

PARABOLRINNENKOLLEKTOR ZUR ERZEUGUNG INDUSTRIELLER PROZESSWÄRME

Dipl.-Ing. Dagmar Jähmig¹⁾, Ing. Richard-Matthias Knopf²⁾

¹⁾AEE INTEC

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE
Institut für Nachhaltige Technologien
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf
Tel.: +43-3112 / 5886-28, Fax: DW -18
E-Mail: d.jaehmig@aee.at

²⁾Knopf Design

Gurkgasse 16, 1040 Wien
E-Mail: m.knopf@buttonenergy.at

1 Einleitung

21% des österreichischen Endenergieverbrauchs entfiel 1998 auf die industrielle Prozesswärme. Diese Prozesswärme wird derzeit nur zu 12% mit erneuerbaren Energieträgern gedeckt. Prozesswärme bis zu einem Temperaturniveau von etwa 100°C kann problemlos mit am Markt erhältlichen Sonnenkollektoren (Flachkollektoren bzw. Vakuumröhrenkollektoren) erzeugt werden. Ein großer Anteil der benötigten Prozesswärme liegt aber auch im Temperaturbereich zwischen 100°C und 200°C, dies gilt zum Beispiel für gewisse Prozesse in der Lebensmittel-, Textil- und Chemieindustrie. Solche Temperaturniveaus können jedoch nur noch mit konzentrierenden Systemen erreicht werden, da bei herkömmlichen Kollektoren die Wärmeverluste bei diesen Temperaturen zu hoch werden und damit der Wirkungsgrad stark abnimmt.

Konzentrierende Kollektoren wurden bisher hauptsächlich in solarthermischen Kraftwerken zur Dampferzeugung eingesetzt und brauchen sehr große Flächen, um wirtschaftlich betrieben werden zu können.

Im vorliegenden Projekt soll ein kostengünstiger konzentrierender Kollektor mit kleinen Abmessungen nach dem Parabolrinnenprinzip entwickelt werden. Ein derartiger Kollektor mit kleinen Abmessungen, der ohne großen Aufwand installierbar ist und durch seine kleinen Abmessungen und sein geringes Gewicht auch auf Fabrikdächern montiert werden kann, ist eine Neuheit im Bereich der Solartechnik.

2 Aufbau des Kollektors

Der erste Prototyp des Parabolrinnenkollektors der Firma Knopf Design, Wien, besteht aus einem formgebenden Blechmantel, in dem als Spiegel ein Aluminiumblech der Firma Alanod angebracht ist (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Die Rinne ist mit Glas abgedeckt, das eine Verschmutzung des Reflektors verhindert und gleichzeitig Stabilität gewährleistet. Der Receiver ist im Schwerpunkt der Rinne angeordnet, so dass sich die Rinne selbst zur Nachführung leicht um den statischen Receiver drehen lässt. Der Receiver, der von einem nicht evakuierten Glashüllrohr umgeben ist, das bei diesem ersten Prototypen nicht evakuiert war, ist ein konzentrisches Edelstahlrohr mit 8 mm Außendurchmesser.

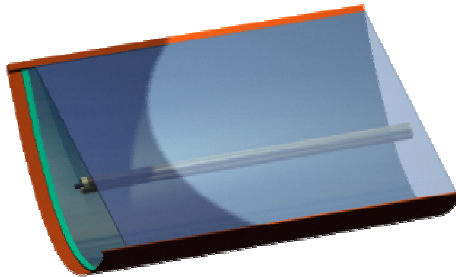


Abb. 1: Schnittzeichnung 1. Prototyp Fa.
Knopf Design, Wien



Abb. 2: 1. Prototyp auf dem Teststand
der AEE INTEC, Gleisdorf

3 Messung der Kollektorkennlinie

Der Prototyp wurde am Teststand der AEE INTEC, Gleisdorf, vermessen. Als Wärmeträgermedium diente dabei Wasser bei 15-20 bar, so dass keine Verdampfung bei den verwendeten Betriebstemperaturen unter 200°C stattfand. Der Kollektor bietet die Möglichkeit, entweder im Druckwasserbetrieb zu fahren oder direkt im Kollektor Dampf zu erzeugen. Für die ersten Wirkungsgradmessungen wurde der Druckwasserbetrieb gewählt, da dies die Messungen wesentlich vereinfacht und im ersten Schritt der (optische) Wirkungsgrad des Kollektors und nicht der Vorgang der Direktverdampfung untersucht werden soll.

