

Bestimmung des Kollektorwirkungsgradfaktors F' an flüssigkeitsführenden Solarabsorbern

R.Frey, U.Frei, S.Brunold
Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle SPF-ITR
Oberseestr. 10
CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 55 234 622, Fax.: +41 55 276 131

1. Einleitung

Der Absorber ist die wichtigste Komponente in einem thermischen Sonnenkollektor. Die Leistungsfähigkeit des Absorbers hängt entscheidend von den optischen Eigenschaften der Beschichtung, der Materialwahl, der Geometrie und der Strömungsart des Wärmeträgerfluids ab und beeinflusst den Wirkungsgrad des Kollektors wesentlich. Die optischen Eigenschaften der Absorberbeschichtung (Absorptions- und Emissionskoeffizient) können mittels Spektroskopie exakt ermittelt werden. Dem Einfluss des Absorbermaterials und der Geometrie auf die thermischen Eigenschaften des Absorberstreifens wurde bislang nur wenig Beachtung geschenkt.

In jüngster Zeit werden von verschiedenen Firmen neue Produkte auf dem Markt angeboten. Bei den Kollektorherstellern ist ein reges Interesse an neuen, leistungsfähigen Absorbern vorhanden. Aus diesen Gründen wurde an der SPF-ITR eine Messinfrastruktur zur Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit von Absorberstreifen aufgebaut.

Im vorliegenden Bericht wird die Vorgehensweise zur messtechnischen Bestimmung von F' und die Messeinrichtung beschrieben. In einer Messreihe wurden 21 Produkte geprüft. Die Messungen wurden bei unterschiedlichen Durchflussraten durchgeführt, um den Einfluss der Wärmeübergangszahl Rohr / Fluid auf den Kollektorwirkungsgradfaktor zu zeigen. In den Messresultaten ist zudem gut ersichtlich, wie der F' -Faktor von der Absorberbreite und der Materialstärke abhängt.

2. Grundlagen

2.1 Definition

Der Kollektorwirkungsgradfaktor F' kann physikalisch folgendermassen definiert werden:

An einer beliebigen Position des Absorbers ist F' das Verhältnis des momentan nutzbaren Energiegewinnes zu dem nutzbaren Energiegewinn, der auftreten würde, wenn die Absorberplattentemperatur identisch der lokalen Fluidtemperatur wäre.

2.2 Nomenklatur

A_{abs}	[m ²]	Absorberfläche
D	[m]	Rohraussendurchmesser
D_i	[m]	Rohrinnendurchmesser
F'	[-]	Kollektorwirkungsgradfaktor
F	[-]	Rippenkorrekturfaktor
G_K	[W/m ²]	Globale Bestrahlungsstärke in die Kollektorebene
$I_{\text{sim}}(\lambda)$	[W /m ² μm]	Spektrale Intensität des Solarsimulators
S	[W/m ²]	Absorbierte Leistung
T_a	[K]	Umgebungstemperatur
T_b	[K]	Absorbtemperatur
T_f	[K]	Temperatur des Wärmeträgermediums

T_m	[K]	Mittlere Temperatur des Wärmeträgerfluids
U_L	[W/m ² K]	Wärmeverlustfaktor
b	[m]	Schweissnahtbreite
h_{fi}	[W/m ² K]	Wärmeübergangskoeffizient Rohr / Wärmeträgerfluid
k	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit Absorberblech
k_b	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit Schweissnaht
$(\tau\alpha)_e$	[-]	Effektives Absorption-Transmissionsprodukt
α	[-]	Absorptionskoeffizient
$\alpha_{Abs}(\lambda)$	[-]	Spektrales Absorptionsvermögen der Absorberbeschichtung
δ	[m]	Dicke des Absorberbleches
γ	[m]	Dicke der Schweissnaht
η	[-]	Kollektorwirkungsgrad
η_0	[-]	Optischer Wirkungsgrad
τ	[-]	Transmissionskoeffizient

2.3 Einfluss von F' auf den Kollektorwirkungsgrad

Die folgende Gleichung beschreibt den Kollektorwirkungsgrad eines thermischen Kollektors:

$$\eta = F' \cdot (\tau \cdot \alpha)_e - F' \cdot U_L \cdot \frac{T_m - T_a}{G_K} \quad (1)$$

Daraus ergibt sich der maximale Wirkungsgrad:

$$\eta_0 = F' \cdot (\tau \cdot \alpha)_e \quad (2)$$

Aus Gleichung (2) ist ersichtlich, dass der maximale Wirkungsgrad des Kollektors um so höher wird, je besser der Kollektorwirkungsgradfaktor F' ist. Zudem beeinflusst F' die Grösse der Wärmeverluste. Je nach Einsatzgebiet des Kollektors kommt somit der Optimierung von F' unterschiedliche Bedeutung zu.

