

Simulationsgestützte Qualifizierung neuer Konzepte zur Gestaltung von thermischen Solarkollektoren auf Polymerbasis

Masterarbeit

im Studiengang Regenerative Energiesysteme

an der

FHTW Berlin

Marktstraße 9, 10317 Berlin

erstellt am

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

vorgelegt von

Steffen Jack

Erster Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Friedrich Sick
Zweiter Gutachter:	Dipl.-Phys. oec. Karl-Anders Weiß
Bearbeitungszeitraum:	28.04.2008 – 22.09.2008

Freiburg, September 2008

6 Fazit und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war mittels FEM-Simulationen Wirkungsgradzusammenhänge und mechanische Belastungen von möglichen Polymerkollektoren zu untersuchen. Dazu wurden die Eigenschaften von Polymeren sowie denkbare Konstruktionsformen von Polymerkollektoren diskutiert, um die Fragestellungen genauer zu bestimmen. Folgend wurden die Simulationsreihen definiert, um die Auswirkung von Parametervariationen auf die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Polymerkollektoren strukturiert analysieren zu können.

Die Simulationen wurden mit der Software *COMSOL Multiphysics* durchgeführt, innerhalb derer ein 3D-Simulationsmodell eines halben Strömungskanals einer extrudierbaren Kollektorgeometrie erstellt wurde. Mittels dieses Modells konnten alle betrachteten Parametervariationen untersucht werden. Die aufeinander aufbauenden Simulationsschritte zu Stoff- und Wärmetransport sowie Strukturmechanik wurden mit dem Heat Transfer und dem Structural Mechanics Modul von *COMSOL* bearbeitet.

Es wurden die Kollektorwirkungsgradfaktoren für verschiedene Absorbermaterialien, Wandstärken und Positionen der absorbierenden Schicht durch Verwendung eines Ausschnittes des Kollektormodells vergleichend bewertet. Betreffend der Absorbergeometrien wurde eine kurze Betrachtung des zu erwartenden Druckverlustes bei Variation der Strömungsführung im Absorber durchgeführt. Des Weiteren wurden mittels des gesamten Modells Kollektorwirkungsgradkurven bestimmt und Einflüsse von verschiedenen Parametervariationen auf diese diskutiert. Die Temperaturverteilungen, welche als Ergebnisse dieser Simulationsreihen vorlagen, wurden genutzt, um die im Betrieb auftretenden thermo-mechanischen Belastungen durch Wärmedehnungen der Materialien zu untersuchen. Zusätzlich wurde die Belastung der Kollektorgeometrie aufgrund von Schneelasten simuliert, wobei ebenfalls verschiedene Geometrieparameter variiert wurden.

Innerhalb der Druckverlustbetrachtung wurde gezeigt, dass für einen konstanten spezifischen Massenstrom von $40 \text{ kg/m}^2\text{h}$ durch Variation der Strömungsführung die Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst werden kann, wobei die Druckverluste für alle Strömungsführungen geringer sind als bei einem herkömmlichen Finnenrohr-Mäanderabsorber. Somit ist bei einer Optimierung der Absorbergeometrie in

Bezug auf den Druckverlust neben der Kanalhöhe ebenfalls die Strömungsführung zu berücksichtigen.

Die Untersuchung der Wärmetransportfähigkeit des Absorbers bestätigt, dass ein vollflächig durchströmter Polymerabsorber einen höheren Internen Leitwert als übliche Finne-Rohr-Absorber aufweist. Wird die absorbierende Schicht auf einem Zusatzteil innerhalb des Strömungskanals aufgebracht, so kann der Interne Leitwert innerhalb der betrachteten Absorbergeometrie auf $540 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesteigert werden. Wird die Absorption oben auf dem Absorber angenommen, so liegt der Interne Leitwert immer noch über dem eines Finne-Rohr-Absorbers, wobei hier die Materialstärke und die Wahl des Polymers starken Einfluss auf diesen haben.

