

Entwicklung von Kunststoffkollektoren: Grundlegende Fragestellungen und Ergebnisse eines Forschungsprojektes

Stefan Brunold

SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik HSR

Oberseestr. 10 , CH-8640 Rapperswil

Tel.: +41 (0)55 222 48 21, Fax: +41 (0)55 222 48 44

E-Mail: stefan.brunold@solarenergy.ch

Internet:www.solarenergy.ch

Einleitung

Die Fertigung heutiger Flachkollektoren ist noch immer vergleichsweise wenig automatisiert [1]. Die verwendeten Materialien sind vorwiegend Kupfer, Aluminium und Glas, bei welchen insbesondere in jüngster Vergangenheit eine signifikante Preissteigerung zu beobachten war. Beide Aspekte, sowohl Materialwahl als auch Fertigungsprozess, bergen daher noch erhebliches Potenzial zur Kostenreduktion.

Eine Umstellung auf Kunststoffe als Hauptbestandteil von Kollektoren würde diese beiden Aspekte möglicherweise radikal ändern. Da aber Polymere nicht per se kostengünstige Materialien sind, muss deren Einsatz, insbesondere unter Berücksichtigung entsprechender Produktionstechniken, sorgfältig geplant werden. Aufgrund der - in der Regel - hohen Werkzeugkosten in der Kunststoffverarbeitungstechnik muss das Kollektordesign für eine Massenfertigung ausgelegt werden. Der Materialeinsatz muss, unter Berücksichtigung der spezifischen Kosten, minimiert werden.

Neben den konstruktiven Polymeren existieren auch sogenannte Funktionspolymere. Funktionspolymeren kommen in erster Linie nicht rein konstruktive Aufgaben zu. Vielmehr werden Funktionspolymere eingesetzt, um spezielle Eigenschaften von Komponenten zu verbessern (z.B. hydrolysebeständige Schichten in wasserführenden Rohren) oder diese gar dynamisch zu verändern (z.B. Thermotrope).

Aufgrund der extremen Belastung, insbesondere auch in Zeiten der Stagnation, kommen für den Einsatz in solarthermischen Kollektoren prinzipiell zweierlei Klassen von Polymeren in Frage. Das sind zum einen Hochleistungspolymere, die durch ihre ausgezeichneten spezifischen Eigenschaften den hohen Belastungen gewachsen sind, und zum anderen „Low-Cost“ Polymere, die durch spezielle Techniken, wie z.B. dem zusätzlichen Einsatz von Funktionspolymeren, vor schädlichen Belastungen geschützt werden müssen.

Grundlagen

Polymere sind nicht grundsätzlich preisgünstig. Dies zeigt die sogenannte Kunststoffpyramide, mit welcher in Abb. 1 die Preise für Kunststoffe denen für Alu und Kupfer der vergangenen Jahre gegenübergestellt sind. Insbesondere für Kunststoffe mit einer Temperaturbeständigkeit deutlich oberhalb von 150°C, die bei herkömmlichen Flachkollektoren im Bereich des Absorbers erforderlich ist, betragen die Polymerpreise oft ein Vielfaches der metallischen Konkurrenz.

