

Solarthermische Kunststoffkollektoren mit integriertem Überhitzungsschutz

R. Hausner¹, G.M. Wallner², K. Resch³

¹ AEE-Institut für Nachhaltige Technologien, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf
Tel: +43-3112-5886, Fax: +43-3112-5886-18, E-Mail: r.hausner@aee.at

² Institut für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben,
Franz Josef-Straße 18, A-8700 Leoben
Tel: +43-3842-402-2103, E-Mail: wallner@unileoben.ac.at

³ Polymer Competence Center Leoben GmbH, Parkstraße 18, A-8700 Leoben
Tel: +43-3842-402-2107, E-Mail: resch@pccl.at

Einleitung

Kunststoffkollektoren besitzen aufgrund eines einfachen und weitgehend automatisierbaren Fertigungsablaufs signifikante Kostenreduktionspotentiale. Allerdings ist bei Kollektoren aus kostengünstigen Polymerwerkstoffen ein kunststoffgerechtes Design vorzusehen, das auch eine Begrenzung der maximalen Kollektortemperaturen erfordert. Die Dauergebrauchstemperaturen solcher Werkstoffe liegen bei etwa 80 – 90 °C. Dies deckt sich gut mit den Anforderungen der solaren Warmwasserbereitung und teils auch der solaren Heizungsunterstützung. Am Polymer Competence Center Leoben (PCCL) wird ein Forschungsprojekt zur Auslotung und Weiterentwicklung von Komponenten für einen integrierten Überhitzungsschutz in Kunststoffkollektoren bearbeitet. Insbesondere sollen im Rahmen dieses Projektes als Temperaturbegrenzungsmaßnahme thermotrope Schichten materialtechnisch weiterentwickelt und an die Erfordernisse dieses speziellen Einsatzgebietes angepasst werden.

Thermotrope Schichten

Thermotrope Schichten für den Überhitzungsschutz im Bereich von Fassaden mit Schalttemperaturen von 25 – 30 °C sind bekannt (Wallner et al., 2006). Sie ändern selbstständig und reversibel ihre solare Transmission in Abhängigkeit von ihrer Temperatur. Damit sind sie geeignet eine Regelfunktion zur Temperaturbegrenzung zu erfüllen. Bei niedrigen Temperaturen sind sie transparent, bei hohen Temperaturen streuen sie die solare Strahlung zu einem hohen Anteil diffus zurück – Abb. 1. Der Übergang von transparent zu streuend sollte in einem engen Temperaturbereich liegen.

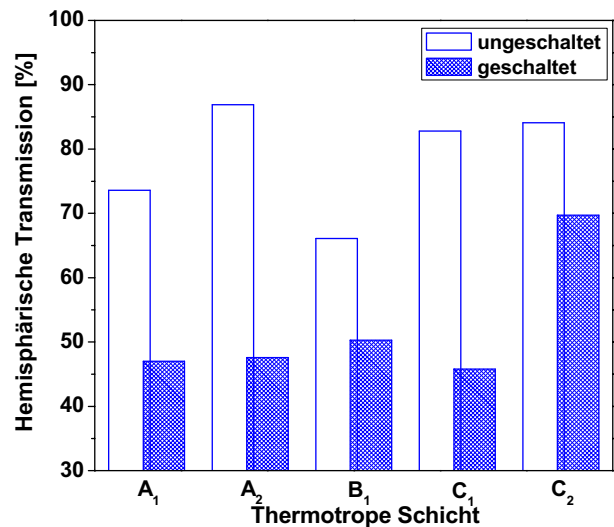


Abb. 1: Thermotrope Schicht in verschiedenen Schaltzuständen (links). Hemisphärische Transmissionen unterschiedlicher thermotroper Schichten bei einer Wellenlänge von 600 nm (rechts).