Zuerst wurde die Wirkungsgradkennlinie des Kollektors aufgenommen, indem der Wirkungsgrad statisch bei verschiedenen Receivertemperaturen bestimmt wurde. Die verschiedenen Receivertemperaturen wurden eingestellt, indem über einen Wärmetauscher dem Kreislauf entsprechend Energie entnommen wurde. Die Ein- und Austrittstemperatur des Mediums, der Durchfluss und die auf den Kollektor einfallende Strahlung wurden gemessen und mit den Ergebnissen der Wirkungsgrad bei der jeweiligen Temperatur bestimmt.

Der Kollektor wurde für diese Messungen mit der Achse in Ost-West-Richtung aufgestellt. Die Messungen wurden jeweils um die Mittagszeit durchgeführt, da sich dann der Einfallswinkel der Strahlung auf den Kollektor über einen Zeitraum von 2 Stunden nur um wenige Zehntel Grad ändert. So konnte für diese Messungen auf eine Nachführung des Kollektors verzichtet werden.

Um die einzelnen Verluste besser zuordnen zu können, war der Receiver mit einem Solarlack mit bekannter Absorptivität von 95% beschichtet. Die Verluste, die durch das Abdeckglas und das Glashüllrohr verursacht werden, können recht gut ermittelt werden, da die Kennwerte der beiden Gläser bekannt sind. Die Verluste durch die beiden Gläser betragen etwa 23%.

Der sogenannte optische Wirkungsgrad (Receivertemperatur gleich Umgebungstemperatur) wurde mit knapp 50% ermittelt und war damit noch zu niedrig, um mit anderen Kollektoren konkurrieren zu können. Mit den bekannten Verlusten durch die Abdeckgläser, die Absorptivität des Solarlacks und den Wärmeübergang vom Receiverrohr auf das Fluid lässt sich erschließen, dass die Verluste, die durch die Genauigkeit der Spiegelung auf das Receiverrohr verursacht werden, gut 30% betragen.

Mögliche Ursachen dafür sind:

- 1) Ein Teil der Strahlung wird vom Reflektor absorbiert.
- 2) Ein Teil der Strahlung wird nicht gerichtet (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel) reflektiert.
- 3) Die Parabelform der Rinne ist nicht optimal.
- 4) Der Receiver liegt nicht genau im Brennpunkt.

Messungen bei Receivertemperaturen bis etwa 100 K über der Umgebungstemperatur zeigten, dass die Kennlinie recht flach verläuft. Das heißt, dass die Wärmeverluste des Receivers gering sind. Dies war aufgrund des sehr geringen Receiverdurchmessers auch zu erwarten. Durch Verwendung einer selektiven Beschichtung und durch Evakuieren des Glashüllrohrs können die Wärmeverluste noch weiter gesenkt werden.

Abb. 3 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade des 1. Prototypen aufgetragen über der Temperaturdifferenz zwischen Receiver und Umgebung geteilt durch die direkte Strahlung in Kollektorebene.

