



# Prüfbericht

## Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

### *Test Report*

### *Thermal Performance of a Solar Collector*

**nach EN ISO 9806:2013**  
*according to EN ISO 9806:2013*

**Prüfbericht-Nr.: 17COL1405**  
*Test Report No.: 17COL1405*

**Stuttgart, den 11.12.2017**  
*Stuttgart, December 11<sup>th</sup>, 2017*

**Auftraggeber:** Camel Solar Ltd.  
*client:* Kacanicki Pat BB  
1000 Skopje  
Macedonia

**Hersteller:** Camel Solar Doo  
*manufacturer:*

**Typ:** CSI Full Plate 2.5 - 4  
*type:*

**Herstelljahr:** 2017  
*year of production:*

## Inhaltsverzeichnis

### *Table of Contents*

1	Beschreibung des Sonnenkollektors .....3 <i>Solar Collector Description</i>
2	Prüfergebnisse Wärmeleistung .....6 <i>Test Results Thermal Performance</i>
3	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors .....8 <i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>
4	Prüfverfahren .....8 <i>Test Methods</i>
	Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen .....9 <i>Annex A: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions</i>
	Anhang B: Nomenklatur .....11 <i>Annex B: Symbols and Units</i>

## 1 Beschreibung des Sonnenkollektors (gemäß Herstellerangaben) *Solar Collector Description (acc. to manufacturer)*

<b>Hersteller</b> <i>manufacturer</i>	Camel Solar Ltd. Kacanicki Pat BB 1000 Skopje Macedonia
<b>Ansprechpartner:</b> <i>contact person:</i>	Stojance Filipov Tel.: +389 02 260 20 29 Fax: +389 75 394 213 email: stole_filipov@yahoo.com
<b>Typ:</b> <i>type:</i>	CSI Full Plate 2.5 - 4 <i>CSI Full Plate 2.5 - 4</i>
<b>Herstellernummer:</b> <i>serial no.:</i>	0000002 <i>0000002</i>
<b>Serienprodukt oder Baumuster:</b> <i>duplicate part or model:</i>	Serienprodukt <i>duplicate part</i>
<b>Herstelljahr:</b> <i>year of production:</i>	2017 <i>2017</i>

<b>Kollektor</b> <i>Collector</i>	
<b>Bauart:</b> <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
<b>Brutto-Kollektorfläche:</b> <i>gross area of collector:</i>	2.5 m <sup>2</sup> <i>2.5 m<sup>2</sup></i>
<b>Länge:</b> <i>length:</i>	2005 mm <i>2005 mm</i>
<b>Breite:</b> <i>width:</i>	1245 mm <i>1245 mm</i>
<b>Höhe:</b> <i>height:</i>	85 mm <i>85 mm</i>
<b>Gewicht:</b> <i>weight:</i>	42 kg <i>42 kg</i>
<b>Wärmeträgerinhalt:</b> <i>heat transfer fluid content:</i>	1.9 Liter <i>1.9 litres</i>
<b>Material Seitenwand/Rahmen:</b> <i>material side wall/frame:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
<b>Material Rückwand:</b> <i>material back sheet:</i>	Aluminiumblech <i>aluminium sheet</i>
<b>Verbindungsart der Rahmenteile:</b> <i>frame fastening method:</i>	Steckverbindung mit Schrauben <i>corner blocks and screws</i>
<b>Einbauweise:</b> <i>collector mounting:</i>	Aufdach, Flachdach <i>On roof, flat roof</i>
<b>Anzahl Anschlüsse:</b> <i>number of connections:</i>	4 <i>4</i>
<b>Ausführung Anschlüsse:</b> <i>realisation of connections:</i>	22 mm Kupferrohr <i>22 mm copper pipe</i>

