

IGTE

**Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energiespeicherung**
Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)
Universität Stuttgart



Prüfbericht

Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

Test Report
Thermal Performance of a Solar Collector

nach EN ISO 9806:2017
according to EN ISO 9806:2017

Prüfbericht-Nr.: 21COL1590OEM03
Test Report No.: 20COL1590OEM03

Stuttgart, den 03.11.2021
Stuttgart, November 3rd, 2021

Auftraggeber: <i>client:</i>	ECOFER OIKONOMOU Z. KOSTAS Xanthippou 150 15669 Papagou Athens Greece
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	ECOFER OIKONOMOU Z. KOSTAS
Typ: <i>type:</i>	ECOFER SMARTEVO 20
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2021

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	9
	<i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>	
4	Prüfverfahren	9
	<i>Test Methods</i>	
	Anhang A: Messwerte der Innenprüfung unter stationären Bedingungen	10
	<i>Annex A: Measured Data of Indoor Test under Steady State Conditions</i>	
	Anhang B: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen	11
	<i>Annex B: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions</i>	
	Anhang C: Bezug auf Aperturfläche	13
	<i>Annex C: Reference to aperture area</i>	
	Anhang D: Nomenklatur	16
	<i>Annex D: Symbols and Units</i>	

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

Hersteller <i>manufacturer</i>	ECOFER OIKONOMOU Z. KOSTAS Xanthippou 150 15669 Papagou Athens Greece
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Zacharias Oikonomou Tel.: +30 2106715510 email: zachos@ecofer.com.gr
Typ: <i>type:</i>	ECOFER SMARTEVO 20 <i>ECOFER SMARTEVO 20</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	k. A. <i>n. s.</i>
Serienprodukt oder Baumuster: <i>duplicate part or model:</i>	Serienprodukt <i>duplicate part</i>
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2021 <i>2021</i>

Kollektor *Collector*

Bauart: <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
Brutto-Kollektorfläche: <i>gross area of collector:</i>	2.02 m ² <i>2.02 m²</i>
Länge: <i>length:</i>	2006 mm <i>2006 mm</i>
Breite: <i>width:</i>	1007 mm <i>1007 mm</i>
Höhe: <i>height:</i>	85 mm <i>85 mm</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	27 kg <i>27 kg</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	1.6 Liter <i>1.6 litres</i>
Material Seitenwand/Rahmen: <i>material side wall/frame:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Material Rückwand: <i>material back sheet:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Verbindungsart der Rahmenteile: <i>frame fastening method:</i>	genietet <i>riveted</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach, Flachdach <i>On roof, flat roof</i>
Anzahl Anschlüsse: <i>number of connections:</i>	4 <i>4</i>
Ausführung Anschlüsse: <i>realisation of connections:</i>	22 mm Kupfer-Rohr <i>22 mm copper pipe</i>

Absorber

Absorber

Material: <i>material:</i>	Aluminiumblech mit Kupferregister <i>aluminium sheet with copper pipes</i>
Verbindung Fluidkanäle/Absorber: <i>bond between risers and fin/plate:</i>	lasergeschweißt <i>laser welded</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	0.4 mm <i>0.4 mm</i>
Oberflächenbehandlung: <i>surface treatment:</i>	BLUE SELECTIVE <i>BLUE SELECTIVE</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>	keine Angabe <i>not specified</i>
Abmessungen Absorberrohre: <i>dimension absorber tubes:</i>	8.0 x 0.4 mm <i>8.0 x 0.4 mm</i>
Anzahl Absorberrohre: <i>number of absorber tubes:</i>	9 <i>9</i>
Länge eines Absorberrohres: <i>length of a single absorber tube:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance centre to centre between absorber tubes:</i>	95 mm <i>95 mm</i>
Länge eines Sammlerrohres: <i>length of header tube:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Abmessungen Sammlerrohr: <i>dimension of the header tube:</i>	22 x 0.7 mm <i>22 x 0.7 mm</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>	keine Angabe <i>not specified</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	0.91 <i>0.91</i>
Abmessungen Apertur [L x B]: <i>aperture dimension [L x W]:</i>	1941 mm x 942 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1941 mm x 942 mm (determined by test laboratory)</i>
Oberflächenstruktur innen/außen: <i>surface characteristics inside/outside:</i>	prismiert / klar <i>prismatic / clear</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