Bei **thermotropen Hydrogelen** und **Polymer Blends** handelt es sich um Mehrkomponentensysteme, die eine untere kritische Entmischungstemperatur aufweisen. Während die einzelnen Materialkomponenten unterhalb dieser Schalttemperatur homogen vermischt und damit transparent sind, entmischen sie sich oberhalb dieser Temperatur – es kommt zu einer Phasenseparation und damit zu einer diffusen Streuung des Lichtes. Beide Systeme zeigten bisher allerdings unzureichende thermische Langzeitstabilität und eine für ein Sonnenschutzsystem unzureichende Transmissionsverringierung.

Thermotrope Gießharzsysteme stellen Zweikomponentensysteme dar, die aus einer vernetzten Polymermatrix und einer darin dauerhaft eingebetteten thermotropen Komponente bestehen, welche eine starke Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex aufweist, wobei diese Brechungsindexänderung durch eine Änderung des Aggregatzustands hervorgerufen wird. Während sich unterhalb der Schalttemperatur die Brechungsindices der beiden Komponenten nicht unterscheiden und die Mischung transluzent erscheint, kommt es oberhalb dieser Temperatur zu einer reversiblen Eintrübung aufgrund des Brechungsindexunterschieds zwischen Matrix und thermotroper Komponente.

Im Rahmen dieses Projektes werden am PCCL thermotrope Schichten systematisch werkstofflich weiterentwickelt und deren physikalische Eigenschaften möglichst den aus den Modellrechnungen ableitbaren Zielvorgaben angepasst.

Simulation

Zielvorgaben zur weiteren Materialentwicklung wurden aus Simulationen der strahlungs- und wärmetechnischen Eigenschaften des gesamten Kollektoraufbaues abgeleitet. In der Literatur sind für alle wesentlichen Kollektorelemente und physikalischen Vorgänge entsprechende physikalisch-mathematische Modelle beschrieben (Duffie, Beckman, 1991, VDI-Wärmeatlas, 1997). Die wesentlichen Grundstrukturen zur theoretischen Beschreibung lagen auf dieser Basis in einem von AEE INTEC (AEE - Institut für Nachhaltige Technologien) entwickelten, umfassend verwendeten und bewährten Rechenprogramm bereits vor. Dieses iterativ arbeitende Programm wurde entsprechend den Anforderungen der Aufgabenstellung durch weitere spezifische Funktionsgruppen für die Berücksichtigung von thermotropen Schichten adaptiert und weiterentwickelt. Dieses Modell besteht im Wesentlichen aus den Untergruppen Strahlungsmodell, Kollektorabdeckungsmodell (solare Strahlung), Absorbermodell (solare Absorption bzw. thermische Strahlung), Wärmetransport im Absorber, thermische Verluste durch Kollektorabdeckung sowie Rückwand und Seitenwände. Eine umfangreiche Stoffdatenbibliothek für alle wesentlichen Komponenten ergänzt das Modell.

Folgender **Kollektoraufbau** wurde modelliert:

Der zur Simulation verwendete Modellkollektor hatte folgenden Aufbau:

- Kollektorabdeckung: Doppelstegplatte oder alternativ Einfachplatte aus Polycarbonat (PC) mit an ihrer Unterseite dicht montierter thermotroper Schicht.
- Luftspalt.
- Absorber ausgeführt als Dreifachstegplatte (obere Kammern Wärmeträger, untere Kammern Luft) alternativ schwarz oder selektiv beschichtet.
- Rückwand- (Dämmung und Bodenplatte) und Seitenwanddämmung - Polymermaterial.