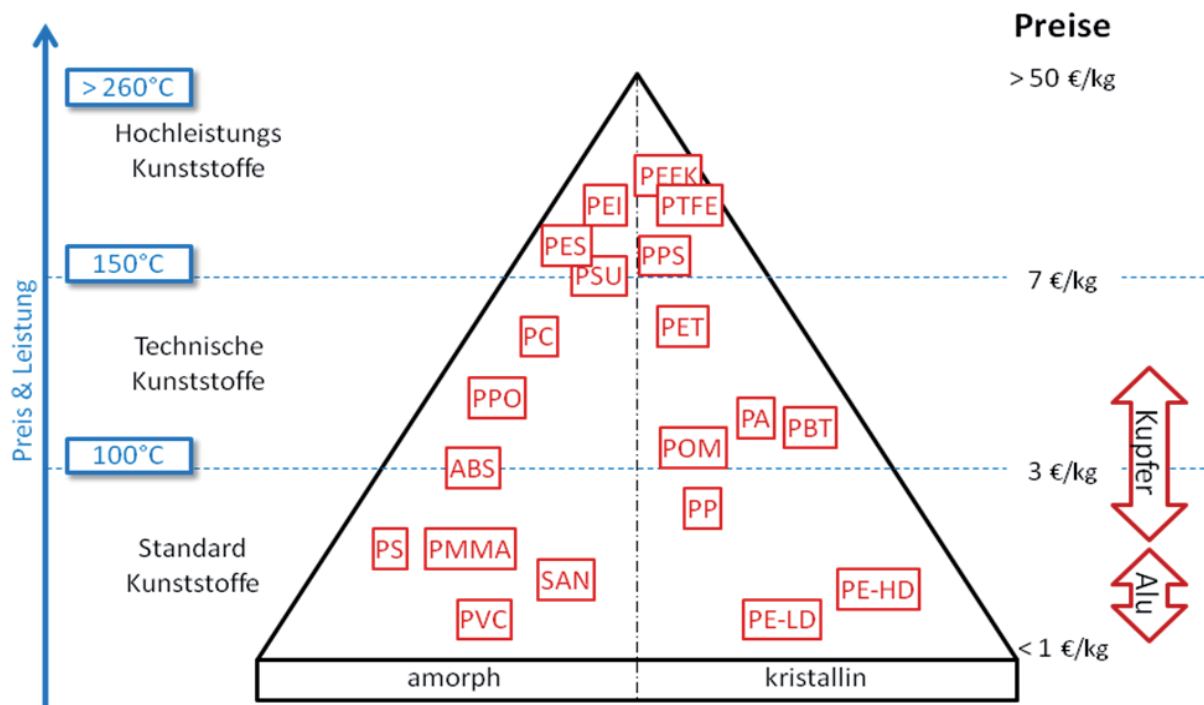


Abb. 1: Kunststoffpyramide mit Einsatztemperaturen und Preisvergleich zu Metallen.

Selbstverständlich ist bei einem massenspezifischen Vergleich Vorsicht geboten. Bezogen auf das Volumen liegt Kupfer preislich bei den Hochleistungs-, Alu bei den Technischen Kunststoffen. Aufgrund der geringeren Festigkeit der Polymere wird aber eine Substitution der Volumina nicht ausreichen, so dass der Materialkostenvergleich zwischen dem massenspezifisch und dem volumenspezifisch ermittelten Wert anzusiedeln ist.

Die Verarbeitungsmethoden von Kunststoffen erlauben die Produktion komplexer Formen und die Kombination unterschiedlicher Polymere in einem Arbeitsablauf. Dadurch kann die Anzahl der Kollektorkomponenten gering gehalten werden. Durch die hohe Freiheit bei der Formgebung kann der Materialeinsatz den im Kollektor lokal unterschiedlichen Anforderung leicht angepasst werden, wodurch der Materialbedarf auf ein Minimum reduziert wird. Generell sind jedoch die Verarbeitungsverfahren der Kunststoffe mit hohen Investitionskosten, aber niedrigen laufenden Kosten verbunden, was eine Massenproduktion erforderlich macht.

Kunststoffe bieten vor allem hinsichtlich der Fertigungskosten ein grosses Einsparpotential. Da diese aber nur den kleineren Anteil der Herstellungskosten herkömmlicher Flachkollektoren darstellen, kann dieser Vorteil durch den Einsatz von teuren Hochleistungspolymeren leicht wieder nivelliert werden. Da aber eine hohe Kollektoreffizienz bislang zwangsläufig mit hohen Temperaturen im Falle der Stagnation verbunden ist, müssen (zumindest im Bereich des Absorbers) entweder teure Hochleistungspolymere zum Einsatz kommen, oder es muss ein zuverlässiger Überhitzungsschutz realisiert werden.

Ein idealer Überhitzungsschutz müsste passiv sein, über eine möglichst direkte Kopplung an den Ort der höchsten Temperatur verfügen und bei der Ursache für die Übertemperatur auf schaltende Weise ansetzen. Diese Anforderungen würde ein Solarabsorber erfüllen, dessen solarer Absorptionsgrad beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur von sehr hoch auf sehr gering umschlägt [2]. Ein derartiger Absorber lässt sich z.B. mittels eines auf einen schwarzen Untergrund aufgetragenen thermotropen Polymerblends realisieren, welches mit zunehmender Temperatur von transparent auf streuend wechselt (Abb. 2).