In Bezug auf den Kollektorwirkungsgrad wurde festgestellt, dass eine Dreifachstegplatte mit einem Luftspalt als Rückseitendämmung größere thermische Verluste aufweist als eine Konfiguration mit konventioneller Rückseitendämmung. Durch die Annahme der Aufbringung einer Beschichtung mit einer geringen Emissivität auf der Unterseite des Absorbers konnte der Verlustkoeffizient a_1 um $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt werden, wobei der Verlustkoeffizient dabei immer noch $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ über dem der Kollektorkonfiguration mit konventioneller Rückseitendämmung liegt. Hier ist folglich eine weitere Variation des Luftspaltes hinten zu untersuchen, um die thermischen Verluste unten am Absorber zu verringern.

Die Variation der Position der absorbierenden Schicht im Kollektormodell zeigt, dass der höhere Kollektorwirkungsgradfaktor bei einer Absorption innerhalb des Absorbers die höheren optischen Verluste aufgrund der zusätzlichen Polymerwand nicht ausgleichen kann. Somit liegt der Konversionsfaktor für eine Absorption innerhalb des Kanals unter dem der Kollektorvariante mit einer Absorption oben auf dem Absorber. Hier ist nun zu diskutieren inwiefern eine Absorption innerhalb des Strömungskanals sinnvoll ist.

Allgemein wurde festgestellt, dass durch die ermittelte Wärmetransportfähigkeit eines vollflächig durchströmten Polymerabsorbers auch bei einer Absorption oben auf dem Absorber sowie durch die Größenordnung der thermischen Verluste einer Dreifachstegplatte als Kollektorbauteil Wirkungsgrade von konventionellen Flachkollektor erreicht werden können.

Die ermittelten Temperaturverteilungen aus den Simulationen zur Wärmeleistungsfähigkeit von Polymerkollektoren wurden mit den maximalen Einsatz-

temperaturen der betrachteten Polymere verglichen. Es zeigt sich, wie zu erwarten, dass für den Absorber eines Polymerkollektor bei dem Stagnation auftreten kann nur Hochleistungspolymere wie z.B. PSU oder PPS eingesetzt werden können. Um hier billigere Polymere einsetzen zu können, müssen Möglichkeiten der Stagnationsvermeidung ermittelt werden.

Mittels der Simulationsreihen zu den thermo-mechanischen Belastungen wurde festgestellt, dass durch die Temperaturverteilung innerhalb der Dreifachstegplatte als Kollektorbauteil unterschiedliche Ausdehnungen und damit eine Deformation auftreten. Diese liegt für Kollektorkonfigurationen mit nur einem Polymer als Werkstoff für die meisten betrachteten Polymere bei maximal ca. einem Prozent Verbiegung in Richtung der Strömungskanäle. Dies bedeutet für eine Länge des Kollektors von zwei Metern eine Verformung von ca. 20 mm, was eine sichtbare Deformation ohne Einfluss auf die Kollektorfunktion darstellt. Die untersuchten Varianten mit einer Materialkombination innerhalb der Dreifachstegplatte zeigen hingegen eine unzulässig große Deformation. Somit müssen für diese integrierte Kollektorgeometrie bei Materialkombination die Polymere gleiche thermische Ausdehnung aufweisen oder sie müssen mechanisch oder thermisch entkoppelt sein. Die auftretenden Wärmespannungen sind für fast alle Konfigurationen innerhalb des Festigkeitsnachweises als zulässig eingestuft worden. Die Simulation der Schneelast als externe Belastung zeigt, dass die betrachtete Dreifachstegplatte dieser Belastung aufgrund ihrer Biegesteifigkeit standhält.

Somit wird allgemein geschlussfolgert, dass die mechanische Belastungsfähigkeit bei korrekter Konstruktion eines Polymerkollektors mit Verwendung einer Dreifachstegplatte gegeben ist.