2.4 Berechnung des Kollektorwirkungsgradfaktors F'

Das folgende Kapitel beinhaltet Grundlagen zur Berechnung des Kollektorwirkungsgradfaktor F' /1/. Die Gleichungen gelten für einen Absorberstreifen, dessen Rohr nicht Teil der strahlungsabsorbierenden Fläche ist. Pro Längeneinheit wird die Energie q'_{fin} vom Absorberblech in Richtung Absorberrohr geleitet:

$$q'_{fin} = (W - D) \cdot F \cdot [S - U_L \cdot (T_b - T_a)] \quad (3)$$

wobei

$$F = \frac{\tanh[m \cdot (W - D) / 2]}{m \cdot (W - D) / 2} \quad \text{und} \quad m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}}$$

Die nutzbare Energie q'_{fin} aus Gleichung (3) wird nun auf das Wärmeträgermedium übertragen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Absorberblechs zum Absorberrohr (Schweissnaht) und der Wärmedurchgangskoeffizient vom Absorberrohr zum Wärmeträgermedium beschreiben die thermischen Widerstände.

$$q'_{fin} = \frac{T_b - T_f}{\frac{1}{h_{jt} \cdot \pi \cdot D_i} + \frac{1}{C_b}} \quad (4)$$

wobei die Schweissnaht mit Hilfe der folgenden Gleichung charakterisiert werden kann:

$$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\gamma}$$

Mit Gleichung (3) und Gleichung (4) ergibt sich die pro Längeneinheit nutzbare Energie q'_{fin} :

$$q'_{fin} = W \cdot F' \cdot [S - U_L \cdot (T_f - T_a)] \quad (5)$$

Dabei ist der Kollektorwirkungsgradfaktor F' :

$$F' = \frac{1 / U_L}{W \cdot \left[\frac{1}{U_L \cdot F \cdot (W - D)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot Di \cdot h_{ji}} \right]}$$

(6)

Für die messtechnische Erfassung von F' ist die Gleichung (5) relevant. Der Ausdruck kann für die pro Fläche nutzbare Energie umgeschrieben werden, indem die Absorberbreite W durch die Absorberfläche A_{abs} ersetzt wird.

3. Beschreibung der Messeinrichtung

3.1 Allgemeines

Mittels eines Solarsimulators wird eine homogene Strahlung auf eine Fläche von $0.25 \text{ m} \cdot 1.2 \text{ m}$ erzeugt. Zwei Filter korrigieren das NIR-lastige (NIR: nahes Infrarot) Spektrum. Der Raum zwischen den beiden Filtern wird mit Luft gekühlt. Dadurch wird ein thermischer Strahlungsaustausch zwischen Absorber und Glasabdeckung erzeugt, welcher mit der Situation im Kollektor vergleichbar ist. Mittels Pyranometer und Scanner wird die aktuelle Einstrahlung an vorgegebenen Positionen im Probenraum gemessen. Zur Bestimmung der absorbierten Strahlungsleistung wird der Absorptionsgrad der Probe mit Gewichtung des aktuellen Spektrums im Solarsimulator bestimmt. Die Homogenität der Absorberbeschichtung wird dabei vorausgesetzt. Durch die exakte Bestimmung der abgeführten Wärmeleistung lässt sich der Kollektorwirkungsgradfaktor nun bestimmen.

Die Messungen werden mit dem Wärmeträgerfluid Wasser bei der Bedingung - mittlere Absorbertemperatur gleich der Umgebungstemperatur des Prüflings - durchgeführt. Die Prüfung der Absorberstreifen bei unterschiedlichen Durchflussraten ermöglicht zudem, den Einfluss des Wärmeübergangs Rohr / Fluid auf den Kollektorwirkungsgradfaktor zu zeigen. Die Wärmeübergangszahlen ändern sich beim Einsatz eines anderen Wärmeträgers.

3.2 Technische Daten der Einrichtung

Quelle Solarsimulator	:	220 Halogenlampen mit Kaltlichtspiegel à 50 W
Bestrahlungsstärke	:	1 kW/m ² (bis 2 kW/m ² möglich)
Filter	:	PMMA und gehärtetes Glas mit Kühlung im Zwischenraum
Scanner	:	X/Y mit Schrittmotoren
Anstellwinkel des Simulators	:	30°
Pyranometer	:	Kipp & Zonen CM 21, kalibriert PMOD
Temperaturmessung		
Ein- und Austritt Absorber	:	Pt100, kalibriert ± 0.02°C
Konstanz der		
Eintrittstemperatur	:	± 0.02°C
Durchflussmessung	:	Magnetisch Induktiv (Altometer), Ø 2.5 mm, Genauigkeit im Bereich 20-80 l/h: ± 0.2%, kalibriert SPF

3.3 Spektrum im Solarsimulator

Um die absorbierte Strahlungsleistung eines Absorberstreifens zu bestimmen, wird das spektrale Absorptionsvermögen der Beschichtung mit dem gemessenen Spektrum des Solarsimulators gewichtet.

$$\alpha_{F'} = \frac{\int_{0.35}^{2.5} \alpha_{Abs}(\lambda) \cdot I_{Sim}(\lambda) d\lambda}{\int_{0.35}^{2.5} I_{Sim}(\lambda) d\lambda}$$

Das spektrale Absorptionsvermögen der Absorberbeschichtung wurde mit einem Fourier-Spektrometer, das Simulatorspektrum (Fig. 3.1) mit einem „Optical Multichannel Analyser“ gemessen.