Abb. 2: Thermotropes Polymer der EMS Chemie. Die hohe Transmission im kalten Zustand (links) wird aufgrund von Streuung im heißen Zustand (rechts) deutlich reduziert. (Quelle: EMS)

Konzept

Basierend auf den vorgestellten Randbedingungen wird in dieser Arbeit ein Konzept für einen Polymerkollektor vorgeschlagen, bei welchem der (bis auf die Endstücke) komplette Kollektor (bestehend aus thermotropem Absorber, Kollektorgehäuse und transparenter Abdeckung) als endloses Band im Co-Extrusionsverfahren produziert wird (Abb. 3). Von diesem Band werden Kollektoren in der gewünschten Länge abgeschnitten und mit den im Spritzgussverfahren hergestellten Sammler- / Endstücken versehen. Abschliessend werden die verbleibenden Hohlräume zur mechanischen Stabilisierung und Wärmedämmung ausgeschäumt (Abb. 4).

Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Polymeren wurde für das Absorberkonzept eine (annähernd vollflächig durchströmte) Rohrmatte gewählt. Bei Rohrendurchmessern von 3 – 8 mm sind bereits mit etwa 1 mm Wandstärke Druckfestigkeiten bis 3 bar zu erreichen. Als Material kommen mit Russ versetzte PE, PP und

PA Varianten in Frage. Diese bieten die nötige Hydrolysebeständigkeit gegenüber dem Wärmeträgermedium, müssen aber mittels eines co-extrudierten thermotropen Überzuges vor Temperaturen über 80 – 100°C sicher geschützt werden.

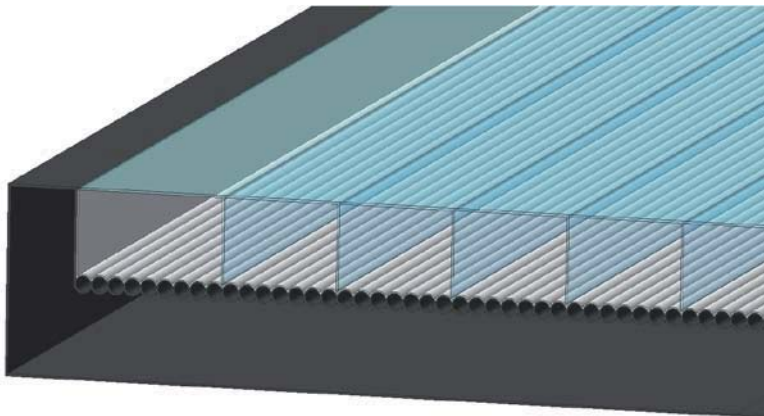


Abb. 3: Extrudierter Polymerkollektor. Der Hohlraum zwischen Absorber und Gehäuse wird in einem späteren Verarbeitungsschritt ausgeschäumt.

Das Kollektorgehäuse (Seiten- und Rückwand) kann aus demselben Material im gleichen Arbeitsschritt extrudiert werden. Hier muss jedoch zwingend eine UV-stabilisierte Materialvariante verwendet werden. Der entstandene Hohlraum wird später z.B. mit PU Schaum ausgefüllt, wodurch der Kollektor die nötige bzw. gewünschte mechanische Steifigkeit und Wärmedämmung erhält.

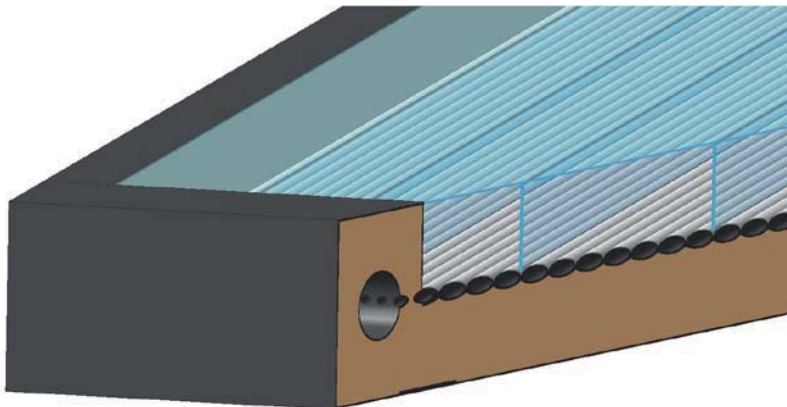


Abb. 4 Schnitt durch den fertigen Polymerkollektor.

