

Bericht über die Ermittlung des internen thermischen Leitwertes von Absorberstreifen

Prüfstelle

Anschrift	Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal Am Ohrberg 1 31860 Emmerthal
Ansprechpartner	Dipl.-Ing. Nele Rumler Tel.: +49 (0)5151/ 999-522; Fax: -500 E-Mail: Pruefstelle@isfh.de

Prüfbericht

Nummer	144-08/UI
Datum	08.12.2008
Seitenzahl	10

Auftraggeber

Anschrift	ForSun-Solartechnik Ziegeleiweg 3 38835 Osterwieck
Ansprechpartner	Herr Oliver Motel Tel.: +49 (0)39421/ 68947; Fax: 68948

PrüfabSORBER

Typ	Al/Cu-Finne, geclincht
Herstell- Jahr	2008

Inhaltsverzeichnis

1.	Technische Daten des Absorberstreifens	3
2.	Interner Leitwert τ und Kollektorwirkungsgradfaktor F'	3
3.	Testverfahren	4
3.1.	Beschreibung der Messmethode	4
3.2.	Ablauf der Messung	4
4.	Versuchsbedingungen und Auswertung	6
4.1.	Versuchsbedingungen	6
4.2.	Auswertung	6
4.3.	Ergebnisse	8
5.	Diskussion der Ergebnisse	9
6.	Anhang	10

1. Technische Daten des Absorberstreifens

1.1. Absorberhersteller

ForSun-Solartechnik
Ziegeleiweg 3, 38835 Osterwieck
Typ Al/Cu-Finne, geclincht
Herstell- Jahr 2008

1.2. Absorber

Verbindungstechnik zwischen Absorber und Fluidrohr CSW-Verfahren (Continuous Step Welding) (Clinchen)

Absorberstreifen

Material Aluminum
Oberfläche Blank
Länge 999 mm
Breite 120 mm
Dicke 0.3 mm

Fluidrohr

Material Kupfer
Elipsenaußendurchmesser (d_1 ; d_2) 10.6 mm; 4.5 mm (Näherungsform)
Rohrwanddicke 0.5 mm

2. Interner Leitwert u_{int} und Kollektorwirkungsgradfaktor F'

Eine wesentliche Anforderung an einen Kollektor ist es, die Wärme vom Absorber mit geringer Temperaturdifferenz an das Fluid zu übertragen. Der interne thermische Leitwert u_{int} zwischen Absorber und Fluid ist die entsprechende Kenngröße.

Der Kollektorwirkungsgradfaktor F' berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$F' \approx \frac{u_{\text{int}}}{u_{\text{int}} + U_L} \quad \text{Gl. (2.1)}$$

Dabei ist U_L der konstante Anteil des auf die Absorbtemperatur bezogenen Wärmeverlustkoeffizienten. Näherungsweise kann hier der in einer Leistungsprüfung an Sonnenkollektoren bestimmte konstante Anteil des auf die mittlere Fluidtemperatur bezogenen Wärmeverlustkoeffizienten eingesetzt werden.

Zwischen dem Konversionsfaktor η_0 und dem Kollektorwirkungsgradfaktor F' besteht folgender Zusammenhang:

$$\eta_0 \approx (\tau\alpha)_{\text{eff}} \cdot F' \quad \text{Gl. (2.2)}$$

3. Testverfahren

Der Absorberstreifen wird im ISFH-Messstand zur Ermittlung des internen thermischen Leitwertes einzelner Absorberstreifen untersucht. Dabei werden der gesamte thermische Leitwert zwischen dem Absorberstreifen und dem Fluid sowie Teilleitwerte ermittelt.

3.1. Beschreibung der Messmethode

Der Absorberstreifen wird in einer gut isolierten Box (Wärmeverlustkoeffizient ca. 0.4 W/K) installiert und mit einem Fluidkreislauf verbunden (Eintrittstemperatur und Volumenstrom sind konstant). Zwei elektrische Widerstands-Heizelemente an den Rändern des Absorbers führen die benötigte Energie zu. Der aufgeprägte Wärmestrom soll einer absorbierten Strahlungsleistung von ca. 850 W/m^2 entsprechen (das ist ein typischer Wert bei einer solaren Bestrahlungsleistung von 1000 W/m^2). Durch Messung des übertragenen Wärmestroms an das Fluid und der Temperaturdifferenzen auf dem Absorber werden der interne thermische Leitwert sowie Teilleitwerte ermittelt. Das Absorbermodell und die Auswertung werden in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Die Unsicherheit des Messergebnisses u_{int} beträgt ca. $\pm 10 \%$. Für den Kollektorwirkungsgradfaktor F' resultiert daraus bei verglasten Kollektoren eine Unsicherheit von ca. $\pm 1 \%$. Bei hohen Wärmetransportkoeffizienten steigt die Unsicherheit des internen thermischen Leitwertes, während die Unsicherheit des Kollektorwirkungsgradfaktors sinkt.