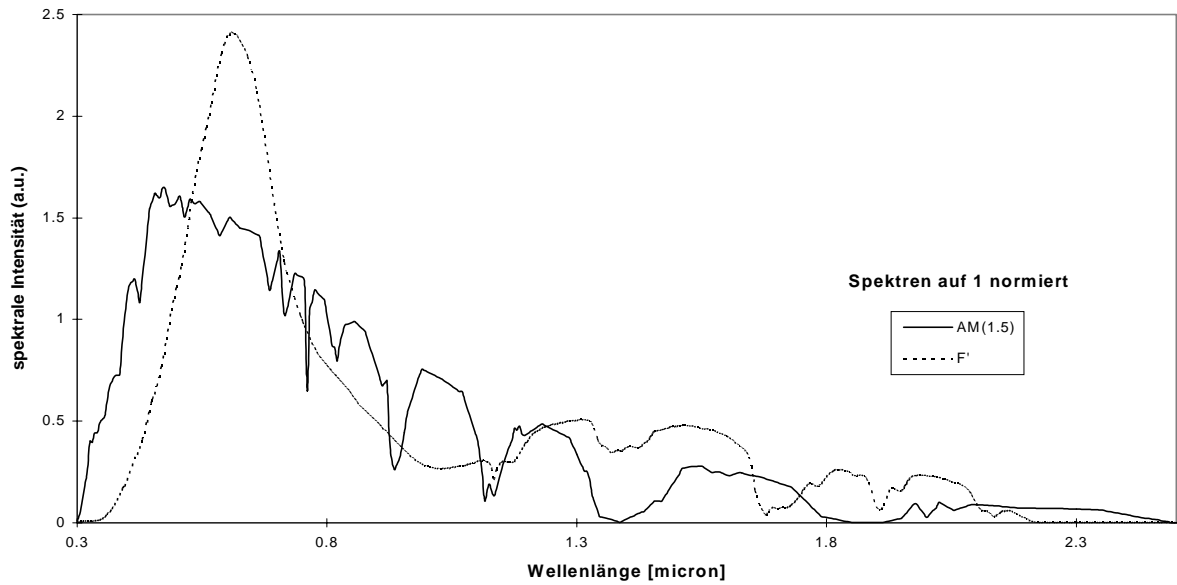


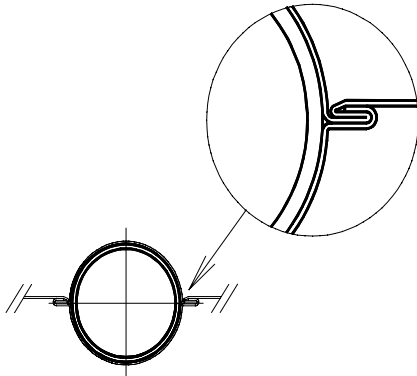
Fig. 3.1: Vergleich des ermittelten Spektrums im Sonnensimulator mit dem Sonnenspektrum AM(1.5)

In Tabelle 5.1 werden die gemessenen optischen Werte, der Absorptionsgrad bezogen auf das Sonnen- sowie das Simulatorspektrum, aller Proben aufgelistet.

4. Beschreibung der Proben

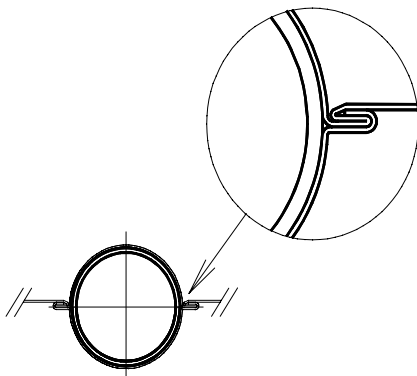
In dieser Messreihe wurden 21 verschiedene Produkte von neun Herstellern geprüft. Es konnten nicht alle auf dem Markt erhältlichen Absorberstreifen getestet werden, die wichtigsten Hersteller sind jedoch vertreten. Ganzflächig durchströmte Absorber (z.B. Kissenabsorber) und Rollbondabsorber waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

