



Prüfbericht

Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

Test Report

Thermal Performance of a Solar Collector

nach EN ISO 9806:2013 und
ICC 901/SRCC 100-2015
*according to EN ISO 9806:2013 and
ICC 901/SRCC 100-2015*

Prüfbericht-Nr.: 16COL1343
Test Report No.: 16COL1343

Stuttgart, den 24.05.2017
Stuttgart, May 24th, 2017

Auftraggeber: TVP Solar SA
client: 36, Place du Bourg-de-Four
1204 Geneva
Switzerland

Hersteller: TVP Solar SA
manufacturer:

Typ: MT-Power v4
type:

Herstelljahr: 2016
year of production:

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

1	Beschreibung des Sonnenkollektors3 <i>Solar Collector Description</i>
2	Prüfergebnisse Wärmeleistung6 <i>Test Results Thermal Performance</i>
3	Prüfergebnisse Druckverlust8 <i>Test Results Pressure loss</i>
4	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors9 <i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>
5	Prüfverfahren9 <i>Test Methods</i>
	Anhang A: Messwerte der Innenprüfung unter stationären Bedingungen10 <i>Annex A: Measured Data of Indoor Test under Steady State Conditions</i>
	Anhang B: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen11 <i>Annex B: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions</i>
	Anhang C: Nomenklatur13 <i>Annex C: Symbols and Units</i>

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

Hersteller <i>manufacturer</i>	TVP Solar SA 36, Place du Bourg-de-Four 1204 Geneva Switzerland
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Dr. Vittorio Palmieri Tel.: +41 22 5349087 Fax: +41 22 3106180 email: info@tvpsolar.com
Typ: <i>type:</i>	MT-Power v4 <i>MT-Power v4</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	16225SAC4301052 <i>16225SAC4301052</i>
Serienprodukt oder Baumuster: <i>duplicate part or model:</i>	Serienprodukt <i>duplicate part</i>
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2016 <i>2016</i>

Kollektor *Collector*

Bauart: <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
Brutto-Kollektorfläche: <i>gross area of collector:</i>	1.96 m ² <i>1.96 m²</i>
Länge: <i>length:</i>	975 mm <i>975 mm</i>
Breite: <i>width:</i>	2015 mm <i>2015 mm</i>
Höhe: <i>height:</i>	51 mm <i>51 mm</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	53 kg <i>53 kg</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	1.4 Liter <i>1.4 litres</i>
Material Seitenwand/Rahmen: <i>material side wall/frame:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Material Rückwand: <i>material back sheet:</i>	Edelstahl <i>stainless steel</i>
Verbindungsart der Rahmenteile: <i>frame fastening method:</i>	Metall Steckverbindung <i>metall connector</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Flachdach <i>flat roof</i>
Anzahl Anschlüsse: <i>number of connections:</i>	4 <i>4</i>
Ausführung Anschlüsse: <i>realisation of connections:</i>	SMS male DN32 Außengewinde <i>SMS male dn32 outer threat</i>

Absorber

Absorber

Material: <i>material:</i>	Aluminiumblech und Kupferregister <i>aluminium sheet and copper piping</i>
Verbindung Fluidkanäle/Absorber: <i>bond between risers and fin/plate:</i>	lasergeschweißt <i>laser welded</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	0.6 mm <i>0.6 mm</i>
Oberflächenbehandlung: <i>surface treatment:</i>	Mirotherm <i>Mirotherm</i>
Absorptionsgrad: <i>solar absorptance:</i>	0.95 <i>0.95</i>
Emissionsgrad: <i>emittance:</i>	0.05 <i>0.05</i>
Durchströmungsform: <i>flow pattern:</i>	Harfe <i>harp</i>
Abmessungen Absorber [L x B]: <i>dimension absorber [L x W]:</i>	922 mm x 1952 mm <i>922 mm x 1952 mm</i>
Abmessungen Absorberrohre: <i>dimension absorber tubes:</i>	12 x 0.5 mm <i>12 x 0.5 mm</i>
Anzahl Absorberrohre: <i>number of absorber tubes:</i>	6 <i>6</i>
Länge eines Absorberrohres: <i>length of a single absorber tube:</i>	2198 mm <i>2198 mm</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance centre to centre between absorber tubes:</i>	180 mm <i>180 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr: <i>dimension of the header:</i>	- <i>-</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl: <i>number:</i>	1 <i>1</i>
Länge x Breite x Dicke: <i>length x width x thickness:</i>	2000 mm x 960 mm x 5 mm <i>2000 mm x 960 mm x 5 mm</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	0.926 <i>0.926</i>
Abmessungen Apertur [L x B]: <i>aperture dimension [L x W]:</i>	929 mm x 1971 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>929 mm x 1971 mm (determined by test laboratory)</i>
Oberflächenstruktur innen/außen: <i>surface characteristics inside/outside:</i>	- <i>-</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