3.2. Ablauf der Messung

Der vorbereitete Absorberstreifen wird an den Rändern auf einer Länge von 1 m in die Heizelemente des Messstands eingespannt. Das Absorberrohr wird mit dem Fluidkreislauf verbunden.

An zwei Positionen (ein Drittel und zwei Drittel der Länge) werden jeweils 5 Temperatursensoren auf dem Absorberstreifen befestigt. Abbildung 3-1 zeigt die Positionen der Sensoren.

Die Absorbertemperatursensoren werden so positioniert, dass sie die mittlere Absorbertemperatur, die sich im Falle einer solaren Bestrahlung ergeben würde, messen [1].

Unter der Temperatur des Rippenfußes wird im Zusammenhang des Testverfahrens die Temperatur an derjenigen Position auf dem Absorber verstanden, die senkrecht un-

terhalb des äußeren Randes des Fluidrohrs liegt (vgl. Abbildung 3-1). An den entsprechenden Stellen werden die Fußtemperatursensoren angebracht.

Der übertragene Wärmestrom wird auf der Fluidseite bestimmt und durch Messung der elektrischen Leistung kontrolliert.

Die Messwerte werden im stationären Zustand aufgenommen.

Die Temperatursensoren werden vor Beginn der Messung im eingebauten Zustand abgeglichen. Danach wird die Messung der Temperaturen auf dem Absorberstreifen bei über mehrere Stunden sehr stabilen Bedingungen durchgeführt.

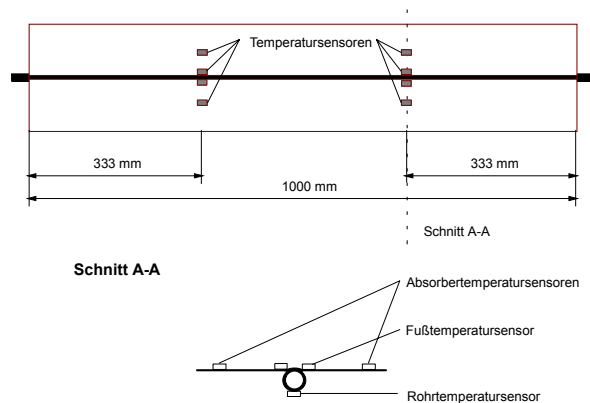


Abb. 3-1: Schematische Lage der Temperatursensoren auf dem Absorberstreifen

4. Versuchsbedingungen und Auswertung

4.1. Versuchsbedingungen

Tab. 4-1: Versuchsbedingungen bei der Messung des Prüflings

Prüfdatum: 26.11.2008	Prüfstand: KIKI
Volumenstrom	60.2 l/h
berechnete Reynoldszahl	2823
übertragene Leistung	85.5 W
Umgebungstemperatur	24.3 °C
Eintrittstemperatur	16.44 °C
mittlere Fluidtemperatur	17.05 °C

Die übertragene Leistung von 85.5 W entspricht einer solaren Bestrahlung von ca. 842 W/m² bei einem Kollektor.

$$\dot{Q}_{\text{therm}} = E_e \cdot (\tau\alpha)_{\text{eff}} \cdot A_{\text{Abs}} \quad \text{Gl. (4.1)}$$

4.2. Auswertung

Die verschiedenen thermischen Leitwerte u_i werden aus den Quotienten der übertragenen Wärmestromdichte und den zugehörigen Temperaturdifferenzen zwischen zwei Punkten auf dem Absorber ermittelt.

$$u_i = \frac{\dot{Q}_{\text{therm}}/A_{\text{Abs}}}{\Delta T_i} \quad \text{Gl. (4.2)}$$

Mit den Werten der Ein- und Austrittstemperatur des Fluids sowie der mittleren Absorber- und der Rippenfußtemperatur können prinzipiell verschiedene Wärmetransportkoeffizienten berechnet werden:

- u_{int} thermischer Leitwert zwischen Absorber und Fluid (gesamt)
- $u_{\text{Abs-Fuß}}$ thermischer Leitwert zwischen Absorber und Rippenfuß
- $u_{\text{Fuß-Fluid}}$ thermischer Leitwert zwischen Rippenfuß und Fluid
- $u_{\text{Rohr-Fluid}}$ thermischer Leitwert zwischen Rohrrinnenwand und Fluid (konvektiv)
- $u_{\text{Fuß-Rohr}}$ thermischer Leitwert zwischen Rippenfuß und Rohrrinnenwand
(d.i. im wesentlichen der zusätzliche Widerstand durch die Verbindungstechnik)

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 4-1 ein Ersatzschaltbild der Wärmewiderstände mit den Temperaturknoten, zwischen denen die einzelnen Leitwerte bestimmt werden.