• Probe 1



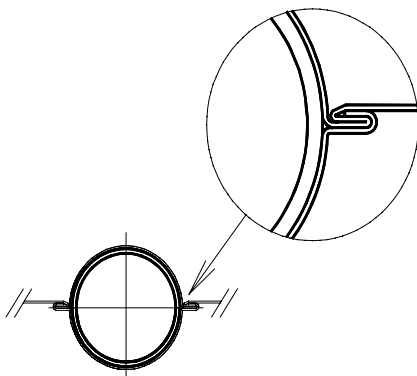
- Hersteller : **MTI / Northstar**
- Streifenbreite : 112 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 11.7 mm / 12.7 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr kalt eingerollt
- Bemerkungen : Alte Probe von 1993 (Referenz)

• Probe 2



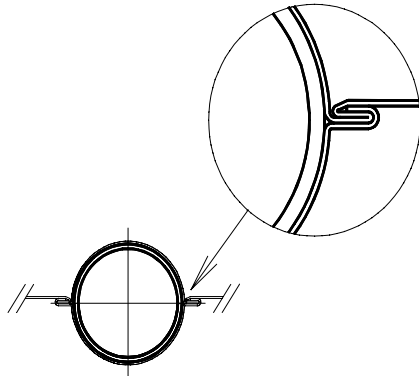
- Hersteller : **MTI / Northstar**
- Streifenbreite : 112 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 11.7 mm / 12.7 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr kalt eingerollt
- Bemerkungen : Inhomogene Beschichtung im Rohrbereich

• Probe 3



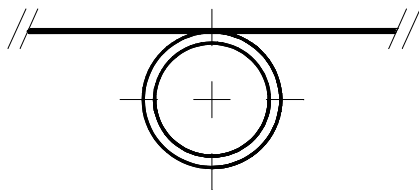
- Hersteller : **MTI / Northstar**
- Streifenbreite : 145 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 8.6 mm / 9.6 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr kalt eingerollt
- Bemerkungen : Inhomogene Beschichtung im Rohrbereich

• **Probe 4**



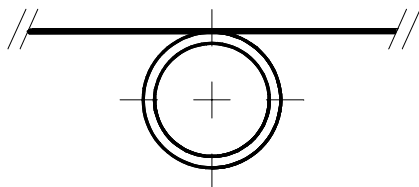
- Hersteller : **MTI / Northstar**
- Streifenbreite : 145 mm
- Streifendicke : 0.22 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 8.6 mm / 9.6 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr kalt eingerollt
- Bemerkungen : -

• **Probe 5**



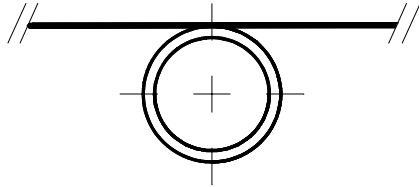
- Hersteller : **Nova Solar GmbH**
- Streifenbreite : 120 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.2 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Probe wird mit Schutzfolie geliefert

• **Probe 6**



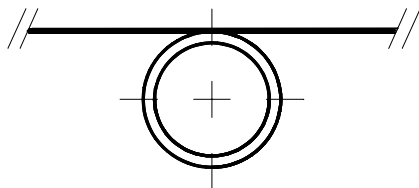
- Hersteller : **Nova Solar GmbH**
- Streifenbreite : 120 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 8.6 mm / 10.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Probe wird mit Schutzfolie geliefert

• Probe 7



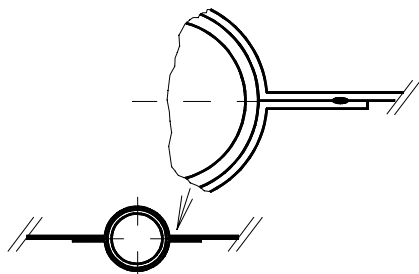
- Hersteller : **Nova Solar GmbH**
- Streifenbreite : 120 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 6.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Stahl verkupfert
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Probe wird mit Schutzfolie geliefert

• Probe 8



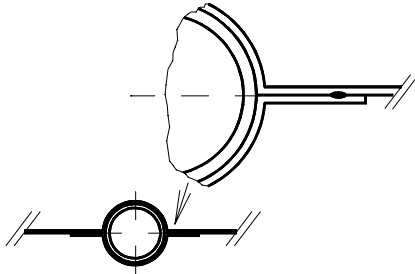
- Hersteller : **Nova Solar GmbH**
- Streifenbreite : 150 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.2 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Probe wird mit Schutzfolie geliefert

• Probe 9



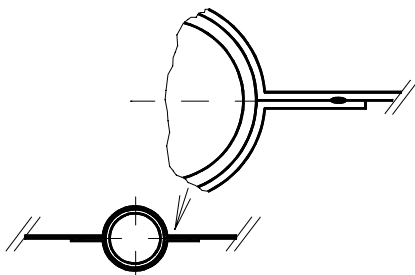
- Hersteller : **GIBO - SOLAR**
- Streifenbreite : 118 mm
- Streifendicke : 0.35 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