Die Beschreibung der optischen Eigenschaften der thermotropen Schicht erfolgte über die messtechnisch erfassbare temperaturabhängige solare Transparenz und die diffuse Rückstreuung; die solare Absorption innerhalb der thermotropen Schicht wurde zu Null gesetzt. Bei den gerechneten Varianten wurde das Schalttemperaturintervall so gewählt, dass für ausreichend hohe Rückstreuung über dem Schalttemperaturintervall eine maximale Absorbertemperatur von 85 – 90 °C auch für ungünstige Kombinationen der Betriebszustandsvariablen nicht überschritten wurde. Bei den Modellrechnungen wurde mit konstanter solarer Transparenz bzw. Rückstreuung unterhalb bzw. oberhalb des Schalttemperaturintervalls gerechnet, obwohl auch die Möglichkeit besteht beliebige Kennwertverläufe (Messwerte) zu berücksichtigen.

Unterhalb des Schalttemperaturintervalls wurde mit 90 % bzw. 80 % Transmission gerechnet und oberhalb mit Werten von 10 % bis 60 %.

Verwendete **Klimadaten**: Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass häufig Globalstrahlungswerte in der Kollektorebene bis zu etwa 1200 W/m² über signifikante Zeiträume (etwa ½ Stunde) auftreten können (Fink et al., 2003). Zur Ermittlung des Begrenzungsverhaltens wurde daher dieser Strahlungswert gewählt. Die Umgebungstemperatur (und Himmelstemperatur) wurde mit 30 °C bzw. 0 °C angenommen. Die Windgeschwindigkeit über der Kollektoroberfläche wurde mit 0 m/s bzw. 3 m/s gewählt.

Ergebnisse

In der Abb. 2 sind einige Rechenergebnisse für das Schaltverhalten von Kunststoffkollektoren mit thermotropen Schichten an der Kollektorabdeckung dargestellt. Die im Stagnationsfall maximal erreichte Absorbtemperatur ist durch den Schnittpunkt der Kennlinie mit der horizontalen Linie für 0 % Wirkungsgrad gegeben. Man erkennt allgemein die starke Abhängigkeit des Schaltverhaltens von der Umgebungstemperatur. Bei niedriger Außentemperatur werden hohe Absorbtemperaturen erreicht und umgekehrt. Dies bewirkt, dass bei hohen Umgebungstemperaturen bei einigen Kollektorkonfigurationen das Abschalten bereits bei ungünstig niedrigen Absorbtemperaturen einsetzt.

Eine aussichtsreiche Variante stellt die Kombination Doppelstegplatte mit thermotroper Schicht – schwarzer Absorber dar. Generell sind hochselektive Absorberschichtungen zusammen mit thermotropen Schichten an der Abdeckung im Sinne der Aufgabenstellung eher ungeeignet.

Der für ein ausreichendes Schaltverhalten notwendige Schalhub stellt auch hohe Anforderungen an die Entwicklung thermotroper Schichten - Abb. 3. Generell sollte die Transparenz der thermotropen Schicht im ungeschalteten Zustand möglichst hoch sein (90% und mehr wären anzustreben). Für die Variante Doppelstegplatte mit thermotroper Schicht – schwarzer Absorber ist eine Transmission von maximal etwa 20 % im geschalteten Zustand für den gewählten Kollektoraufbau notwendig. Die Schalttemperatur der thermotropen Schicht sollte für diese Variante dann im Bereich 55 – 60 °C liegen. Diese als Entwicklungsziel anzustrebenden Eigenschaften der thermotropen Schicht bewirken eine Begrenzung der maximalen Absorbtemperatur (Stillstandstemperatur) auf etwa 85 °C.

