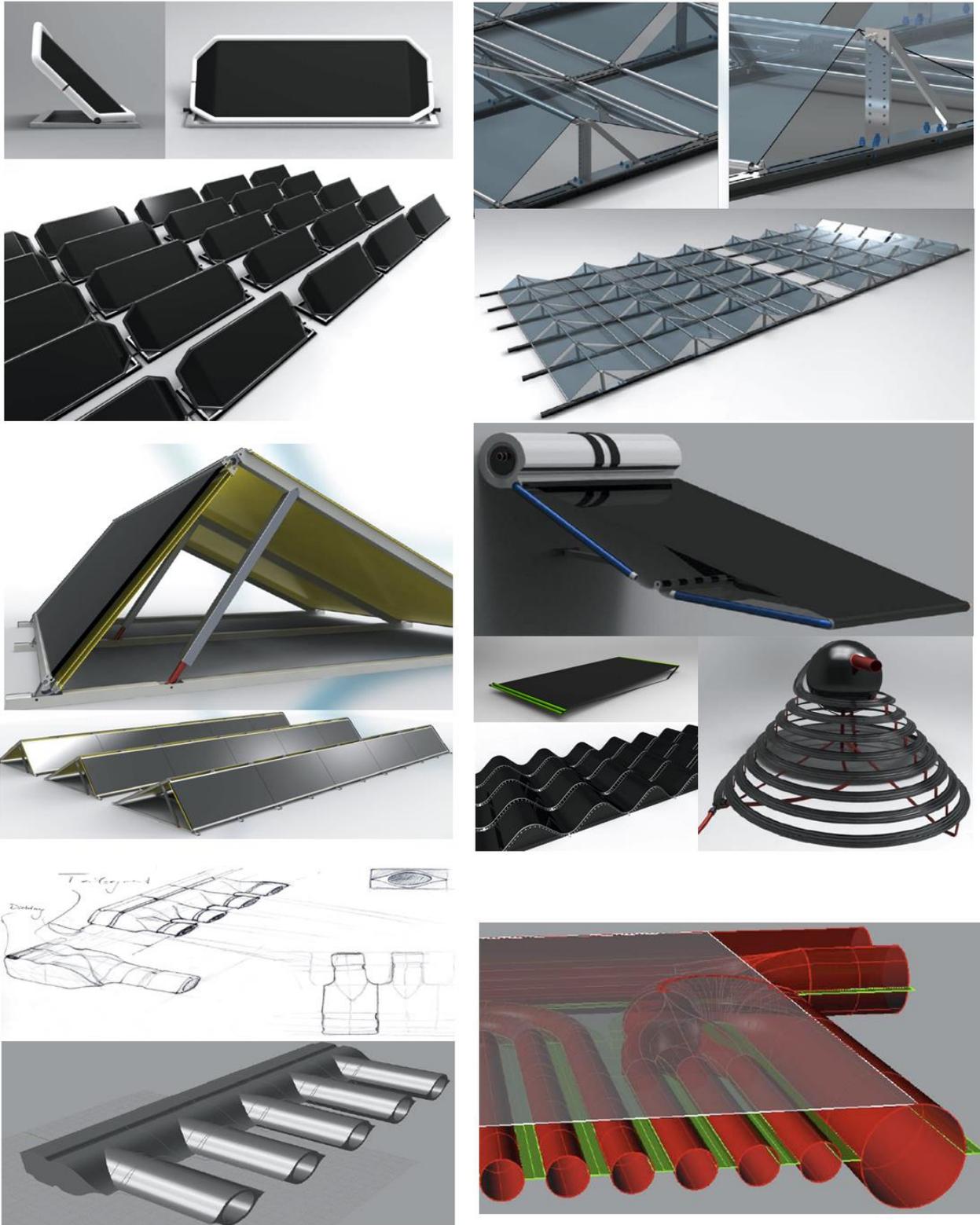
**Abb. 5-1:** Verläufe von Bruchdehnung  $\epsilon_B$ , Oxidationsonsettemperatur OOT und Konzentration primärer Antioxidantien für Mikroprüfkörper der Polyethylentypen PE-RT\_D2, PE-RT\_T1, PE-RT\_L1 und PE-HD nach Alterung an Heißluft (oben) und in deionisiertem Wasser bei 95°C, 105°C und 115°C (unten) (Materialversprödung gekennzeichnet durch große, ausgefüllte Symbole).

**HALS + Phenol + Thiosynergist**

- > HALS + Thiosynergist
- > Phenol + Thiosynergist
- > HALS/Phenol/Thiosynergist individuell
- > HALS + Phenol



**Abb. 5-2:** Ranking von Stabilisatorsystemen bezüglich der thermooxidativen Beständigkeit einer PP-Modellsubstanz bei Heißluftlagerung.



**Abb. 6-1:** Auswahl an unterschiedlichen Design-Entwürfen