• **Probe 10**



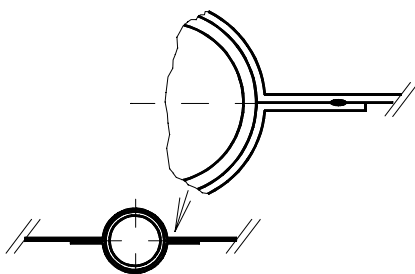
- Hersteller : **GIBO - SOLAR**
- Streifenbreite : 129 mm
- Streifendicke : 0.35 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

• **Probe 11**



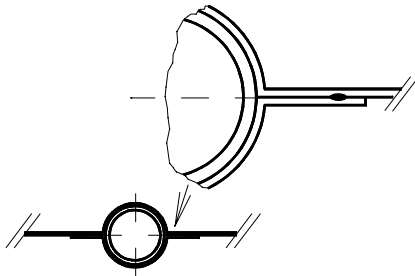
- Hersteller : **GIBO - SOLAR**
- Streifenbreite : 137 mm
- Streifendicke : 0.35 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

• **Probe 12**



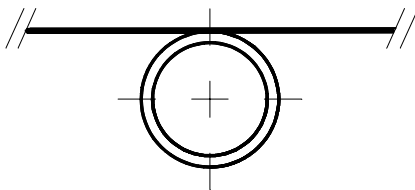
- Hersteller : **GIBO - SOLAR**
- Streifenbreite : 116 mm
- Streifendicke : 0.35 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 10.0 mm / 12.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

Probe 13



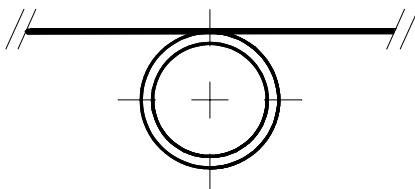
- Hersteller : **GIBO - SOLAR**
- Streifenbreite : 127 mm
- Streifendicke : 0.35 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 10.0 mm / 12.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

• **Probe 14**



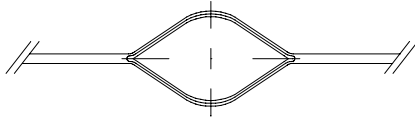
- Hersteller : **Foco / Griechenland**
- Streifenbreite : 114 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Blanke Schweissnaht mit Solarlack nachbehandelt

• **Probe 15**



- Hersteller : **Foco / Griechenland**
- Streifenbreite : 80 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : Blanke Schweissnaht wurde mit Solarlack nachbehandelt

• **Probe 16**



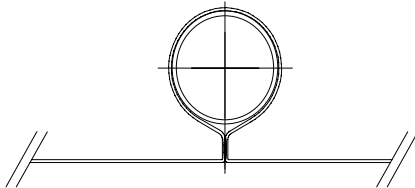
- Hersteller : **TeknoTerm**
- Streifenbreite : 143 mm
- Streifendicke : 0.55 mm
- Streifenmaterial : Aluminium
- Rohrdurchmesser : Rhomboider Querschnitt
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Nickelpigmentiertes Aluminiumoxid

- Verbindung

: Rohr eingewalzt

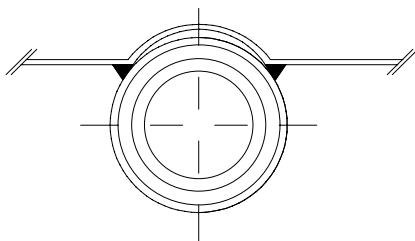
- Bemerkungen : -

• **Probe 17**



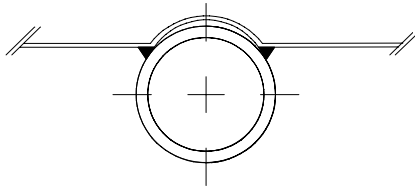
- Hersteller : **Innovar AG**
- Streifenbreite : 120 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : Probe wird mit Schutzfolie geliefert

• **Probe 18**



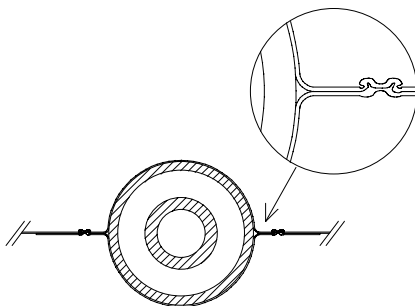
- Hersteller : **Solartechnologie Rafz**
- Streifenbreite : 87 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 15.0 mm / 16.0 mm
10.0 mm / 12.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Laserschweissung
- Bemerkungen : Konzentrische Rohre