## Absorber

*Absorber*

<b>Material:</b> <i>material:</i>	Aluminiumblech und Kupferregister <i>aluminium sheet and copper pipes</i>
<b>Verbindung Fluidkanäle/Absorber:</b> <i>bond between risers and fin/plate:</i>	Ω-Blech ultraschallgeschweißt <i>Ω-sheet ultrasonic welded</i>
<b>Dicke:</b> <i>thickness:</i>	0.5 mm <i>0.5 mm</i>
<b>Oberflächenbehandlung:</b> <i>surface treatment:</i>	TiNOX <i>TINOX</i>
<b>Absorptionsgrad:</b> <i>solar absorptance:</i>	0.95 <i>0.95</i>
<b>Emissionsgrad:</b> <i>emittance:</i>	0.05 <i>0.05</i>
<b>Durchströmungsform:</b> <i>flow pattern:</i>	Harfe <i>harp</i>
<b>Abmessungen Absorber [L x B]:</b> <i>dimension absorber [L x W]:</i>	1940 mm x 1180 mm <i>1940 mm x 1180 mm</i>
<b>Abmessungen Absorberrohre:</b> <i>dimension absorber tubes:</i>	8 x 0.5 mm <i>8 x 0.5 mm</i>
<b>Anzahl Absorberrohre:</b> <i>number of absorber tubes:</i>	15 <i>15</i>
<b>Länge eines Absorberrohres:</b> <i>length of a single absorber tube:</i>	1883 mm <i>1883 mm</i>
<b>Abstand der Absorberrohre:</b> <i>distance centre to centre between absorber tubes:</i>	76.5 mm <i>76.5 mm</i>
<b>Abmessungen Sammlerrohr:</b> <i>dimension of the header:</i>	22 x 0.7 mm <i>22 x 0.7 mm</i>

## Transparente Abdeckung

*Transparent cover:*

<b>Anzahl:</b> <i>number:</i>	1 <i>1</i>
<b>Länge x Breite x Dicke:</b> <i>length x width x thickness:</i>	1960 mm x 1200 mm x 3.2 mm <i>1960 mm x 1200 mm x 3.2 mm</i>
<b>Transmissionsgrad:</b> <i>transmittance:</i>	0.96 – 0.97 <i>0.96 – 0.97</i>
<b>Abmessungen Apertur [L x B]:</b> <i>aperture dimension [L x W]:</i>	1940 mm x 1180 mm <i>1940 mm x 1180 mm</i>
<b>Oberflächenstruktur innen/außen:</b> <i>surface characteristics inside/outside:</i>	matt / satin <i>matt / satin</i>

## Wärmedämmung

*Thermal insulation:*

	Rückseite <i>back side</i>	seitlich <i>at the side</i>
<b>Material:</b> <i>material:</i>	Steinwolle <i>rock wool</i>	-
<b>Hersteller:</b> <i>manufacturer:</i>	Knauf Insulation <i>Knauf Insulation</i>	-
<b>Produktbezeichnung:</b> <i>product name:</i>	TSP Solar Board D5 GVB <i>TSP Solar Board D5 GVB</i>	-
<b>Wärmeleitfähigkeit:</b> <i>thermal conductivity:</i>	0.035 W/(mK) <i>0.035 W/(mK)</i>	-
<b>Dichte:</b> <i>density:</i>	56 kg/m <sup>3</sup> <i>56 kg/m<sup>3</sup></i>	-
<b>Dicke:</b> <i>thickness:</i>	50 mm <i>50 mm</i>	-

## Grenzdaten

*Limitations:*

<b>Stillstandstemperatur:</b> <i>stagnation temperature:</i>	213 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>213 °C (determined by test laboratory)</i>
<b>maximale Betriebstemperatur:</b> <i>maximum operation temperature:</i>	Stillstandstemperatur in Abhängigkeit der aktuellen Wetterbedingungen <i>stagnation temperature depending to actual weather conditions</i>
<b>max. zulässiger Betriebsdruck:</b> <i>maximum operation pressure:</i>	10 bar <i>10 bar</i>
<b>Zulässiger Wärmeträger:</b> <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Wasser / Glykol <i>water / glycol</i>
<b>Nenndurchfluss pro Kollektor:</b> <i>nominal flow rate per collector:</i>	k.A. <i>n.a.</i>

## Gültigkeit

*Validity:*

Der Prüfbericht ist gültig für den oben  
beschriebenen Kollektortyp CSI Full Plate 2.5 -  
4.