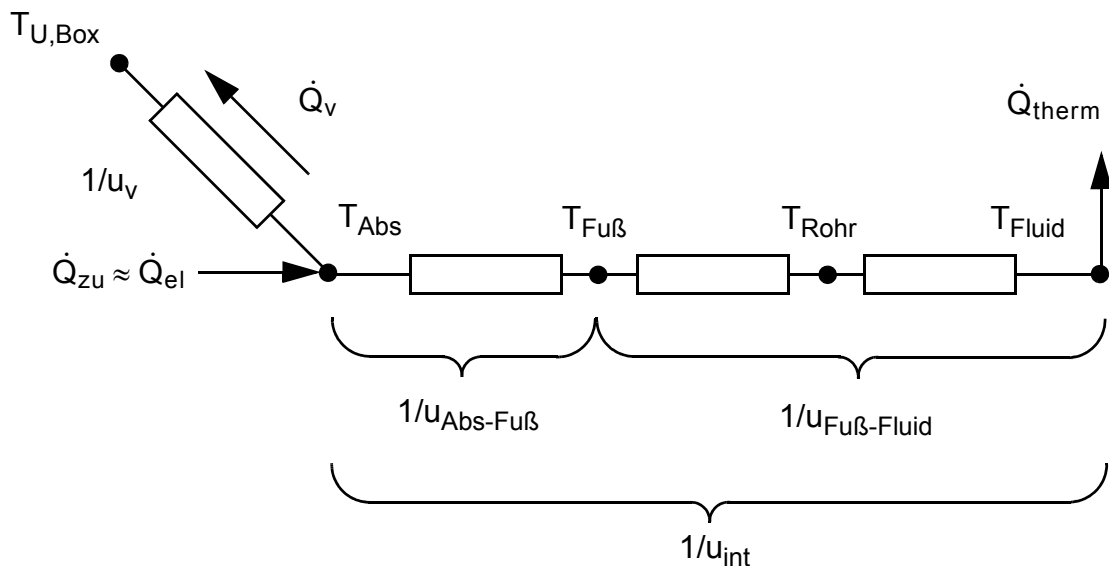


Abb. 4-1: Thermisches Ersatzschaltbild für die Messung des Wärmetransports an einem Absorberstreifen^a

Die Angabe der thermischen Leitwerte erfolgt in W/m^2K (pro m^2 Absorber).

Der thermische Leitwert zwischen Rippenfuß und Fluidrohr $u_{FuB-Rohr}$ kann mit Hilfe des theoretisch berechneten Wärmeübergangskoeffizienten von der Rohrrinnenwand an das Fluid, $u_{Rohr-Fluid}$, aus dem gemessenen Leitwert $u_{FuB-Fluid}$ ermittelt werden.

a. Die thermischen Verluste werden bei der Auswertung berücksichtigt. Die Einstellung der Versuchsbedingungen erfolgt so, dass die Verluste gering gehalten werden.

4.3. Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die aus den gemessenen Daten bestimmten Wärmetransportkoeffizienten des Absorberstreifens bei den Messbedingungen enthalten.

Tab. 4-2: Thermische Leitwerte der stationären Messung des Prüflings, bestimmt mit Wasser bei einer mittleren Fluidtemperatur von 17 °C und einem Volumenstrom von 60 l/h

Absorber: Aluminium		thermische Leitwerte			
Stärke in mm	Breite in mm	u_{int} in W/m ² K	$u_{\text{Abs-Fuß}}$ in W/m ² K	$u_{\text{Fuß-Fluid}}$ in W/m ² K	$u_{\text{Fuß-Rohr}}$ in W/m ² K
0.30	120	49.4	64.6	209.1	529.6

Der interne thermische Leitwert u_{int} ergibt sich aus einer Reihenschaltung der Leitwerte der Absorberrippe $u_{\text{Abs-Fuß}}$ und des Anbindungsleitwertes vom Rippenfuß zum Fluid $u_{\text{Fuß-Fluid}}$. Dieser Leitwert beinhaltet den konvektiven Wärmeübergang von der Rohrinnenwand an das Fluid [2], [3]. Der Leitwert $u_{\text{Rohr-Fluid}}$ wird aus Literaturangaben für die Nusseltzahl [4] theoretisch berechnet. Hiermit wird aus dem gemessenen thermischen Leitwert $u_{\text{Fuß-Fluid}}$ der Leitwert zwischen Rippenfuß und Fluidrohr $u_{\text{Fuß-Rohr}}$ errechnet.