	Rückseite <i>back side</i>	seitlich <i>at the side</i>
Material: <i>material:</i>	-	-
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	-	-
Produktbezeichnung: <i>product name:</i>	-	-
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	-	-
Dichte: <i>density:</i>	-	-
Dicke: <i>thickness:</i>	-	-

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	302 °C 302 °C
maximale Betriebstemperatur: <i>maximum operation temperature:</i>	200 °C 200 °C
max. zulässiger Betriebsdruck: <i>maximum operation pressure:</i>	16 bar 16 bar
Zulässiger Wärmeträger: <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Wasser, diathermisches Öl <i>water, diathermic oil</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	260 kg/h mit Wasser, 516 kg/h mit Mobiltherm594 bei 100°C <i>260 kg/h with water, 516 kg/h with Mobiltherm594 at 100°C</i>

Gültigkeit

Validity:

Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp MT-Power v4.
The test report is valid for collector type MT-Power v4 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>	σ^*
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.737	0.003
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.957	0.010
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	c_1 [W/(m ² K)]	0.504	0.076
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	c_2 [W/(m ² K ²)]	0.006	0.001
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	c_3 [J/(m ³ K)]	0	-
Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>	c_4 [-]	0	-
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	c_5 [J/(m ² K)]	15320	301
Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency</i>	c_6 [s/(m)]	0	-

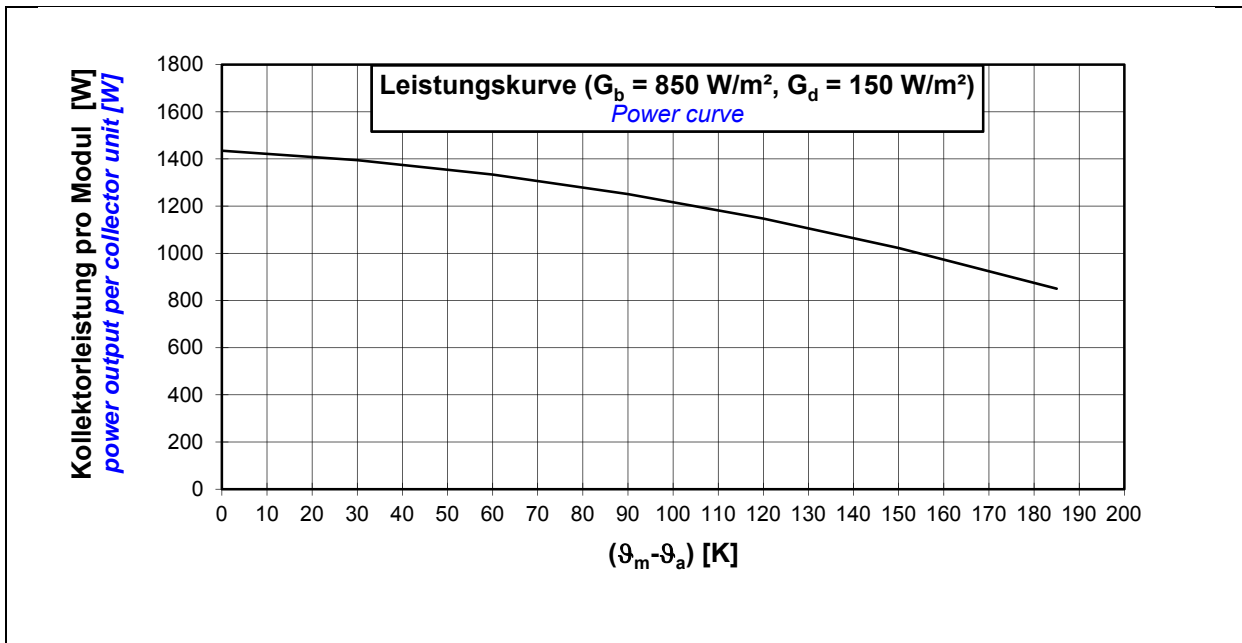
* σ : Standardabweichung / *standard deviation*