*The test report is valid for collector type  
CSI Full Plate 2.5 - 4 as specified above.*

## 2 Prüfergebnisse Wärmeleistung

*Test Results Thermal Performance*

**Spezifische Nutzenergie des Kollektors:**  
*Specific useful energy extracted from the collector:*

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = \eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - c_6 u G - c_1 (g_m - g_a) - c_2 (g_m - g_a)^2 - c_3 u (g_m - g_a) + c_4 (E_L - \sigma T_a^4) - c_5 \frac{d g_m}{dt}$$

mit/*with*

$$K_b(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L, 0) \cdot K_b(0, \theta_T)$$

	Einheit <i>unit</i>	Wert <i>value</i>	$\sigma^*$
<b>Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke</b> <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.769	0.003
<b>Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung</b> <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	$K_d$ [-]	0.986	0.005
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b> <i>heat loss coefficient</i>	$c_1$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	3.715	0.059
<b>temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient</b> <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	$c_2$ [W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )]	0.006	0.001
<b>windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient</b> <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	$c_3$ [J/(m <sup>3</sup> K)]	0	-
<b>Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste</b> <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>	$c_4$ [-]	0	-
<b>effektive spezifische Wärmekapazität</b> <i>effective specific thermal capacity</i>	$c_5$ [J/(m <sup>2</sup> K)]	15670	310
<b>Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors</b> <i>coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency</i>	$c_6$ [s/(m)]	0	-

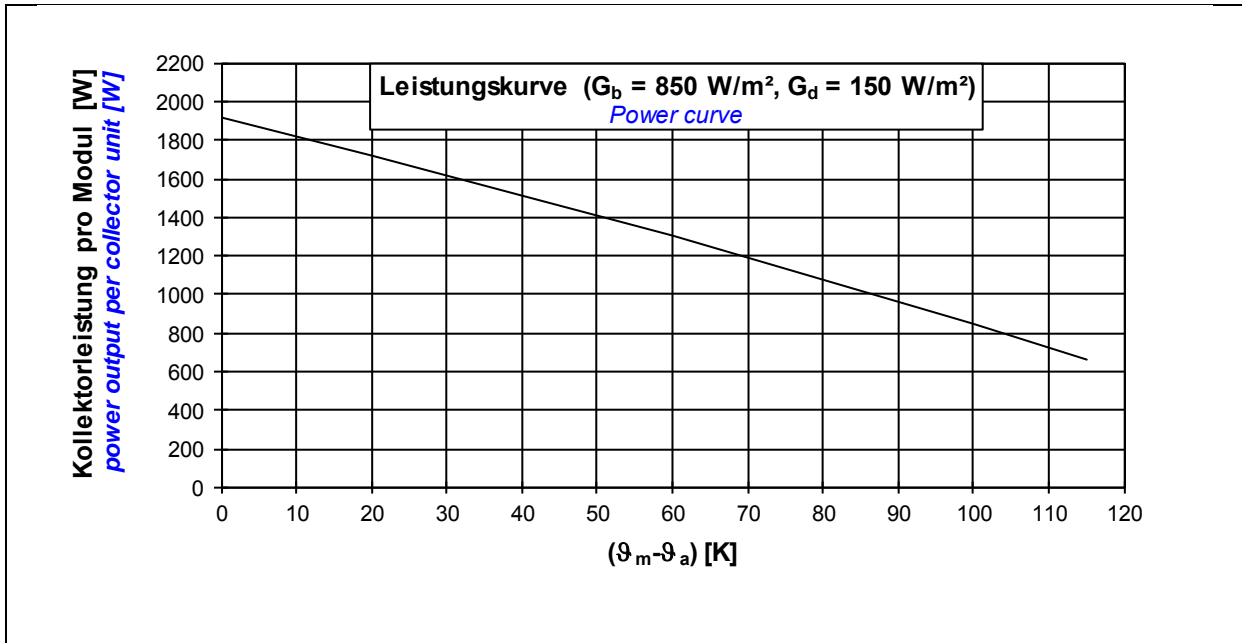
\*  $\sigma$ : Standardabweichung / *standard deviation*

### **Einfallswinkel-Korrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke**

*Incidence angle modifier of the beam solar irradiance*

<b>Einfallswinkel <math>\theta</math></b> <i>incident angle <math>\theta</math></i>	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
<b><math>K_b(\theta_L, 0)</math>:</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.90	0.80	0.40	0.00
<b><math>K_b(0, \theta_T)</math>:</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.90	0.80	0.40	0.00