	Rückseite <i>back side</i>	seitlich <i>at the side</i>
Material: <i>material:</i>	Glaswolle <i>glass wool</i>	Glaswolle <i>glass wool</i>
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	Knauf <i>Knauf</i>	Knauf <i>Knauf</i>
Produktbezeichnung: <i>product name:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	0.035 W/(mK) <i>0.035 W/(mK)</i>	0.035 W/(mK) <i>0.035 W/(mK)</i>
Dichte: <i>density:</i>	30 kg/m ³ <i>30 kg/m³</i>	30 kg/m ³ <i>30 kg/m³</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	30 mm <i>30 mm</i>	15 mm <i>15 mm</i>

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	230 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>230 °C (determined by test laboratory)</i>
maximale Betriebstemperatur: <i>maximum operation temperature:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
max. zulässiger Betriebsdruck: <i>maximum operation pressure:</i>	10 bar <i>10 bar</i>
Zulässiger Wärmeträger: <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Frostschutz/Wasser-Gemisch <i>antifreeze/water mixture</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>

Gültigkeit

Validity:

Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp ECOFER SMARTEVO 20.
The test report is valid for collector type ECOFER SMARTEVO 20 as specified above.

2 Prüfergebnisse Wärmeleistung

Test Results Thermal Performance

Spezifische Nutzenergie des Kollektors:

Specific useful energy extracted from the collector:

$$\dot{Q} = A_G \left[\eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_3 u'(\vartheta_m - \vartheta_a) \right. \\ \left. + a_4(E_L - \sigma T_a^4) - a_5 \left(\frac{d\vartheta_m}{dt} \right) - a_6 u' G - a_7 u'(E_L - \sigma T_a^4) - a_8(\vartheta_m - \vartheta_a)^4 \right]$$

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>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.739	0.002
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.978	0.005
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m²K)]	3.387	0.056
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m²K²)]	0.009	0.001
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	a_3 [J/(m³K)]	0	-
Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>	a_4 [-]	0	-
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	a_5 [J/(m²K)]	9756	385
Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency</i>	a_6 [s/(m)]	0	-
Windabhängiger Strahlungsaustauschkoeffizient <i>wind speed dependence or IR radiation exchange</i>	a_7 [s/m]	0	-
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a_8 [W/m²K⁴]	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	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_b(\theta_L, 0)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.62	0.31	0.00
σ^*	-	-	0.00	-	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.62	0.31	0.00
σ^*	-	-	0.00	-	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-

Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung

73 K

 $(\vartheta_m - \vartheta_a)_{\max}$:*maximum temperature difference during test $(\vartheta_m - \vartheta_a)_{\max}$:*