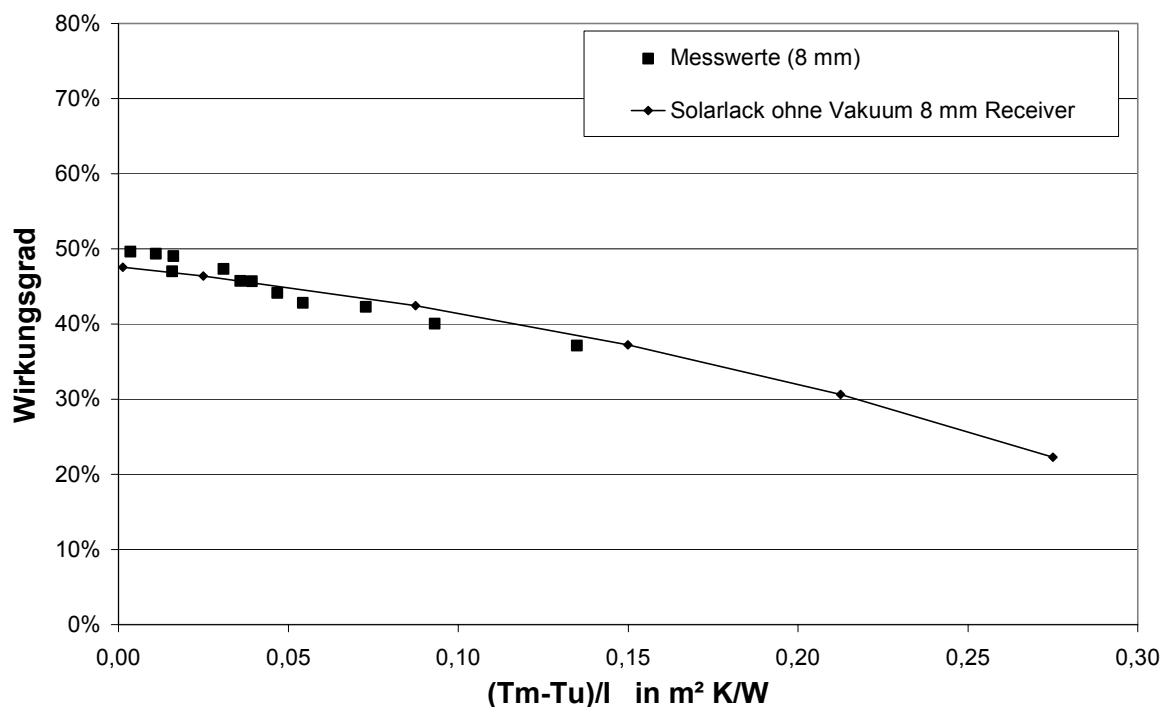


Abb. 3: Gemessene und berechnete Kennlinie Solarlack ohne Vakuum (1. Prototyp)

4 Optische Messungen

Um eine genauere Vorstellung davon zu bekommen, wo die optischen Verluste auftreten (Position des Receivers, Parabelform, Spiegelqualität), wurden als zweiter Schritt rein optische Messungen durchgeführt. Mit einem Array von Fotodioden wurde die Verteilung der gespiegelten Strahlung im Brennpunkt bzw. in Brennpunktnähe der Parabolrinne gemessen. Wie Abb. 4 zeigt, wurde dafür ein Teil des Abdeckglases verdeckt, so dass nur noch ein Spalt mit definierter Breite offen war. Die Aperturfläche wurde für die Messung der Breite nach in 10 solcher Sektoren aufgeteilt, die dann der Reihe nach vermessen wurden. Dabei wurde deutlich, dass die Hauptabweichung offensichtlich durch eine ungenaue Positionierung des Receivers hervorgerufen wird. Mögliche Gründe dafür sind eine ungenaue Fertigung der Receiverhalterungen, Durchhängen des Receiverrohres zwischen den Halterungen oder das Durchhängen der Halterungen selbst.