Einfallswinkel-Korrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke

Incidence angle modifier of the beam solar irradiance

Einfallswinkel θ <i>incident angle θ</i>	0	20	30	40	50	60	70	90
$K_b(\theta_L, 0)$:	1.00	1.00	0.99	0.98	0.95	0.88	0.72	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	0.99	0.98	0.95	0.88	0.72	0.00

Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung ($\vartheta_m - \vartheta_a$) _{max} :	155 K
<i>maximum temperature difference during test</i> ($\vartheta_m - \vartheta_a$) _{max} :	<i>155 K</i>
Peakleistung pro Kollektormodul \dot{Q}_{peak} ($G_b = 850 \text{ W/m}^2$, $G_d = 150 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$):	1435 W
<i>peak power per collector unit</i> \dot{Q}_{peak} ($G_b = 850 \text{ W/m}^2$, $G_d = 150 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$):	<i>1435 W</i>



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	565	995	1435
30	525	955	1395
60	464	893	1334
90	381	811	1251
120	278	707	1147
150	153	582	1022
185	0 ^{*)}	410	850

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

^{*)} Die Kollektorleistung ist mit Null angegeben, da sich rechnerisch bei diesen Betriebsbedingungen eine negative Kollektorleistung ergibt.

^{*)} *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 Prüfergebnisse Druckverlust

Test Results Pressure Loss

Bestimmung des Druckverlusts: <i>Determination of the pressure loss</i>	$\Delta p = a \cdot \dot{V}^2 + b \cdot \dot{V}$
a [(mbar h²)/l²]	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0.000222</div>
b [(mbar h)/l]	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0.012997</div>

(Wassertemperatur / *water temperature* $\vartheta = 20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)