Als transparente Abdeckung wäre PMMA ideal, da es höchste Witterungsbeständigkeit mit für Polymere hohem solaren Transmissionsgrad verbindet [3]. Thermisch stabiler sind jedoch PC oder PA, welche mit entsprechendem Schutz ebenfalls eine akzeptable Witterungsbeständigkeit aufweisen können. Aufgrund der nicht zu vernachlässigenden Absorption wird die Wandstärke mit etwa 1 – 2 mm möglichst gering gewählt. Zur Erhöhung der Stabilität werden, ähnlich wie bei Stegdoppelplatten, Stege vorgesehen. Die Abdeckung wird mit dem Absorber und dem Gehäuse co-extrudiert. Für eine höhere Leistungsfähigkeit kann an Stelle des transparenten Polymers auch (eisenarmes) Glas zum Einsatz kommen.

Abschliessend wird an den beiden Enden ein Endstück mit integriertem Sammelrohr angebracht, welches im Spritzgussverfahren hergestellt wird. Je nach verwendetem Material kann das Endstück gesteckt, geschweisst, geklebt oder nachträglich vernetzt werden.

Tab. 1: Abschätzung der Herstellkosten

Bauteil	Jahresmenge	Kosten PA	Kosten PP
Co-extrudierter Kollektor	>100'000 m	62 €/m ²	45 €/m ²
Endstück	10'000 Stk.	10 €/m ²	7 €/m ²
Endstück	100'000 Stk.	7 €/m ²	4 €/m ²

Die Herstellkosten wurden sowohl für einen komplett aus PA hergestellten Kollektor als auch für einen überwiegend aus dem kostengünstigeren PP abgeschätzt. Als Breite wurden 62.5 cm als ein typisches Baumaass gewählt. Je nach Durchmesser der Absorberrohre kann die Länge über 20 m betragen. Durch eine spezielle Formgebung der Seitenwange und der Sammelrohre können die Einzelkollektoren praktisch Fugenlos zu einem grossen Kollektorfeld aneinander gereiht werden.