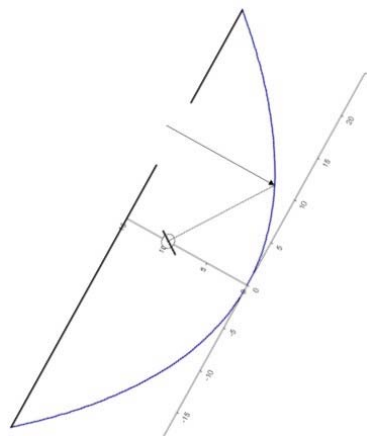


Abb. 4: Messaufbau optische Messungen (schematische Darstellung)

Parallel zu den Messungen wurden die Wärmeverluste des Receivers theoretisch berechnet. Die Kennlinie in Abbildung 3 zeigt die berechneten Wärmeverluste als Steigung der Kurve. Sie stimmen recht gut mit den gemessenen Wärmeverlusten überein. Aufgrund dieser Messungen wurde ermittelt wie die Kennlinie bei unterschiedlicher Beschichtung des Receivers oder bei Evakuierung des Glashüllrohrs verlaufen würde. Eine selektive Beschichtung des Receivers führt zu einer deutlichen Verbesserung des Wirkungsgrades besonders bei Temperaturen ab ca. 150°C, da dann die Verringerung der Wärmeverluste stärker ins Gewicht fällt. Gleiches gilt für die Evakuierung des Glashüllrohrs. Hier ist allerdings noch zu beachten, dass selektive Beschichtungen, die für eine Dauerbelastung mit Temperaturen über 200°C geeignet sind, häufig nur unter Vakuum stabil sind.

Es wurden einige Verbesserungsvorschläge erarbeitet, die dann vom Hersteller umgesetzt wurden:

- 1) Eisenarmes ESG statt Fensterglas als Abdeckscheibe
- 2) Genauere Positionierung des Receivers (Mechanische Optimierung der Abstützungen und Möglichkeit, die Receiverposition von außen nachzujustieren)
- 3) Receiverbeschichtung Poligrat statt Solarlack (führt zu einem niedrigeren optischen Wirkungsgrad, aber zu einer wesentlich flacheren Kennlinie durch die selektiven Eigenschaften der Beschichtung)

- 4) Evakuiertes Glashüllrohr (senkt die thermischen Verluste, verhindert das Zersetzen der selektiven Beschichtung)
- 5) Receiverdurchmesser 12 mm statt 8 mm (Dadurch steigt der optische Wirkungsgrad, die thermischen Verluste nehmen allerdings leicht zu), das innere Receiverrohr wird mit 8 mm Außendurchmesser so ausgelegt, dass die Druckverluste im inneren Rohr und im Ringspalt gleich sind. Der Druckverlust des Kollektors sinkt durch diese Maßnahme.

Nach Fertigstellung des verbesserten 2. Prototyps wurde dieser zunächst wieder mit der oben beschriebenen Methode optisch vermessen. Dadurch, dass die Receiverposition an den beiden Abstützungen in der Mitte einstellbar war, konnte ein stark verbessertes Ergebnis bei den optischen Messungen erzielt werden. Das heißt, die mit dem Diodenarray aufgenommen Peaks der einzelnen Sektoren streuen weniger stark und treffen zudem mittig auf den Diodenarray auf (siehe Abb. 5). Man erkennt, dass beim 1. Prototypen die Strahlung nur von Sektor 10 zentriert auf den Receiver auftrifft (zwischen Diode 7 und 8). Alle anderen weichen in eine Richtung ab, die Hälfte der Sektoren trifft gar nicht mehr auf den Diodensensor und damit auch nicht auf den Receiver. Beim 2. Prototypen ist dies nach Justierung der Receiverposition deutlich verbessert.