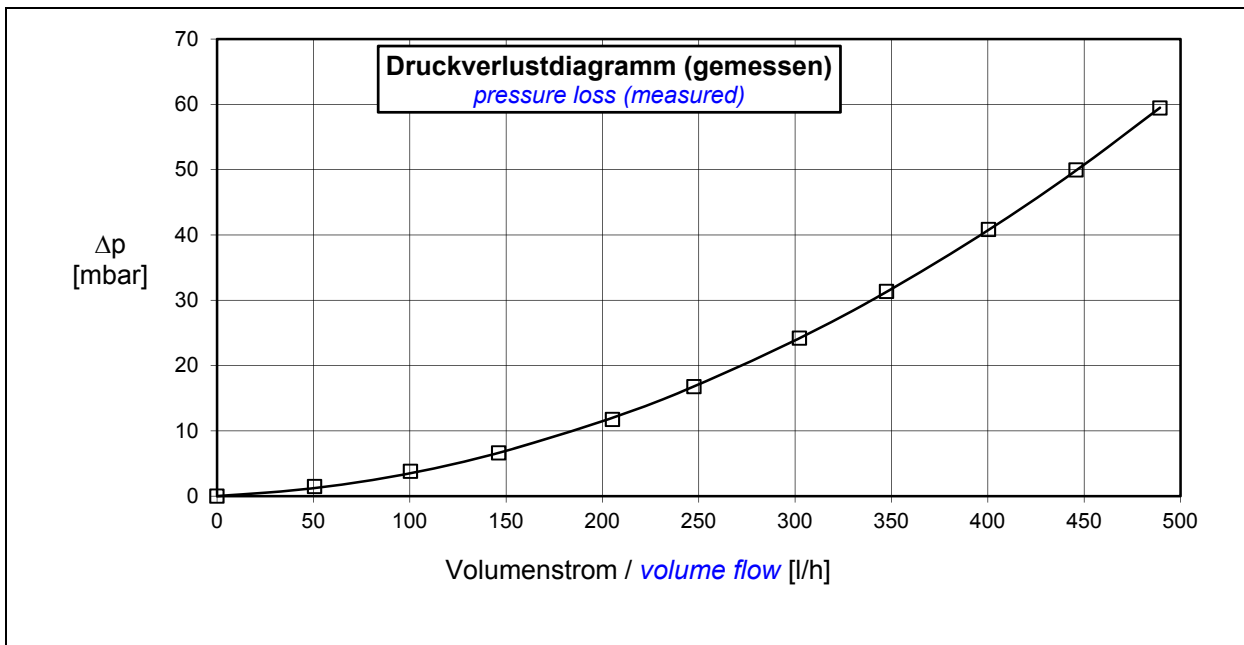


Tabelle der aufgenommenen Messwerte
Table of measuring data

Volumenstrom [l/h] <i>volume flow</i>	50.6	100.4	146.1	205.2	247.5	302.3	347.5	400.4	445.8	489.3
Druckverlust [mbar] <i>pressure loss</i>	1.5	3.8	6.6	11.7	16.8	24.2	31.3	40.8	49.9	59.4

4 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

Keine Auffälligkeiten
Nothing particular

5 Prüfverfahren

Test Methods

Die Prüfung der Wärmeleistung erfolgte nach EN ISO 9806:2013 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" und ICC 901/SRCC 100-2015.
Die Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgte im Innentest nach EN ISO 9806:2013 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter stationären Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 45 °.
Die Bestimmung des Konversionsfaktors, des Einfallswinkel-Korrekturfaktors (IAM) und die Bestimmung der effektiven spezifischen Wärmekapazität erfolgte im Außentest nach EN ISO 9806:2013 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 50 °.
Als Wärmeträger wurde Wasser mit einem spezifischen Massenstrom von 72 kg/(m²h) verwendet.

*The thermal performance test was carried out according to EN ISO 9806:2013 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods“ and ICC 901/SRCC 100-2015.
The determination of the heat loss coefficients was carried out indoors according to EN ISO 9806:2013 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods“ under steady state conditions and a collector tilt angle of 45 °.
The determination of the conversion factor, the incident angle modifier and effective specific thermal capacity 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 50 °.
Water was used as heat transfer fluid with a specific mass flow rate of 72 kg/(m²h).*

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: <i>Arrival of test sample:</i>	09.09.2016
Interne Kennzeichnung des Prüflings: <i>Internal identification of test sample:</i>	C1343A C1343A
Prüfzeitraum: <i>Test period:</i>	14.09.2016 – 18.05.2017
Prüfer: <i>Test engineer:</i>	Dr.-Ing. S. Fischer, Dipl.-Ing. (FH) C. Twerdy, B.Sc. M. Neufeld

Stuttgart, den 24.05.2016



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

Anhang A: Messwerte der Innenprüfung unter stationären Bedingungen

Annex A: Measured Data of Indoor Test under Steady State Conditions

	G^*	\dot{m}	ϑ_{in}	ϑ_e	$\vartheta_e - \vartheta_{in}$	ϑ_m	ϑ_a	$\vartheta_m - \vartheta_a$	$(\vartheta_m - \vartheta_a)/G^*$	η
Nr	[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[(m ² K)/W]	[-]
1	951.50	133.58	19.79	28.61	8.82	24.20	24.07	0.12	0.0001	0.7317
2	951.38	133.47	19.84	28.66	8.82	24.25	24.09	0.15	0.0002	0.7316
3	952.15	136.21	61.27	69.45	8.18	65.36	24.00	41.38	0.0435	0.6984
4	952.22	136.16	61.28	69.47	8.19	65.38	23.98	41.42	0.0435	0.6984
5	951.94	138.95	98.89	106.34	7.45	102.61	24.08	78.59	0.0826	0.6498
6	951.94	139.35	98.97	106.40	7.43	102.68	24.08	78.66	0.0826	0.6497
7	953.90	136.52	138.26	144.97	6.71	141.61	24.35	117.35	0.1230	0.5803
8	953.30	136.55	138.27	144.97	6.70	141.62	24.32	117.38	0.1231	0.5801
9	952.45	127.42	176.86	182.74	5.88	179.80	24.50	155.42	0.1632	0.4921
10	952.95	127.58	176.74	182.62	5.88	179.68	24.92	154.87	0.1625	0.4936