<b>Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung</b> ( $\vartheta_m - \vartheta_a$ ) <sub>max</sub> :	85 K
<i>maximum temperature difference during test</i> ( $\vartheta_m - \vartheta_a$ ) <sub>max</sub> :	85 K
<b>Peakleistung pro Kollektormodul</b> $\dot{Q}_{peak}$ ( $G_b = 850 \text{ W/m}^2$ , $G_d = 150 \text{ W/m}^2$ , $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$ ):	1918 W
<i>peak power per collector unit</i> $\dot{Q}_{peak}$ ( $G_b = 850 \text{ W/m}^2$ , $G_d = 150 \text{ W/m}^2$ , $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$ ):	1918 W



**Kollektorleistung pro Modul [W]**  
*Power output per collector unit [W]*

$\vartheta_m - \vartheta_a$ [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	$G_b = 200 \text{ W/m}^2$ $G_d = 200 \text{ W/m}^2$	$G_b = 440 \text{ W/m}^2$ $G_d = 260 \text{ W/m}^2$	$G_b = 850 \text{ W/m}^2$ $G_d = 150 \text{ W/m}^2$
0	764	1339	1918
20	572	1147	1727
40	368	943	1523
60	152	728	1307
80	0 <sup>*)</sup>	500	1079
100	0 <sup>*)</sup>	260	840
115	0 <sup>*)</sup>	72	652

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung  
*Note: the reported values are for normal incidence*

- <sup>\*)</sup> Die Kollektorleistung ist mit Null angegeben, da sich rechnerisch bei diesen Betriebsbedingungen eine negative Kollektorleistung ergibt.
- <sup>\*)</sup> *Calculating the power output per collector unit under these operation conditions result in negative values. Therefore the calculated power output is indicated with zero.*

### 3 **Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors** *Test Occurrences and Operating Behaviour*

Keine Auffälligkeiten  
*Nothing particular*

### 4 **Prüfverfahren** *Test Methods*

Die Prüfung der Wärmeleistung erfolgte im Außentest nach EN ISO 9806:2013 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 51 °.  
Als Wärmeträger wurde Wasser mit einem spezifischen Massenstrom von 72 kg/(m<sup>2</sup>h) verwendet.

*The thermal performance test was carried out outdoors according to EN ISO 9806:2013 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods“ under quasi-dynamic conditions and a collector tilt angle of 51 °. Water was used as heat transfer fluid with a specific mass flow rate of 72 kg/(m<sup>2</sup>h).*

Dieser Prüfbericht darf ohne die schriftliche Zustimmung des ITW nicht **auszugsweise** vervielfältigt werden.

*It is not allowed to copy **extracts** of this test report without a written agreement from ITW.*