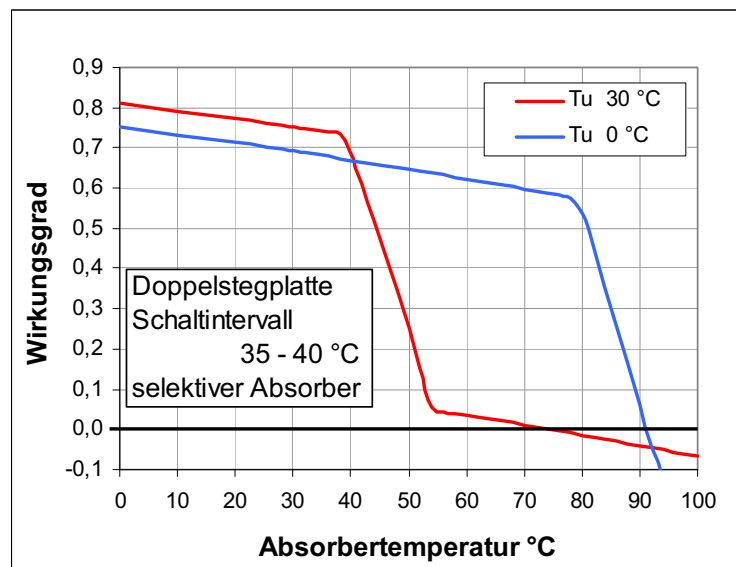
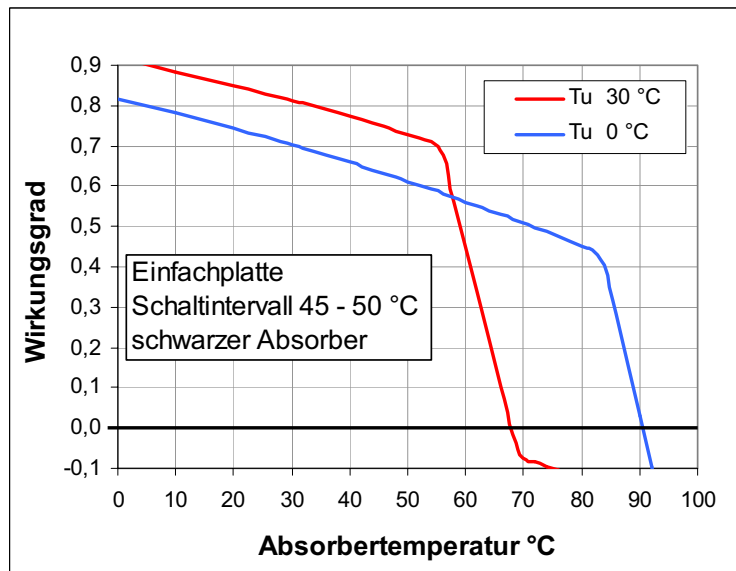
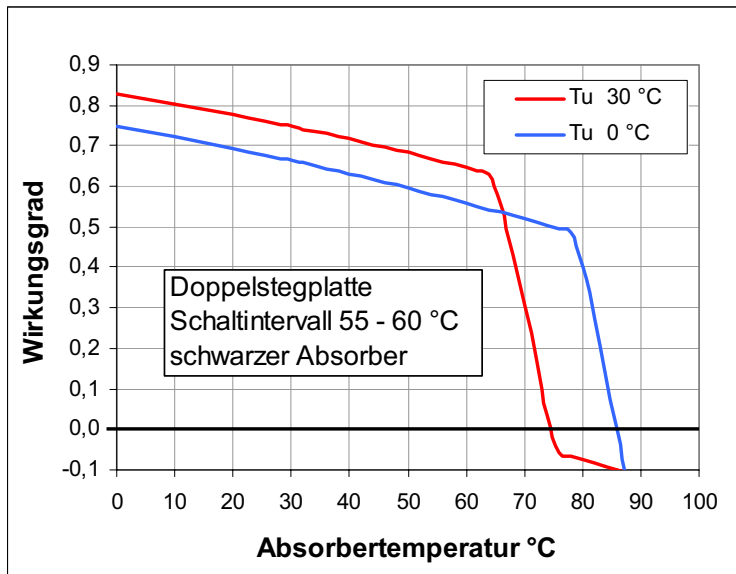


Abb. 2: Schaltverhalten von Kunststoffkollektoren mit thermotropen Schichten: Begrenzung der maximalen Absorbtemperatur auf etwa 85 bis 90 °C. Dargestellt sind Wirkungsgrade über der Temperatur des Wärmeträgermediums für eine solare Einstrahlung von 1200 W/m², 0 bzw. 30 °C Umgebungstemperatur und kein Wind.