Tabelle A.1: Messwerte

Table A.1: Measured values

Anhang B: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen

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

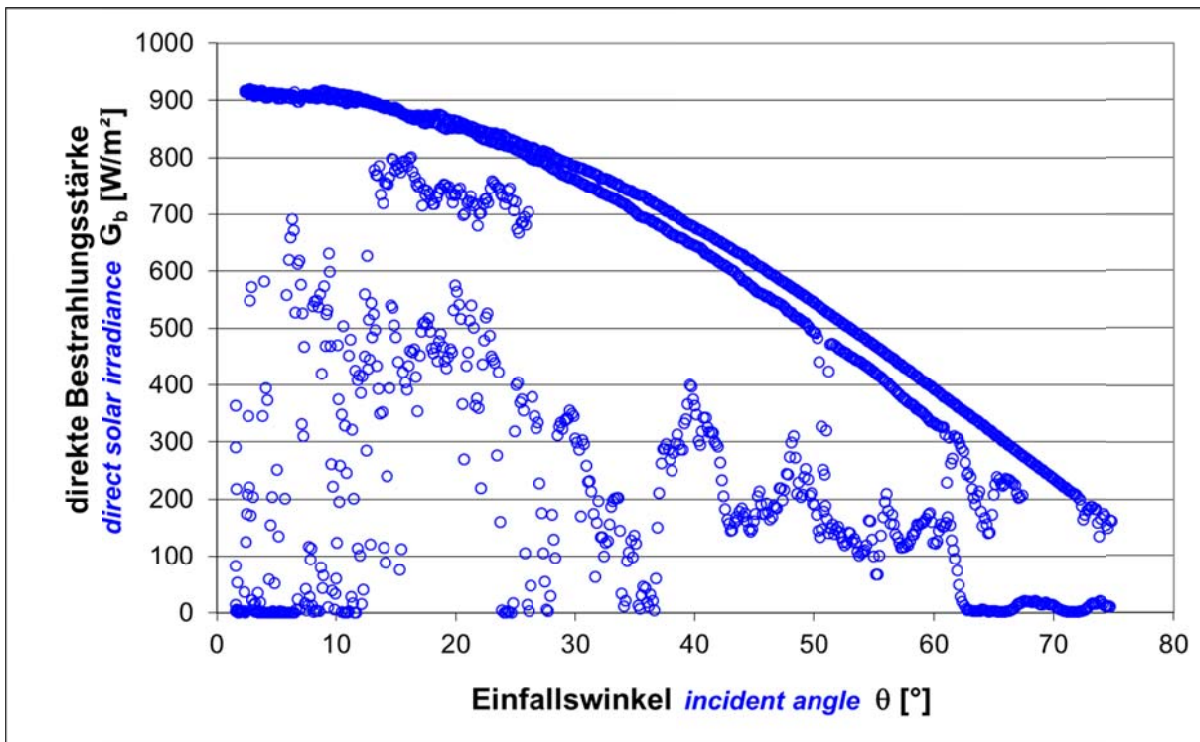


Abbildung B.1: Direkte Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Einfallswinkel
Figure B.1: Direct solar irradiance for different incident angles