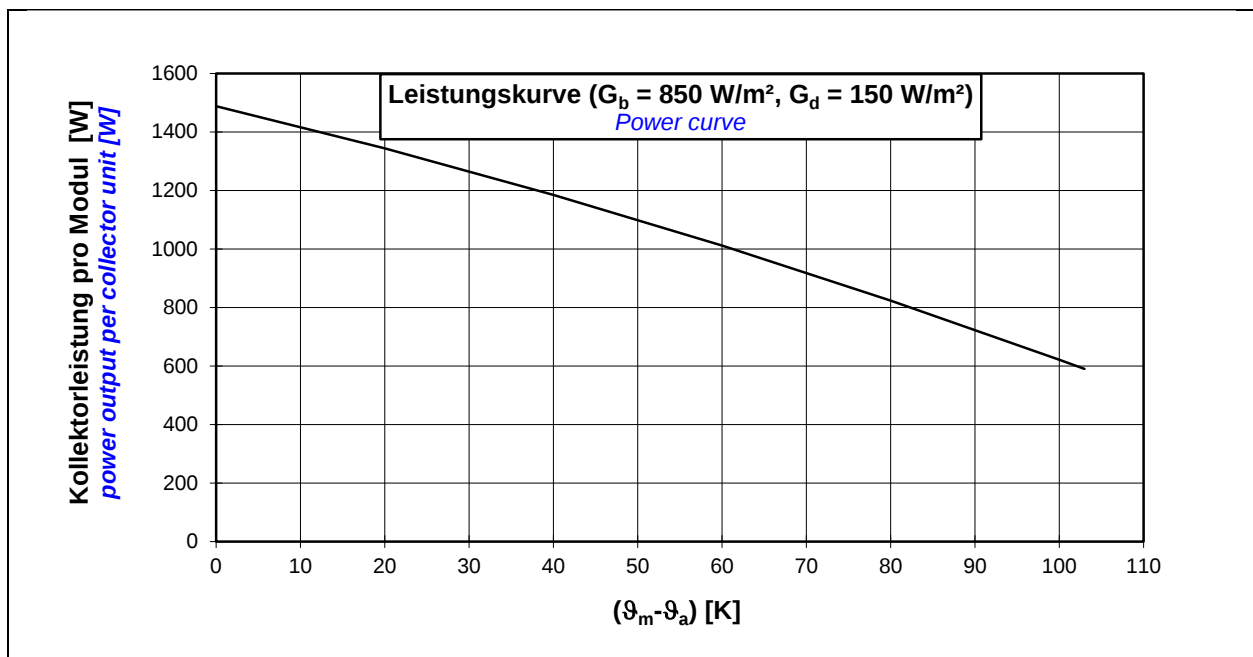
73 K

Peakleistung pro Kollektormodul $\dot{Q}_{\text{peak}}$

1488 W

 $(G_b = 850 \text{ W/m}^2, G_d = 150 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0)$:*peak power per collector unit $\dot{Q}_{\text{peak}}$*

1488 W

 $(G_b = 850 \text{ W/m}^2, G_d = 150 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0)$:

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

$\vartheta_m - \vartheta_a$ [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	$G_b = 0 \text{ W/m}^2$ $G_d = 400 \text{ W/m}^2$	$G_b = 440 \text{ W/m}^2$ $G_d = 260 \text{ W/m}^2$	$G_b = 850 \text{ W/m}^2$ $G_d = 150 \text{ W/m}^2$
0	584	1036	1488
20	440	892	1344
40	281	734	1185
60	108	560	1012
80	0 *)	373	824
100	0 *)	170	622
103	0 *)	139	590

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

Keine Auffälligkeiten
Nothing particular

4 **Prüfverfahren** *Test Methods*

Die Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgte im Innentest nach EN ISO 9806:2017 "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 9806:2017 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 32 °.
Als Wärmeträger wurde Wasser mit einem spezifischen Massenstrom von 72 kg/(m²h) verwendet.

The determination of the heat loss coefficients was carried out indoors according to EN ISO 9806:2017 „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 9806:2017 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods“ under quasi-dynamic conditions and a collector tilt angle of 32 °. 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 IGTE nicht **auszugsweise** vervielfältigt werden.

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

Eingang Prüfling: 27.01.2021
Arrival of test sample:

Interne Kennzeichnung des Prüflings: C1590
Internal identification of test sample: C1590

Prüfzeitraum: 10.02.2021 – 09.05.2021
Test period:

Prüfer: F. Sansonnens
Test engineer:

Stuttgart, den 03.11.2021


Dr.-Ing. Harald Drück
Leiter Prüfbereich Solar
Head of test section solar

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/m²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[(m²K)/W]	[-]
1	778.28	142.59	21.07	28.11	7.04	24.59	25.49	-0.91	-0.0012	0.7413
2	778.26	142.95	21.08	28.10	7.03	24.59	25.50	-0.91	-0.0012	0.7422
3	778.06	143.46	21.11	28.15	7.04	24.63	25.56	-0.94	-0.0012	0.7468
4	777.70	143.52	21.11	28.15	7.04	24.63	25.53	-0.91	-0.0012	0.7469
5	778.17	150.35	41.48	47.38	5.90	44.43	25.52	18.90	0.0243	0.6552
6	778.39	149.96	41.48	47.39	5.91	44.43	25.51	18.93	0.0243	0.6541
7	777.55	147.43	62.47	67.51	5.03	64.99	25.56	39.44	0.0507	0.5490
8	777.38	148.36	62.57	67.59	5.02	65.08	25.56	39.50	0.0508	0.5512
9	777.28	147.38	80.85	85.00	4.15	82.93	25.50	57.42	0.0739	0.4544
10	777.31	147.76	80.87	85.00	4.12	82.94	25.54	57.41	0.0739	0.4526

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

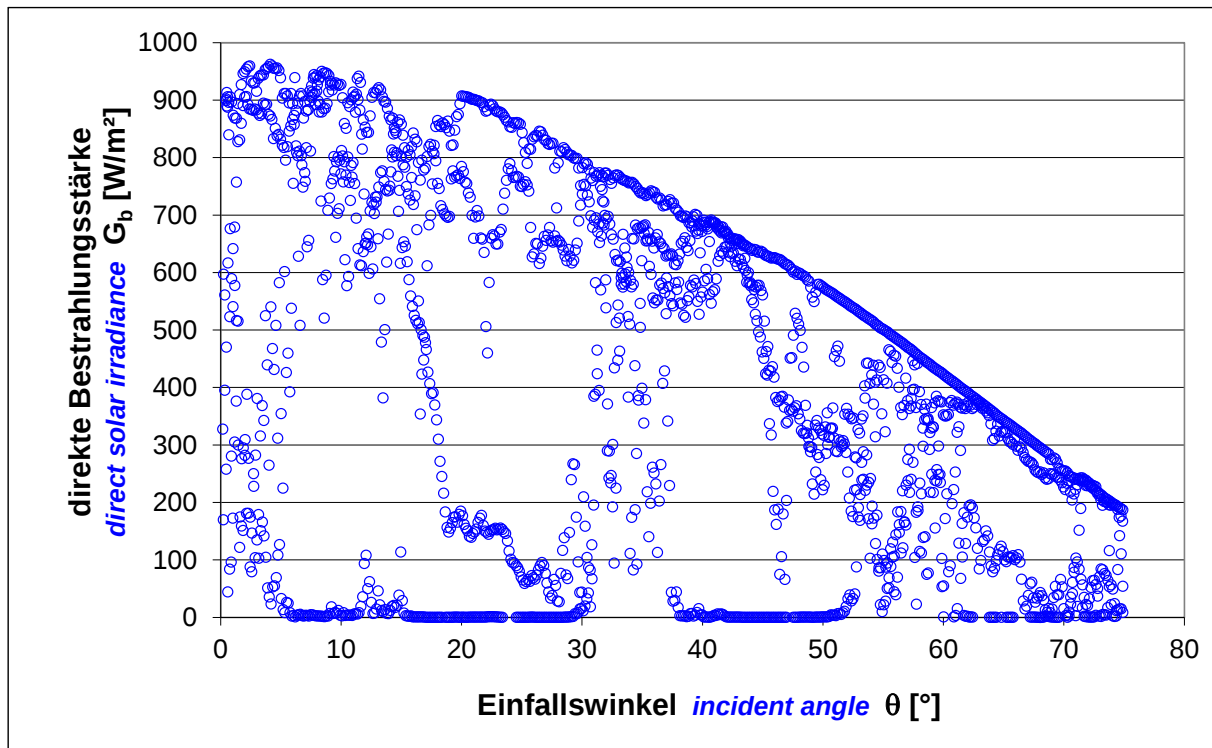


Abbildung B.1: Direkte Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Einfallswinkel