Messergebnisse

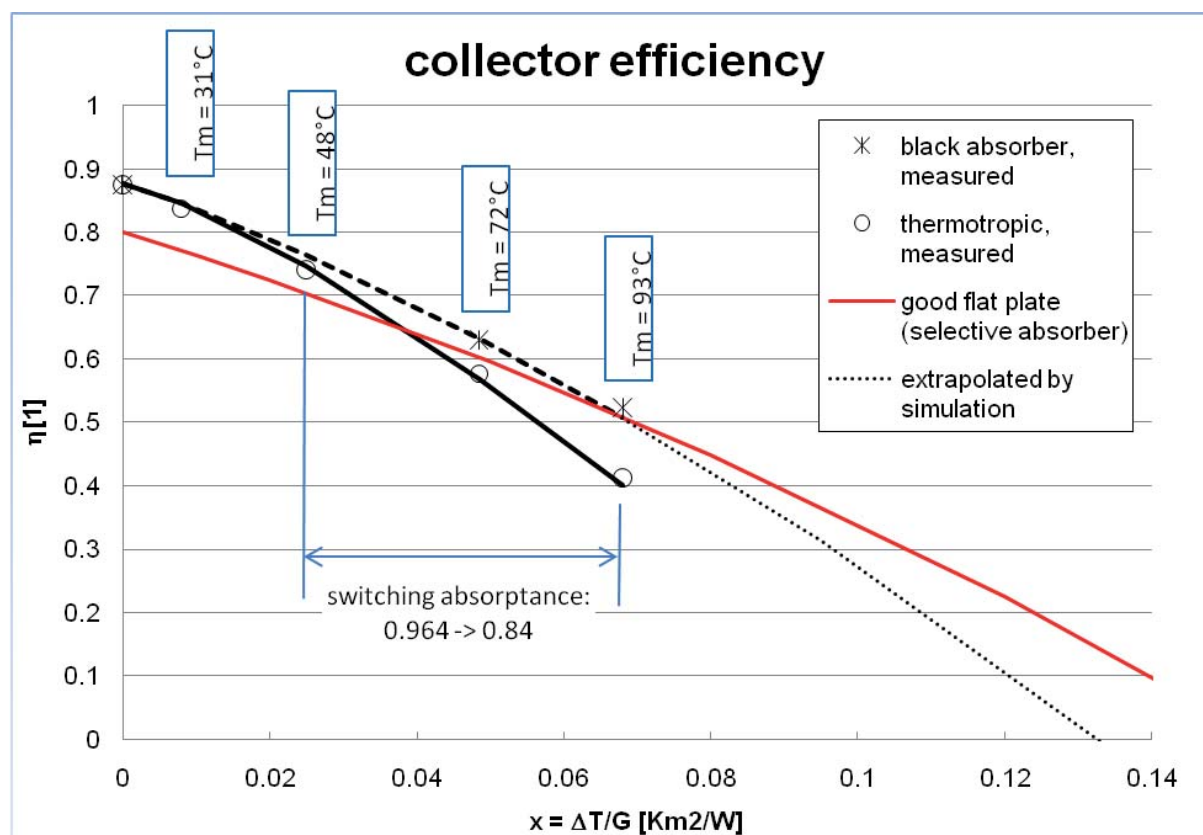


Abb. 5: Wirkungsgradkennlinien des Polymerkollektors mit Glasabdeckung (mit und ohne thermotropem Überhitzungsschutz) im Vergleich zu einem guten Flachkollektor.

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit eines derartigen Polymerkollektors wurde ein entsprechendes Funktionsmuster mit den Aussenmassen 200 cm x 80 cm x 10 cm aufgebaut. Als Dämmung (Rückwand und Seiten) wurde 5 cm XPS verwendet. Der Absorber wurde aus co-extrudierten (PA + Thermotrop) Rohren mit $D_i = 8$ mm zusammengesetzt. Als Abdeckung wurde jedoch eisenarmes Glas (!) verwendet.

Wie in Abb. 5 zu erkennen ist, weist das Funktionsmuster aufgrund des grossen F' (vollflächig durchströmter Absorber) und des grossen effektiven Absorptionsgrades (hohes α gepaart mit gewellter Oberfläche) einen sehr hohen optischen Wirkungsgrad auf. Dadurch ist dieser Kollektor für kleine x dem selektiv beschichteten Flachkollektor überlegen (gestrichelte Linie in Abb. 5 ohne thermotrope Schaltfunktion bis $x \approx 0.07 \text{ Km}^2/\text{W}$).

Der thermotrope Überhitzungsschutz, welcher eine Abnahme des Absorptionsgrades bewirkt, setzt bei einer Absorbtemperatur um 48°C ein (vgl. sw gestrichelte mit sw massiver Kurve) und ist bei 93°C noch nicht genügend fortgeschritten. Im Idealfall sollte der Schaltvorgang erst oberhalb $75^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$ einsetzen und bei $80^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ in einer Wirkungsgradreduktion auf Null resultieren.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Der vorgestellte Polymerkollektor hat das Potential zu einem marktfähigen Preis – Leistungsverhältnis. Die Verwendung der thermisch weniger stabilen Polymere PP, PE, PMMA stellen erhöhte Anforderungen an den zwingend noch zu verbessernden thermotropen Überhitzungsschutz. Die Einsatzmöglichkeit von Hochleistungspolymeren unter Verzicht des thermotropen Überhitzungsschutzes ist noch zu überprüfen.

Literatur

- [1] W. Zörner, Technologie-Perspektiven für die Kollektortechnologie - Ergebnisse der Arbeit der Arbeitsgruppe 1 der Deutschen Solarthermie Technologieplattform, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, 10./11.02 2009 Berlin
- [2] S. Brunold et.al., Beurteilung der Möglichkeiten von thermochromen Schichten als potenzielle Überhitzungsschutzmassnahme für solarthermische Kollektoren, Schlussbericht BFE Projekt Nr. 43729 (2007).
- [3] F. Ruesch, S. Brunold, U. Frei, T. Häuselmann, E. Frank; Langzeit-Alterungsuntersuchung an Abdeckungsmaterialien für thermische Sonnenkollektoren; BFE Publikation 280247 (2008).

Diese Arbeiten wurden teilweise vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) finanziert und im Rahmen der IEA-SHC Task 39 durchgeführt.