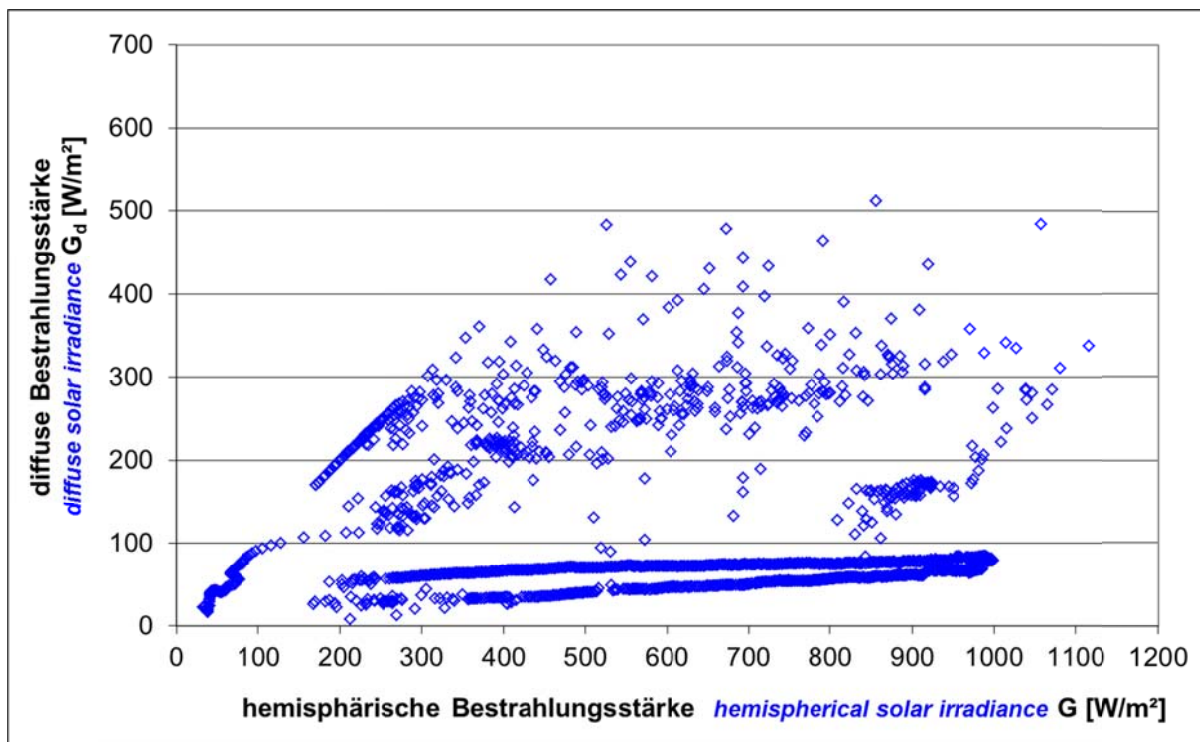


Abbildung B.2: Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke
Figure B.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance

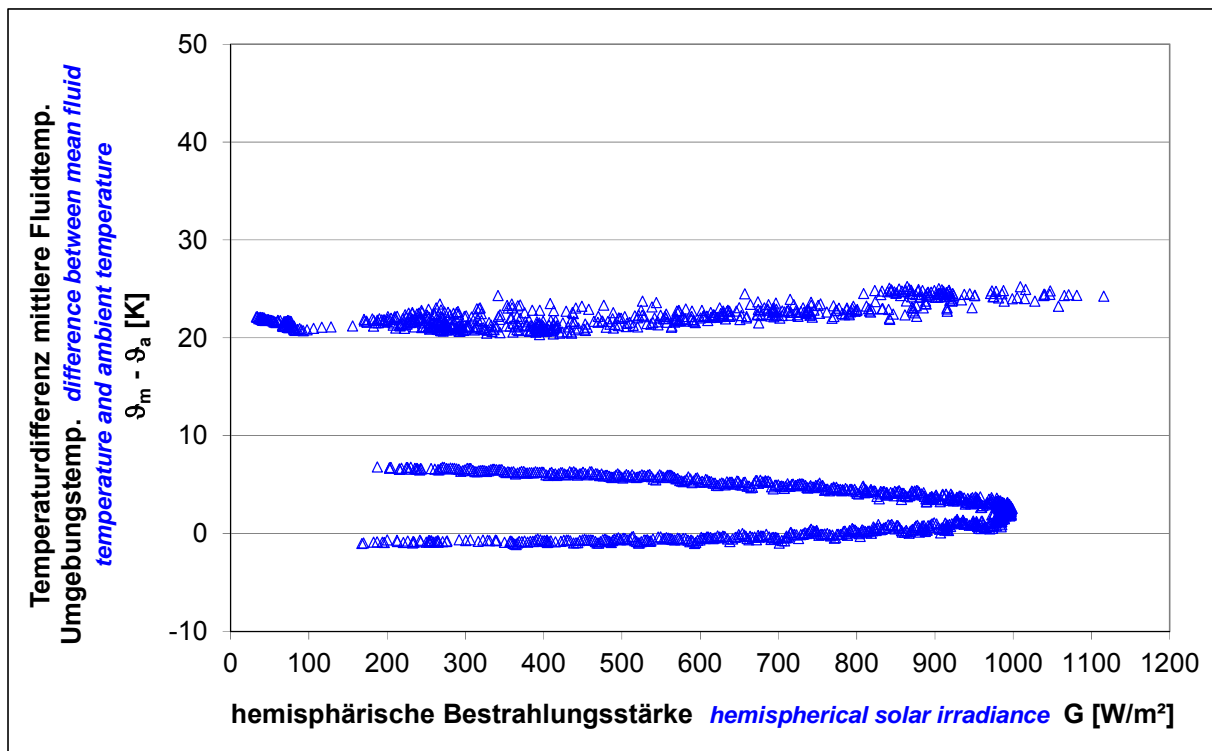


Abbildung B.3: Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

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

Anhang C: Nomenklatur

Annex C: Symbols and Units

A_G	[m ²]	Brutto-Kollektorfläche / <i>gross area of collector</i>
a	[(mbar h ²)/l ²]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
c₁	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient bei (ϑ _m - ϑ _a) = 0 <i>heat loss coefficient at (ϑ_m - ϑ_a) = 0</i>
c₂	[W/(m ² K ²)]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>
c₃	J/(m ³ K)	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>
c₄	-	Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>
c₅	[kJ/(m ² K)]	effektive spezifische Wärmekapazität des Kollektors <i>effective specific heat capacity of the collector</i>
c₆	s/m	Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence in zero loss efficiency</i>
E_L	[W/m ²]	langwellige Strahlung (λ > 3 μm) / <i>long wave irradiance (λ > 3 μm)</i>
η_{0,b}	[-]	Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G _b <i>peak collector efficiency based on beam irradiance G_b</i>
η_{0,hem}	[-]	Konversionsfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G <i>conversion factor based on hemispherical irradiance G</i>
G	[W/m ²]	hemisphärische Bestrahlungsstärke / <i>hemispherical solar irradiance</i>
G_b	[W/m ²]	direkte Bestrahlungsstärke / <i>beam solar irradiance</i>
G_d	[W/m ²]	diffuse Bestrahlungsstärke / <i>diffuse solar irradiance</i>
K_b(θ_L,θ_T)	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of beam solar irradiance</i>
K_b(θ_L,0)	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke (longitudinal) <i>incident angle modifier of beam solar irradiance (longitudinal)</i>
K_b(0,θ_T)	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke (transversal) <i>incident angle modifier of beam solar irradiance (transversal)</i>
K_d	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der diffusen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of diffuse solar irradiance</i>
\dot{m}	[kg/h]	Massenstrom / <i>mass flow rate</i>
\dot{Q}	[W]	Kollektorleistung pro Modul / <i>power per collector unit</i>
Δp	[mbar]	Druckverlust / <i>pressure loss</i>
t	[s]	Zeit / <i>time</i>
T_a	[K]	Umgebungstemperatur / <i>ambient air temperature</i>
u	[m/s]	Windgeschwindigkeit / <i>surrounding air speed</i>
\dot{V}	[l/h]	Volumenstrom / <i>volume flow</i>
ϑ	[°C]	Temperatur / <i>temperature</i>
ϑ_a	[°C]	Umgebungstemperatur / <i>ambient air temperature</i>
ϑ_e	[°C]	Kollektoraustrittstemperatur / <i>collector outlet temperature</i>
ϑ_{in}	[°C]	Kollektoreintrittstemperatur / <i>collector inlet temperature</i>
ϑ_m	[°C]	mittlere Fluidtemperatur / <i>mean fluid temperature</i>
θ	[°]	Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke <i>incidence angle of beam solar irradiance</i>
σ	W/(m ² K ⁴)	Stefan-Boltzmann-Konstante σ = 5.67 x 10 ⁻⁸ W/(m ² K ⁴) <i>Stefan-Boltzmann-constant σ = 5.67 x 10⁻⁸ W/(m²K⁴)</i>