5. Diskussion der Ergebnisse

Der interne thermische Leitwert u_{int} ist bei einem Volumenstrom von 60.2 l/h zu 49.4 W/m²K bestimmt worden.

Kollektorwirkungsgradfaktor F'

Aus dem internen Leitwert von 49.4 W/m²K bei einem Volumenstrom von 60.2 l/h wird nach Gleichung (2.1) der Kollektorwirkungsgradfaktor F' berechnet. Für den Einsatz des Absorbers in selektiven Flachkollektoren berechnet sich F' bei einem auf die Absorbertemperatur bezogenen Wärmeverlustkoeffizienten U_L von ca. 3.9 W/m²K^a bei dem vorliegenden Absorberstreifen zu:

$$F' = 0.926$$

Vergleich zu Standardtechnik

Um das Ergebnis zu bewerten, wurde zum Vergleich in einem theoretischen Modell der interne thermische Leitwert u_{int} einer Kupferfinne gleicher Bruttomaße, jedoch mit einer Blechstärke von 0.2 mm einer Anbindungsbreite von 2 mm (Laserschweißen) und einer runden Verrohrung mit 8 mm Innendurchmesser betrachtet. Unter Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von 330 W/mK (SF-Kupfer), des gleichen Massenstromes (turbulente Durchströmung) und der gleichen Medientemperatur ist für eine Cu/Cu-Finne der gleiche interne thermische Leitwert u_{int} zu erwarten, wie er an dem Prüfmuster mit Al/Cu-Finne ermittelt wurde.

Prüfzentrum für solarthermische Komponenten und Systeme



i. A. Dipl.-Ing. Nele Rumler
(Stellv. Leiterin der Prüfstelle-FE)

a. Dies ist ein typischer Wert für einen selektiven Flachkollektor.

6. Anhang

Literatur

- 1 Rockendorf G., Bartelsen B., Witt A.; Methods to determine the internal heat transfer coefficient between absorber and fluid of solar collectors; ISES Solar World Congress; Harare; 1995.
- 2 Duffie J.A., Beckmann W.A.; Solar Engineering of Thermal Processes; Wiley Interscience Publication; New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore; 1991.
- 3 Rockendorf G., Falk S., Wetzel W.; Bedeutung und Bestimmung des Kollektorwirkungsgradfaktors bei Sonnenkollektoren. 6. Symp. Therm. Solarenergie., Staffelstein (1996)
- 4 Cerbe G., Hoffmann H.-J.; Einführung in die Thermodynamik. 10. Auflage. München und Wien: Carl Hanser Verlag, 1994.

Formelzeichen

A_{Abs}	m^2	Absorberfläche
D	m	Rohraußendurchmesser, zugleich Abstand der $T_{\text{Fuß}}$ -Sensoren
ΔT_i	$^{\circ}\text{C}$	Temperaturdifferenz an einem Absorberbauteil i
E_e	W/m^2	globale Bestrahlungsstärke
F'	-	Kollektorwirkungsgradfaktor
η_0	-	Konversionsfaktor
u_i	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	thermischer Leitwert des Absorberbauteils i
u_{int}	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	interner therm. Leitwert d. Absorbers, zwischen Abs. u. Fluid (gesamt)
$u_{\text{Abs-Fuß}}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	thermischer Leitwert zwischen Absorber und Rippenfuß
$u_{\text{Fuß-Fluid}}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	thermischer Leitwert zwischen Rippenfuß und Fluid
$u_{\text{Rohr-Fluid}}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	thermischer Leitwert zwischen Rohrwand und Fluid (konvektiv)
$u_{\text{Fuß-Rohr}}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	thermischer Leitwert zwischen Rippenfuß und Rohrwand (d.i. im wesentlichen d. zusätzliche Widerstand der Verbindungstechnik)
\dot{Q}_{el}	W	elektrische Heizleistung
\dot{Q}_{zu}	W	dem Absorberstreifen zugeführte Heizleistung
\dot{Q}_{therm}	W	vom Absorberstreifen durch das Fluid abgeführte thermische Leistung
T_{Abs}	$^{\circ}\text{C}$	Absorbertemperatur
$T_{\text{Fuß}}$	$^{\circ}\text{C}$	Absorberfußtemperatur
T_{Rohr}	$^{\circ}\text{C}$	Rohrwandinnentemperatur
T_{Fluid}	$^{\circ}\text{C}$	Fluidtemperatur
$T_{\text{U,Box}}$	$^{\circ}\text{C}$	Umgebungslufttemperatur der Messbox
$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$	-	effektives Transmissions-Absorptionsvermögen
U_L	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	Absorbertemperaturbezogener Wärmeverlustkoeffizient
W	m	Breite des Absorberstreifens