• **Probe 19**



- Hersteller : **Solartechnologie Rafz**
- Streifenbreite : 87 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 8.8 mm / 10.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Laserschweissung
- Bemerkungen : -

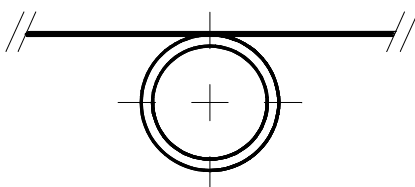
• **Probe 20**



- Hersteller : **Prinz GmbH**
- Streifenbreite : 90 mm
- Streifendicke : 0.21 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 10.5 mm / 12.0 mm
4.0 mm / 6.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Rohr geklemmt
- Bemerkungen : -

Verbindung : Rohr geklemmt

• **Probe 21**



- Hersteller : **Ohne Namensnennung**
- Streifenbreite : 120 mm
- Streifendicke : 0.20 mm
- Streifenmaterial : Kupfer
- Rohrdurchmesser : 7.0 mm / 8.0 mm
- Rohrmaterial : Kupfer
- Beschichtung : Schwarzchrom / Nickel
- Verbindung : Ultraschallschweissung
- Bemerkungen : -

5. Resultate

Alle Messungen wurden mit dem Wärmeträgermedium Wasser durchgeführt. Da sich die Wärmeübergangszahlen Rohr / Fluid mit den physikalischen Eigenschaften des Wärmeträgerfluids ändern, gelten die gemessenen F' -Werte nur für Wasser. Während der Prüfung war die mittlere Absorbtemperatur der Probe identisch der Umgebungstemperatur im Probenraum (ca. 40°C). Bei der Bestimmung der absorbierten Strahlungsleistung wurde die Homogenität des Absorptionskoeffizienten der Beschichtung vorausgesetzt. Die gemessenen F' -Werte gelten für eine Einstrahlung von 1000 W/m² in die Probenebene.

Die nachfolgende Tabelle enthält für jede Probe die Resultate der optischen Messungen - Absorptionsgrad bezogen auf das Sonnen- sowie das Simulatorspektrum ($\alpha_{AM1.5}$ und $\alpha_{Sim.}$) - und die Kollektorwirkungsgradfaktoren F' gemessen bei Volumenströmen von 20 l/h, 40 l/h und 60 l/h.

Probe	$\alpha_{AM1.5}$ [1]	$\alpha_{Sim.}$ [1]	$F'_{20\ 1/h}$ [1]	$F'_{40\ 1/h}$ [1]	$F'_{60\ 1/h}$ [1]
1	0.952	0.945	0.89	0.91	0.92
2	0.944	0.928	0.88	0.89	0.91
3	0.957	0.949	0.81	0.83	0.85
4	0.949	0.950	0.86	0.88	0.89
5	0.956	0.945	0.87	0.91	0.93
6	0.951	0.950	0.86	0.88	0.90
7	0.954	0.942	0.85	0.89	0.91
8	0.967	0.961	0.81	0.84	0.86
9	0.968	0.970	0.92	0.94	0.95
10	0.957	0.961	0.89	0.91	0.93
11	0.954	0.957	0.87	0.89	0.91
12	0.965	0.960	0.91	0.93	0.94
13	0.958	0.963	0.89	0.90	0.93
14	0.964	0.959	0.87	0.90	0.92
15	0.964	0.958	0.92	0.95	0.97
16	0.944	0.926	0.88	0.89	0.92
17	0.954	0.948	0.87	0.90	0.91
18	0.956	0.946	0.95	0.96	0.97
19	0.977	0.977	0.93	0.95	0.97
20	0.963	0.955	0.91	0.94	0.95
21	0.968	0.966	0.85	0.88	0.90

Tab. 5.1: Zusammenstellung der Resultate

6. Diskussion

6.1 Abhängigkeit des F'-Faktors von der Streifenbreite

In Tab. 5.1 und Fig. 6.1 ist der Einfluss der Absorberbreite auf den Kollektorwirkungsgradfaktor deutlich erkennbar. Im folgenden Diagramm wurde die Streifenbreite der Probe 4 schrittweise um 1 cm von 145 mm auf 85 mm verringert und jeweils gemessen. Streifenbreiten unter 85 mm wurden nicht mehr vermessen, da der Messfehler zu gross wurde.