**Eingang Prüfling:** 18.09.2017  
*Arrival of test sample:*

**Interne Kennzeichnung des Prüflings:** C1405A  
*Internal identification of test sample:* C1405A

**Prüfzeitraum:** 26.09.2017 – 08.11.2017  
*Test period:*

**Prüfer:** B.Sc. M. Neufeld  
*Test engineer:*

Stuttgart, den 11.12.2017

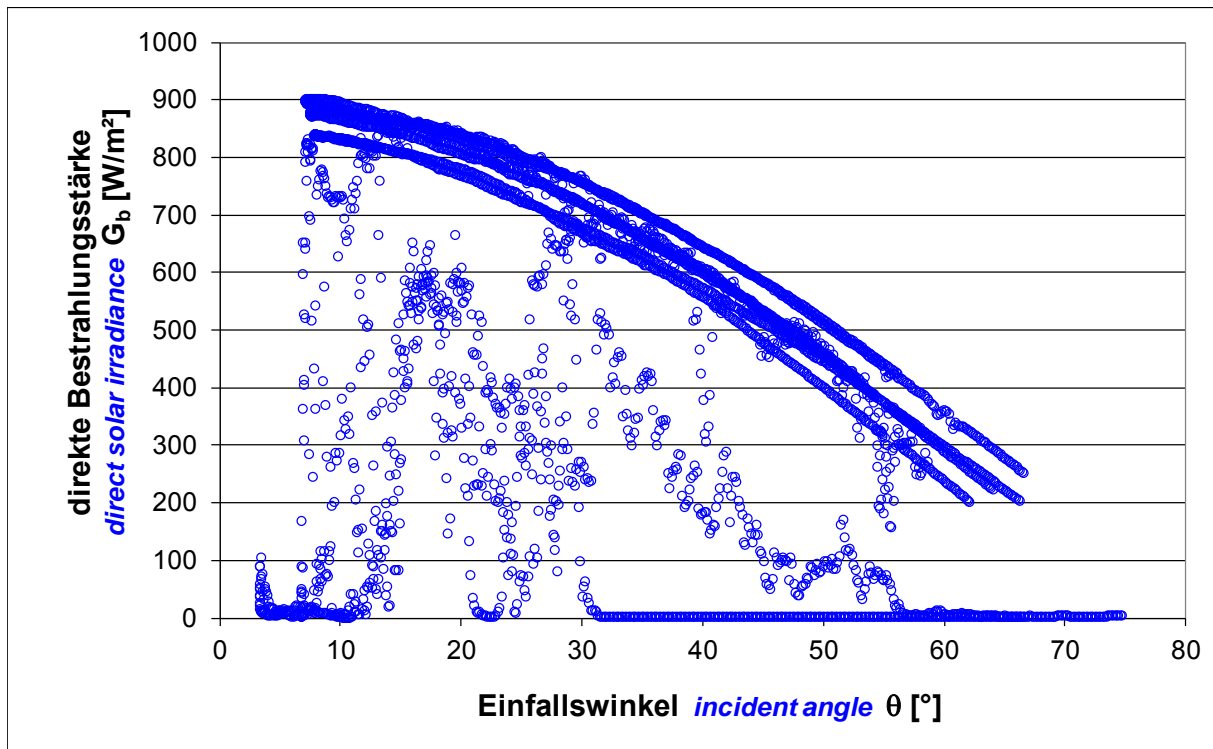


Dr.-Ing. Harald Drück  
Leiter TZS  
*Head of TZS*

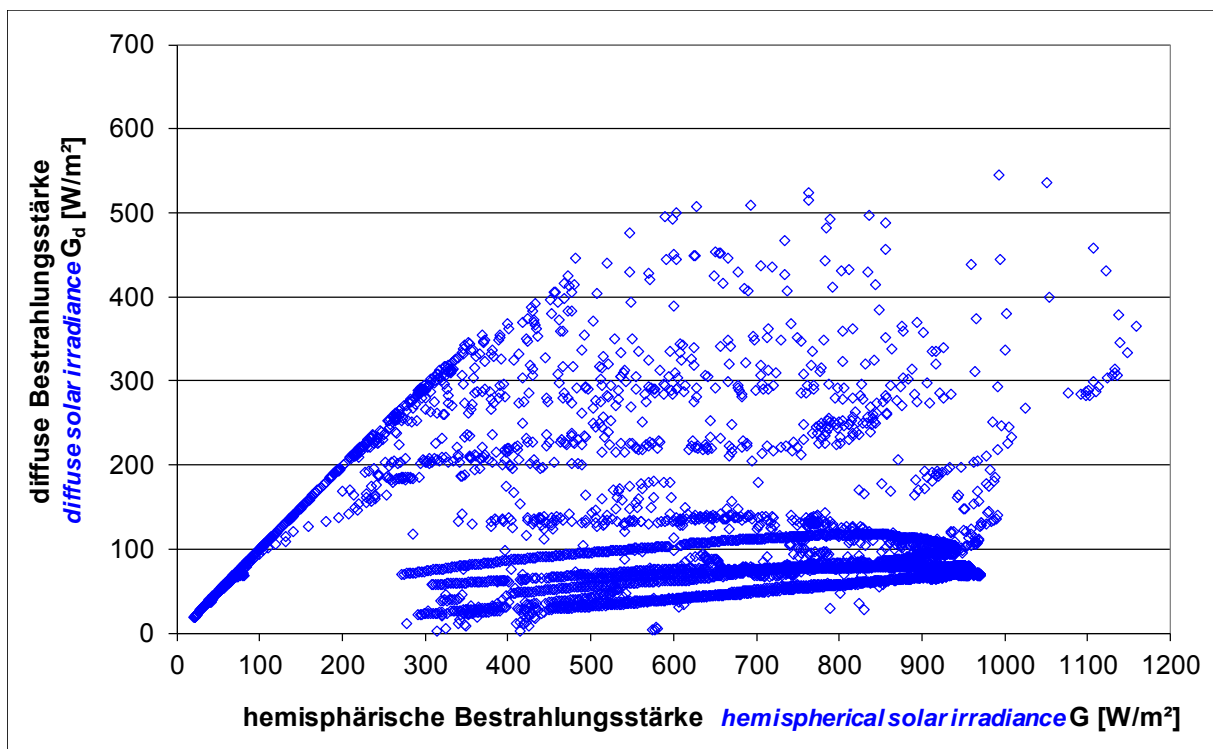


## Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen

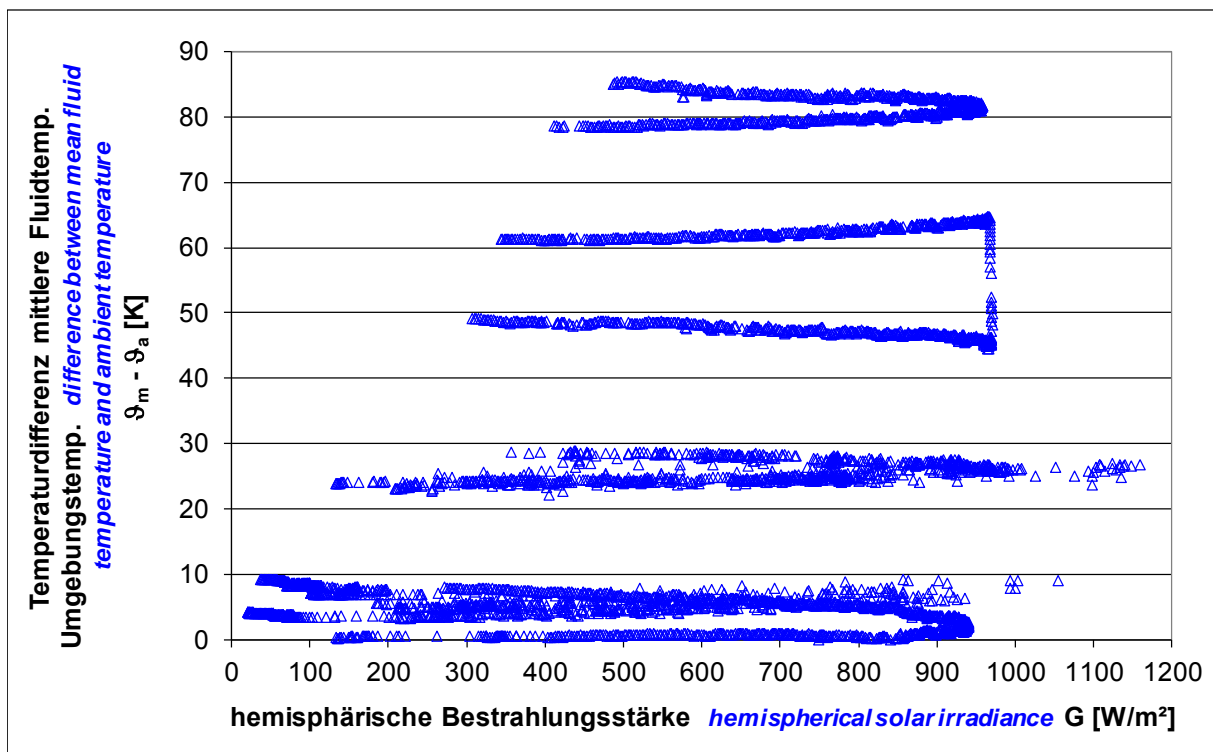
*Annex A: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions*



**Abbildung A.1:** Direkte Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Einfallswinkel  
*Figure A.1: Direct solar irradiance for different incident angles*



**Abbildung A.2:** Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke  
*Figure A.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance*



**Abbildung A.3:** Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

*Figure A.3: Difference between mean fluid temperature and ambient temperature for different hemispherical solar irradiance values*