Figure B.1: Direct solar irradiance for different incident angles

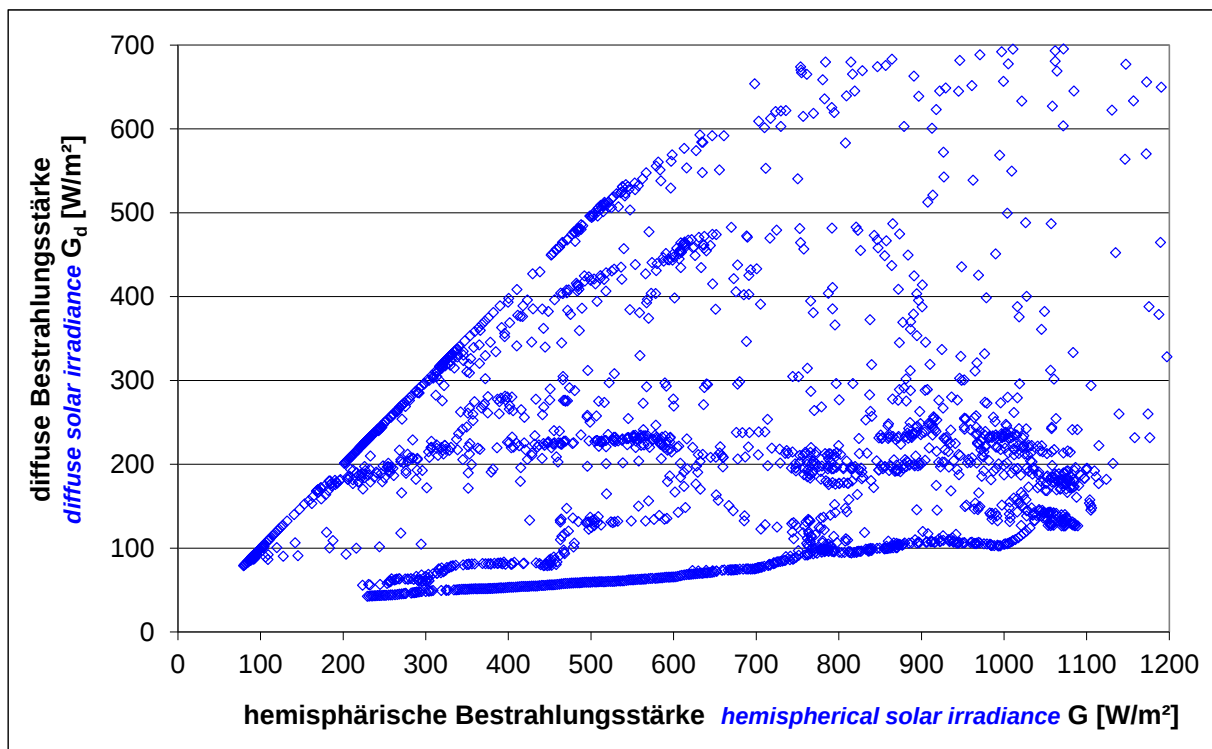


Abbildung B.2: Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke

Figure B.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance

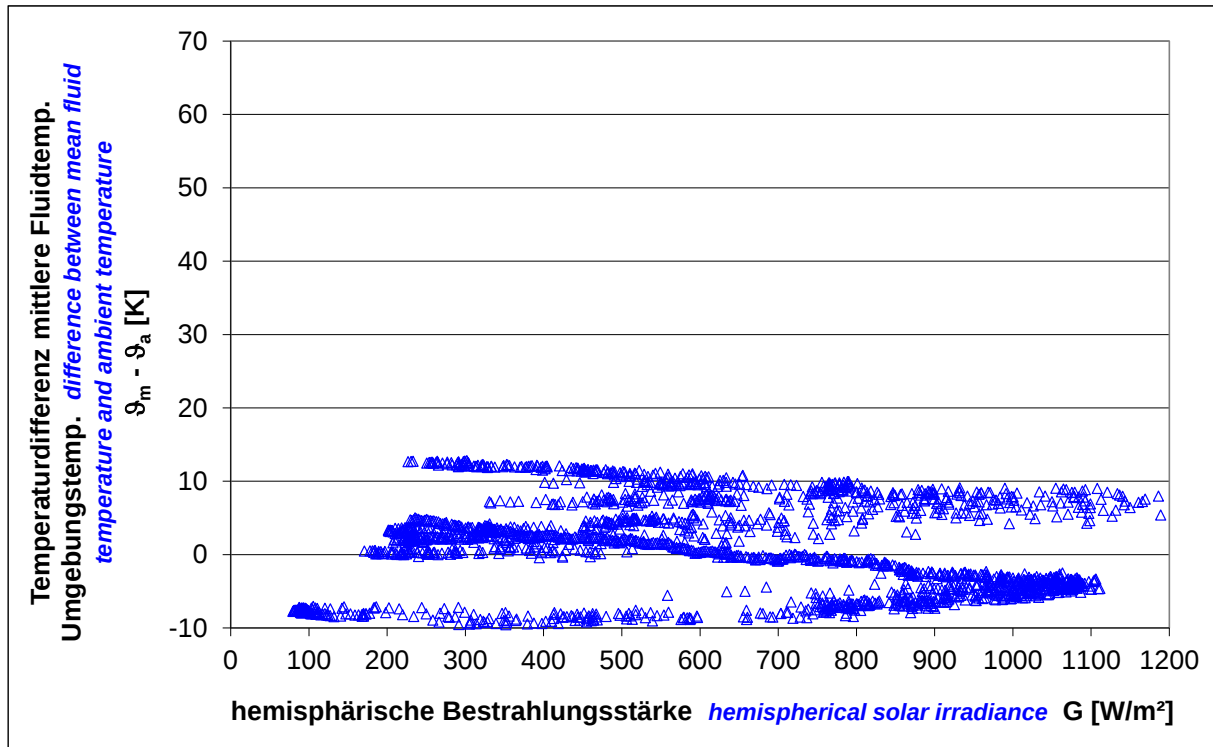


Abbildung B.3: Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

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

Anhang C: Bezug auf Aperturfläche

Annex C: Reference to aperture area

Seit März 2014 hat die internationale Norm EN ISO 9806 die bislang gültige europäische Norm EN 12975-2:2006 abgelöst. Die EN ISO 9806 verwendet als Bezugsfläche für die Kollektorkennwerte die Brutto-Kollektorfläche. Um die Vergleichbarkeit mit Kollektorkennwerten herzustellen, die auf die Aperturfläche bezogen sind, werden in diesem Anhang die Kollektorkennwerte bezogen auf die Brutto-Kollektorfläche und Aperturfläche dargestellt.

Die thermische Leistungsfähigkeit des Kollektors ist unabhängig von der gewählten Bezugsfläche und ändert sich daher durch die hier beschriebene Umrechnung nicht!

Since March 2014 the international standard EN ISO 9806 has replaced the European standard EN 12975-2:2006 which was valid so far. The standard EN ISO 9806 uses for the collector parameters the gross area as reference area. For the comparison of collector parameters, which were determined using the aperture area as reference area, this annex presents the collector parameters based on gross collector area and aperture area.

The thermal performance of the collector is independent from the used reference area and hence is not changed by the conversion procedure described here!

Die Umrechnung von der Brutto-Kollektorfläche (A_G) als Bezugsfläche auf die Aperturfläche (A_{Ap}) als Bezugsfläche erfolgt durch das Flächenverhältnis A_G/A_{Ap} für die Kollektorkennwerte: $\eta_{0,b}$, a_1 , a_2 , a_5 , a_7 und a_8 .

Die Kollektorkennwerte K_d , a_4 sind flächenunabhängig und bedürfen keiner Umrechnung.

The conversion from the gross collector area (A_G) as reference area to the aperture area (A_{Ap}) as reference area is calculated by multiplication with the area ratio A_G/A_{Ap} for the collector parameters $\eta_{0,b}$, a_1 , a_2 , a_5 , a_7 and a_8 .