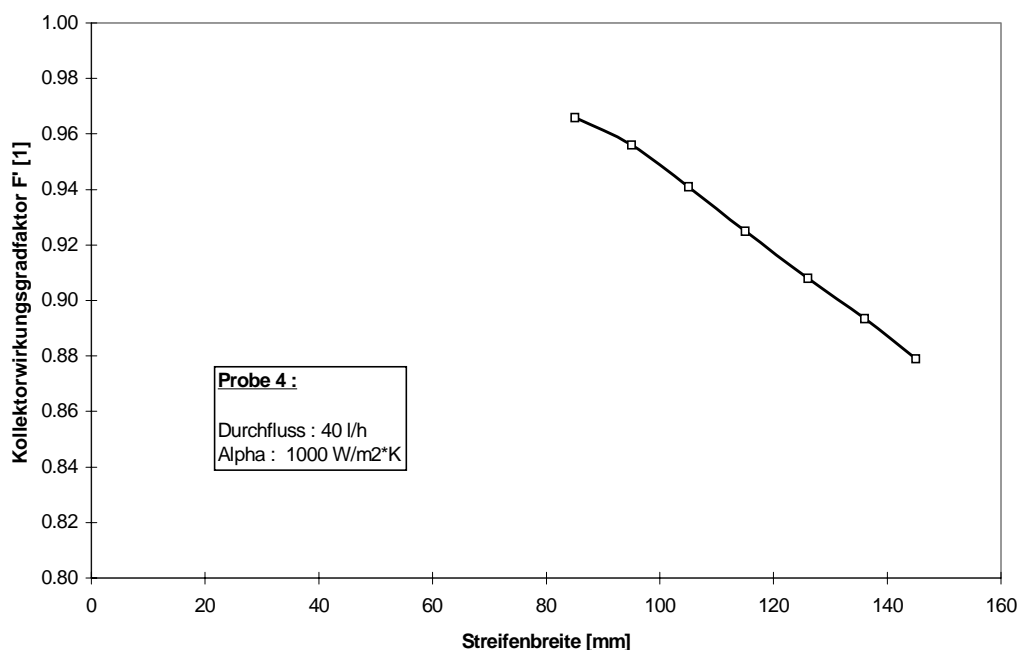


Fig. 6.1: F' bei verschiedenen Streifenbreiten und einer Durchflussrate von 40 l/h. Die daraus resultierende berechnete Wärmeübergangszahl beträgt 1000 W/m²K.

Der Kollektorbauer möchte möglichst breite Absorberstreifen in den Sonnenkollektor einbauen, um die Anzahl Verbindungen gering zu halten und damit kostengünstig zu produzieren. Andererseits steigt der Kollektorwirkungsgradfaktor mit abnehmender Absorberbreite an. Bei der Auswahl eines Absorberstreifenprodukts muss folglich eine genaue Kosten-Nutzen-Rechnung gemacht werden.

6.2 Abhängigkeit des F'-Faktors von der Blechdicke

Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass dickere Streifen durchwegs bessere Resultate erzielen. Zum Beispiel wurden bei der Probe 16 bessere Werte gemessen als bei den Proben 3 und 4,

dies obschon die Absorberbreiten praktisch identisch sind. Grössere Blechstärken erfordern jedoch mehr Materialeinsatz, was wiederum zu höheren Kosten führt.

In Figur 6.2 sind mit Hilfe der Gleichung (6) aus Abschnitt 2.4 F' -Werte für verschiedene Absorberdicken berechnet worden. Die Kurve gilt für einen Absorberstreifen mit folgenden Eigenschaften :

Streifenbreite	: 120 mm	Verbindung	: Geschweisst
Rohrdimensionen	: 7.2 mm / 8 mm	Durchflussrate	: 20 l/h (Wasser)
Absorbermaterial	: Kupfer	Kollektorverlustfaktor:	4 W/m ² K