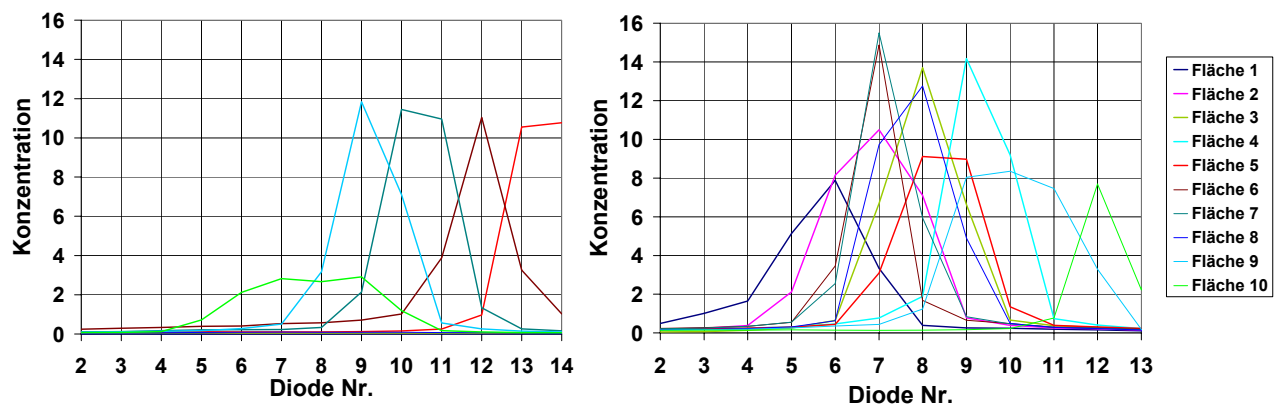


Abb. 5: Ergebnis der optischen Messungen der beiden Prototypen, links: 1. Prototyp, rechts: 2. Prototyp

5 Kollektorkennlinie 2. Prototyp

Anschließend wurde für den 2. Prototyp mit der mit Hilfe der optischen Messungen bestimmten Receiverposition die Kollektorkennlinie wie oben beschrieben aufgenommen.