The collector parameters K_d , a_4 are independent from the reference area and need no conversion.

$$\eta_{0,b}(A_{Ap}) = \eta_{0,b}(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

$$a_1(A_{Ap}) = a_1(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

$$a_2(A_{Ap}) = a_2(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

$$a_5(A_{Ap}) = a_5(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

$$a_7(A_{Ap}) = a_7(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

$$a_8(A_{Ap}) = a_8(A_G) \frac{A_G}{A_{Ap}}$$

(A_{Ap}) steht hierbei für den auf die Aperturfläche bezogenen Kollektorkennwert und (A_G) für den auf die Brutto-Kollektorfläche bezogenen Kollektorkennwert.

(A_{Ap}) represents the collector parameter based on aperture area and (A_G) represents the collector parameter based on gross area.

Spezifische Nutzenergie des Kollektors:

Specific useful energy extracted from the collector:

$$\dot{Q} = A_G \left[\eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_3 u'(\vartheta_m - \vartheta_a) \right. \\ \left. + a_4(E_L - \sigma T_a^4) - a_5 \left(\frac{d\vartheta_m}{dt} \right) - a_6 u' G - a_7 u'(E_L - \sigma T_a^4) - a_8(\vartheta_m - \vartheta_a)^4 \right]$$

mit/*with*

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

Bezugsfläche, Brutto-Kollektorfläche, Aperturfläche <i>Reference area, gross area, aperture area</i>	A, A_G, A_{Ap} [m²]	$A_G = 2.02$	$A_{Ap} = 1.83$
		Bezug A_G <i>Based on</i> <i>A_G</i>	Bezug A_{Ap} <i>Based on</i> <i>A_{Ap}</i>
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.739	0.816
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.978	0.978
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m²K)]	3.387	3.739
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m²K²)]	0.009	0.010
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	a_3 [J/(m³K)]	0	0
Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>	a_4 [-]	0	0
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	a_5 [J/(m²K)]	9756	10769
Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency</i>	a_6 [s/(m)]	0	0
Windabhängiger Strahlungsaustauschkoeffizient <i>wind speed dependence or IR radiation exchange</i>	a_7 [s/m]	0	0
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a_8 [W/m²K⁴]	0	0

Einfallswinkel-Korrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke

Incidence angle modifier of the beam solar irradiance

Einfallswinkel θ <i>incident angle θ</i>	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_b(\theta_L, 0)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.62	0.31	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.62	0.31	0.00

Anhang D: Nomenklatur*Annex D: Symbols and Units*

A_G	[m ²]	Brutto-Kollektorfläche / <i>gross area of collector</i>
A_{Ap}	[m ²]	Aperturfläche / <i>aperture area of collector</i>
a	[(mbar h ²)/l ²]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
b	[(mbar h)/l]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
a_1	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$ <i>heat loss coefficient at $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$</i>
a_2	[W/(m ² K ²)]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>
a_3	J/(m ³ K)	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>
a_4	-	Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>
a_5	[kJ/(m ² K)]	effektive spezifische Wärmekapazität des Kollektors <i>effective specific heat capacity of the collector</i>
a_6	s/m	Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence in zero loss efficiency</i>
a_7	s/m	Windabhängiger Strahlungsaustauschkoeffizient <i>wind speed dependence or IR radiation exchange</i>
a_8	W/m ² K ⁴	Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>
E_L	[W/m ²]	langwellige Strahlung ($\lambda > 3 \mu\text{m}$) / <i>long wave irradiance ($\lambda > 3 \mu\text{m}$)</i>
$\eta_{0,b}$	[-]	Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G_b <i>peak collector efficiency based on beam irradiance G_b</i>
$\eta_{0,hem}$	[-]	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>
$K_b(\theta_L, \theta_T)$	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of beam solar irradiance</i>
$K_b(\theta_L, 0)$	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke (longitudinal) <i>incident angle modifier of beam solar irradiance (longitudinal)</i>
$K_b(0, \theta_T)$	[-]	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>
u'	[m/s]	Reduzierte Windgeschwindigkeit / <i>reduced 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]	Kollektorausstrittstemperatur / <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 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$ <i>Stefan-Boltzmann-constant $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$</i>