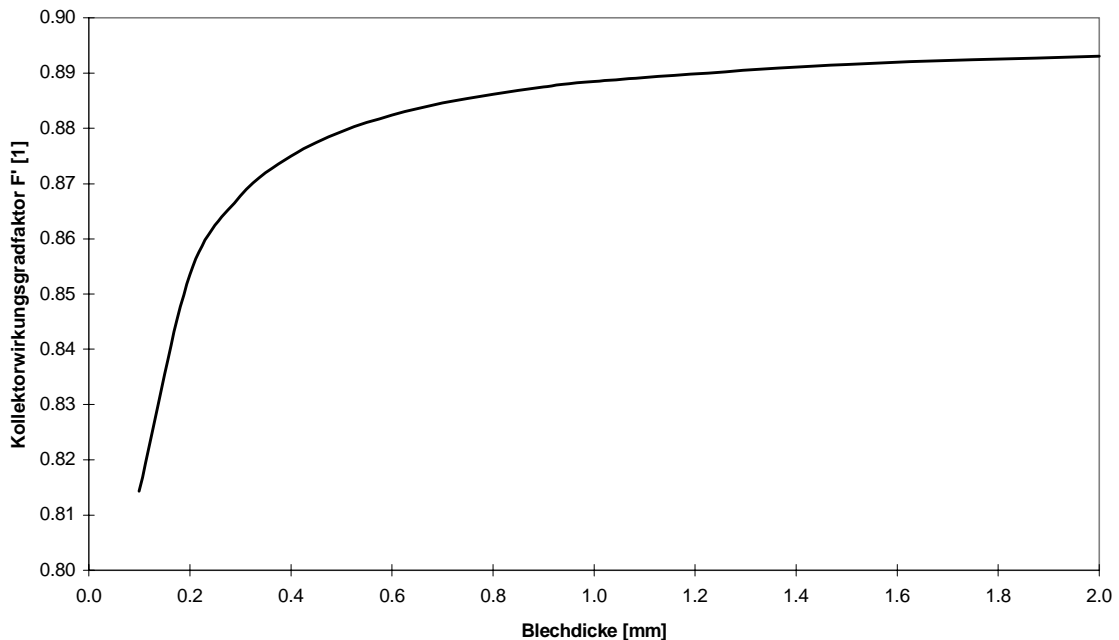


Fig. 6.2: F' in Abhängigkeit der Absorberblechdicke

Die freie Wahl der Blechstärke ist sehr eingeschränkt, da die Anbieter von bereits beschichtetem Blech vielfach nur eine Dimension herstellen.

6.3 Abhängigkeit des F' -Faktors vom Wärmeübergang Rohr /Fluid

Die F' -Werte sind massgebend vom gewählten Durchsatz abhängig (Tab.5.1). Mit zunehmender Geschwindigkeit des Fluids im Absorberrohr steigt der Wärmeübergangskoeffizient. Der Wärmeübergangskoeffizient h_{fi} vom Rohr auf das Fluid hat einen grossen Einfluss auf den zu übertragenden Energiestrom.

h_{fi} hängt von sehr verschiedenen Einflussgrössen ab, die durch die physikalischen Eigenschaften und den Strömungszustand des Wärmeträgerfluids sowie die geometrischen Form der Wärmeübertragungsfläche bestimmt sind. Deshalb gelten die angegebene Werte für den Kollektorwirkungsgradfaktor nur für den Wärmeträger Wasser und können nicht für andere Fluide übernommen werden.

In vielen Kollektoren wird der Volumenstrom zu tief eingestellt, aus diesem Grund wird die angestrebte turbulente Strömung nicht erreicht. Dies gilt hauptsächlich für harfenförmig durchströmte Kollektoren.

6.4 Abhängigkeit des F' -Faktors von der Einstrahlung

Der Kollektorwirkungsgradfaktor ändert sich mit der Einstrahlung. Im Rahmen dieser Messaktion wurden die beschriebenen Proben alle bei einer Einstrahlung von 1000 W/m^2 getestet. Die Strahlungsabhängigkeit der F' -Werte der einzelnen Proben konnte somit nicht überprüft werden.

Bei Leistungsmessungen an Kollektoren konnte die Strahlungsabhängigkeit der F' -Werte jedoch schon gut gezeigt werden. Kollektoren, die bei einer Einstrahlung von 900 W/m^2 auf Grund eines schlechten F' einen schlechten Konversionsfaktor aufweisen, können nicht die ganze Energie auf das Wärmeträgerfluid (z.B. wegen zu grosser Absorberstreifenbreite oder schlechtem Wärmeübergang) übertragen. Misst man den Konversionsfaktor dann z.B. unter einem Winkelfehler der Einstrahlung von 50° (Einstrahlung ca. 600 W/m^2), kann das η_0 bezüglich dieser Einstrahlung sogar besser werden, obschon z.B. die Reflexionsverluste zunehmen. Das heisst, der Kollektorwirkungsgradfaktor dieses Kollektors wird in diesem Fall besser.

6.5 Verschiedenes

Gewisse Hersteller liefern die Absorberstreifen mit einer Schutzfolie. Somit ist die Absorberbeschichtung in der Weiterverarbeitung gegen Verschmutzungen und Beschädigungen geschützt. Diese Schutzfolien beeinträchtigen die optischen Eigenschaften der Beschichtung nicht, solange nach dem Abziehen der Folie keine Klebstoffrückstände auf der Absorberoberfläche haften bleiben. Dies wurde mit den Proben 5 und 17 verifiziert.

7. Schlussbemerkungen

Die aufgebaute Messeinrichtung ist ein gutes Instrument für die Kontrolle der Leistungsfähigkeit bei der Optimierung von Absorberstreifen. Es konnte ein grosser Teil der auf dem Markt erhältlichen Produkte geprüft werden. Die Werte für den Kollektorwirkungsgradfaktor liegen zwischen 0.81 und 0.97. Die Abhängigkeit des F' -Faktors von der Absorbergeometrie und des Wärmeübergangskoeffizienten Rohr / Fluid konnte gezeigt werden. Die Messungen von neuen Produkten werden auch in Zukunft weiter geführt.

8. Referenz

/1/ John A.Duffie / William A.Beckmann, Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition,1991