Für die thermotrope Schicht wurde folgende Transmission angenommen: unter dem Schalttemperaturintervall 90 %, darüber 10 %, der Rest auf 100 % ist diffuse Rückstreuung (keine Absorption). Das Schalttemperaturintervall ist der Kollektorkonfiguration angepasst.

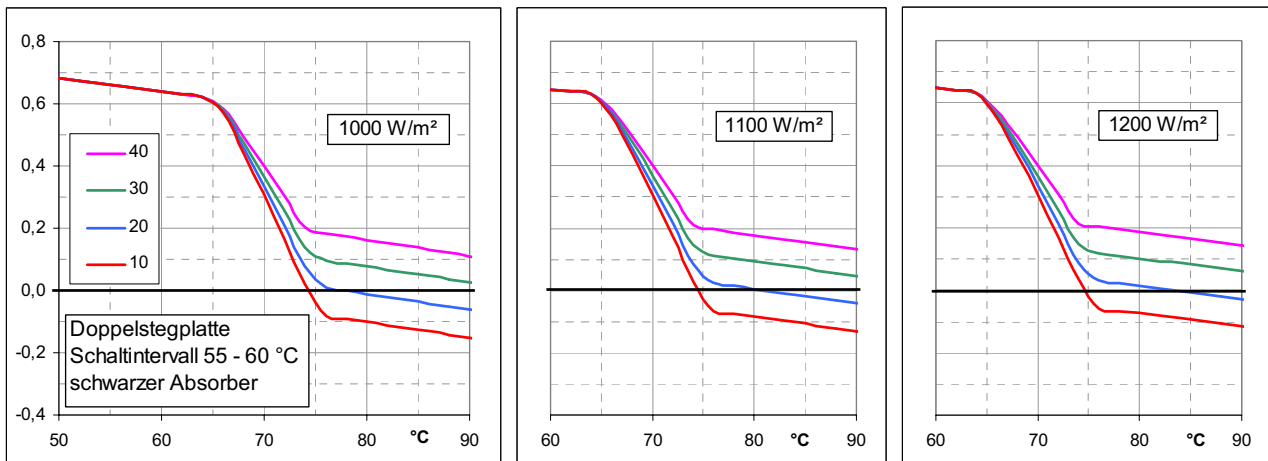


Abb. 3: Kollektorwirkungsgrad über der Temperatur des Wärmeträgermediums.

Variation des Schalthubes, Doppelstegplatte, thermotrope Schicht an der Abdeckung, schwarzer Absorber, solare Einstrahlung 1000, 1100, 1200 W/m²,

Umgebungstemperatur 30 °C, kein Wind. Für die thermotrope Schicht wurde folgende Transmission angenommen: unter dem Schalttemperaturintervall 90 %, darüber 10, 20, 30 bzw. 40 %, der Rest auf 100 % ist diffuse Rückstreuung (keine Absorption).

Duffie, Beckman, 1991

Duffie J. A., Beckman W. A., 'Solar Engineering of Thermal Processes', Verlag John Wiley & Sons, Inc. 1991

VDI-Wärmeatlas, 1997

VDI-Wärmeatlas, Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Springer Verlag Berlin Heidelberg 1997

Fink et al., 2003

Fink C., Hausner R., Wagner W., Riva R., 'Entwicklung von thermischen Solar-systemen mit unproblematischem Stagnationsverhalten', AEE INTEC, Gleisdorf 2003

Wallner et al., 2006

Wallner G. M., Resch K., Hausner R., 'Solarthermische Kunststoffkollektoren mit integriertem Überhitzungsschutz', Gleisdorf Solar 2006, Gleisdorf, September 2006