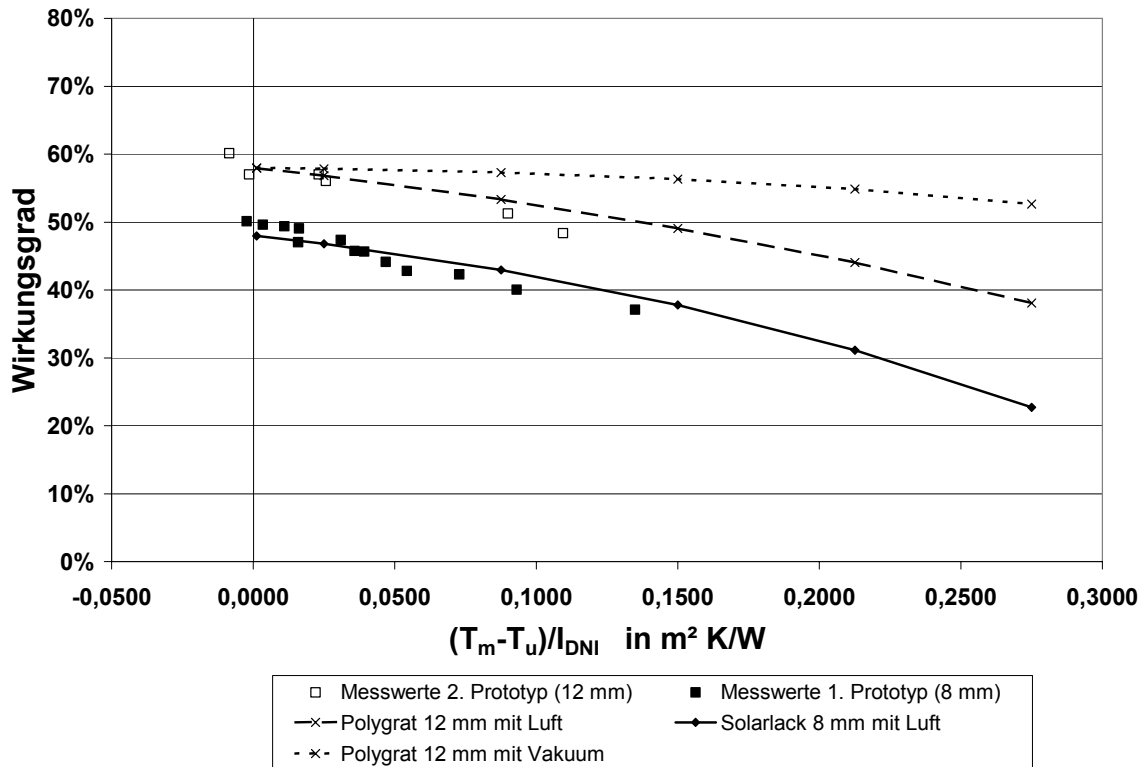


Abb. 6: Vergleich der Kollektorkennlinien für den 1. und 2. Prototypen

In Abb. 6 ist zusätzlich zu der gemessenen und berechneten Kennlinie des 1. Prototypen die gemessenen Punkte für den 2. Prototypen dargestellt. Der optische Wirkungsgrad liegt bei knapp 60% und damit deutlich höher als beim 1. Prototypen. Da die Verringerung der Transmissionsverluste durch ein eisenarmes Solarglas bekannt ist, kann ermittelt werden, dass die Spiegelverluste von gut 30% auf knapp 18% gesunken sind.

Zum Vergleich sind auch berechnete Kennlinien eingezeichnet, die die Wärmeverluste des neuen Receivers (größerer Durchmesser, selektive Beschichtung) berücksichtigen. Es sind zwei Varianten dargestellt: eine mit und eine ohne evakuiertem Hüllrohr. Wie man sieht, passt die Kennlinie ohne Evakuierung wesentlich besser zu den gemessenen Punkten. Offensichtlich hat das Hüllrohr die Evakuierung nicht halten können. Hier sind also noch konstruktive Verbesserungen notwendig. Außerdem fällt auf, dass die Steigungen der Kennlinien beim 1. und 2. Prototypen trotz der unterschiedlichen Receiverkennwerte sehr ähnlich sind. Die Effekte der selektiven Beschichtung (flachere Kennlinie) und des größeren Rohrdurchmessers (steilere Kennlinie) heben sich offenbar nahezu auf.

6 Zusammenfassung

Vor allem durch eine genauere Positionierung des Receivers konnte eine deutliche Verbesserung des optischen Wirkungsgrades des Parabolrinnenkollektors von knapp 50 auf etwa 60% erzielt werden. Für den Betrieb bei Temperaturen über 100°C ist eine Evakuierung des Hüllrohres sinnvoll. Eine selektive Beschichtung mit verbesserter Absorptivität und hoher Temperaturstabilität wird benötigt, konnte im Rahmen dieses Projektes aber nicht entwickelt werden. Für eine Serienfertigung des Kollektors muss ein Fertigungsverfahren gefunden werden, das eine genaue Positionierung des Receivers

gewährleistet. Dann wäre es auch möglich, den Receiverdurchmesser und damit die Wärmeverluste weiter zu reduzieren.

7 Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes wurde im Juli und August 2004 eine Beispielanwendung im Labormaßstab (10 m² Kollektorfläche) am Teststand aufgebaut und mit einem realistischen Wärmeabnahmeprofil unter realen Wetterbedingungen vermessen. Die daraus gewonnenen Betriebserfahrungen dienen zur Erarbeitung einer Fallstudie für einen Prozess eines Betriebes, dessen Wärmebedarf mit dem Parabolrinnenkollektorsystem bereitgestellt werden soll.

8 Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden innerhalb des Projekts „Entwicklung und Optimierung eines Parabolrinnenkollektorsystems zur Erzeugung von Prozesswärme für industrielle Produktionsprozesse“ im Rahmen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ – eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) finanziert.



9 Literatur

Löf G.O.G., Fester D.A., Duffie J.A., (1962), Energy Balances on a Parabolic Cylinder Solar Collector, Trans. ASME, J. Engrg. for Power, 84a, 24

Müller T. et al, (2003), PROMISE - Produzieren mit Sonnenenergie, Endbericht zum Projekt im Rahmen der Programmlinie Fabrik der Zukunft, www.fabrikderzukunft.at