## Anhang B: Nomenklatur

### *Annex B: Symbols and Units*

<b>A<sub>G</sub></b>	[m <sup>2</sup> ]	Brutto-Kollektorfläche / <i>gross area of collector</i>
<b>a</b>	[(mbar h <sup>2</sup> )/l <sup>2</sup> ]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
<b>b</b>	[(mbar h)/l]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
<b>c<sub>1</sub></b>	[W/(m <sup>2</sup> K)]	Wärmedurchgangskoeffizient bei (ϑ <sub>m</sub> - ϑ <sub>a</sub> ) = 0 <i>heat loss coefficient at (ϑ<sub>m</sub> - ϑ<sub>a</sub>) = 0</i>
<b>c<sub>2</sub></b>	[W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>
<b>c<sub>3</sub></b>	J/(m <sup>3</sup> K)	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>
<b>c<sub>4</sub></b>	-	Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>
<b>c<sub>5</sub></b>	[kJ/(m <sup>2</sup> K)]	effektive spezifische Wärmekapazität des Kollektors <i>effective specific heat capacity of the collector</i>
<b>c<sub>6</sub></b>	s/m	Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence in zero loss efficiency</i>
<b>E<sub>L</sub></b>	[W/m <sup>2</sup> ]	langwellige Strahlung (λ > 3 μm) / <i>long wave irradiance (λ &gt; 3 μm)</i>
<b>η<sub>0,b</sub></b>	[-]	Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G <sub>b</sub> <i>peak collector efficiency based on beam irradiance G<sub>b</sub></i>
<b>η<sub>0,hem</sub></b>	[-]	Konversionsfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G <i>conversion factor based on hemispherical irradiance G</i>
<b>G</b>	[W/m <sup>2</sup> ]	hemisphärische Bestrahlungsstärke / <i>hemispherical solar irradiance</i>
<b>G<sub>b</sub></b>	[W/m <sup>2</sup> ]	direkte Bestrahlungsstärke / <i>beam solar irradiance</i>
<b>G<sub>d</sub></b>	[W/m <sup>2</sup> ]	diffuse Bestrahlungsstärke / <i>diffuse solar irradiance</i>
<b>K<sub>b</sub>(θ<sub>L</sub>,θ<sub>T</sub>)</b>	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of beam solar irradiance</i>
<b>K<sub>b</sub>(θ<sub>L</sub>,0)</b>	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke (longitudinal) <i>incident angle modifier of beam solar irradiance (longitudinal)</i>
<b>K<sub>b</sub>(0,θ<sub>T</sub>)</b>	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke (transversal) <i>incident angle modifier of beam solar irradiance (transversal)</i>
<b>K<sub>d</sub></b>	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der diffusen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of diffuse solar irradiance</i>
<b>ṁ</b>	[kg/h]	Massenstrom / <i>mass flow rate</i>
<b>Q̇</b>	[W]	Kollektorleistung pro Modul / <i>power per collector unit</i>
<b>Δp</b>	[mbar]	Druckverlust / <i>pressure loss</i>
<b>t</b>	[s]	Zeit / <i>time</i>
<b>T<sub>a</sub></b>	[K]	Umgebungstemperatur / <i>ambient air temperature</i>
<b>u</b>	[m/s]	Windgeschwindigkeit / <i>surrounding air speed</i>
<b>V̇</b>	[l/h]	Volumenstrom / <i>volume flow</i>
<b>ϑ</b>	[°C]	Temperatur / <i>temperature</i>
<b>ϑ<sub>a</sub></b>	[°C]	Umgebungstemperatur / <i>ambient air temperature</i>
<b>ϑ<sub>e</sub></b>	[°C]	Kollektoraustrittstemperatur / <i>collector outlet temperature</i>
<b>ϑ<sub>in</sub></b>	[°C]	Kollektoreintrittstemperatur / <i>collector inlet temperature</i>
<b>ϑ<sub>m</sub></b>	[°C]	mittlere Fluidtemperatur / <i>mean fluid temperature</i>
<b>θ</b>	[°]	Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke <i>incidence angle of beam solar irradiance</i>
<b>σ</b>	W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )	Stefan-Boltzmann-Konstante σ = 5.67 x 10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) <i>Stefan-Boltzmann-constant σ = 5.67 x 10<sup>-8</sup> W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)</i>