



Prüfbericht

Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

Test Report

Thermal Performance of a Solar Collector

**nach EN ISO 9806:2017 und
ICC 901/SRCC 100-2020**
*according to EN ISO 9806:2017 and
ICC 901/SRCC 100-2020*

Prüfbericht-Nr.: 21COL1632OEM22
Test Report No.: 21COL1632OEM22

Stuttgart, den 28.09.2023
Stuttgart, September 28th, 2023

Auftraggeber: **ZRAK SOLAR DOOEL**
client: **Brakja Beshiroski 9**
Prilep 7500
Republic of North Macedonia

Hersteller: **ZRAK SOLAR DOOEL**
manufacturer:

Typ: **Sun Panel S.001**
type:

Herstelljahr: **2021**
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	Prüfergebnisse Druckverlust 9 <i>Test Results Pressure loss</i>
4	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors 10 <i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>
5	Prüfverfahren 10 <i>Test Methods</i>
	Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen 11 <i>Annex A: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions</i>
	Anhang B: Bezug auf Aperturfläche 13 <i>Annex B: Reference to aperture area</i>
	Anhang C: Leistungskurve für weiteren Sun Panel Kollektor..... 16 <i>Annex C: Power curve for another Sun Panel collector</i>
	Anhang D: Nomenklatur 18 <i>Annex D: Symbols and Units</i>

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

Hersteller <i>manufacturer</i>	ZRAK SOLAR DOOEL Brakja Beshiroski 9 Prilep 7500 Republic of North Macedonia
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Mihajlo Topchioski Tel.: +389 48417990 email: zrakpp@yahoo.com
Typ: <i>type:</i>	Sun Panel S.001 <i>Sun Panel S.001</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	Keine Angabe <i>Not specified</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 <i>Collector</i>	
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>	26.1 kg <i>26.1 kg</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	1.32 Liter <i>1.32 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>	vernietet <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 Cu-Rohr <i>22 mm Cu tube</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>	1937 mm x 935 mm <i>1937 mm x 935 mm</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>	8 <i>8</i>
Länge eines Absorberrohres: <i>length of a single absorber tube:</i>	1937 mm <i>1937 mm</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance centre to centre between absorber tubes:</i>	105 mm <i>105 mm</i>
Länge eines Sammlerrohres: <i>length of header tube:</i>	1060 mm <i>1060 mm</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>	1960 mm x 960 mm x 3.2 mm <i>1960 mm x 960 mm x 3.2 mm</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	0.915 <i>0.915</i>
Abmessungen Apertur [L x B]: <i>aperture dimension [L x W]:</i>	1942 mm x 960 mm <i>1942 mm x 960 mm</i>
Oberflächenstruktur innen/außen: <i>surface characteristics inside/outside:</i>	matt / matt <i>matt / matt</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>	IZOCAM <i>IZOCAM</i>	IZOCAM <i>IZOCAM</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>	0.031 W/(mK) <i>0.031 W/(mK)</i>
Dichte: <i>density:</i>	25 kg/m ³ <i>25 kg/m³</i>	60 kg/m ³ <i>60 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>	Wasser-Frostschutz-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 Sun Panel S.001 sowie für den baugleichen Kollektor Sun Panel S.002.

The test report is valid for collector type Sun Panel S.001 as specified above as well as for the collector Sun Panel S.002 identical in construction.

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*

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

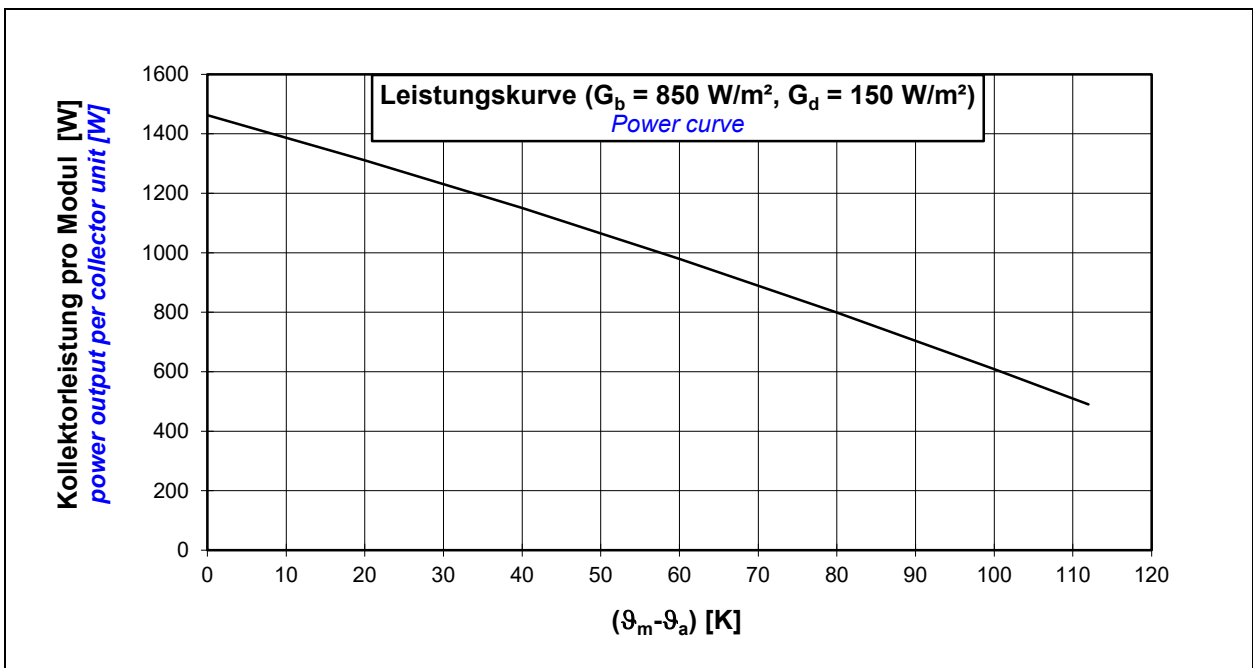
	Einheit <i>unit</i>	Wert <i>value</i>	σ^*
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.725	0.003
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.989	0.015
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m ² K)]	3.623	0.135
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m ² K ²)]	0.006	0.002
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	a_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>	a_4 [-]	0	-
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	a_5 [J/(m ² K)]	13660	440
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/m ² K ⁴]	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	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00
σ^*	-	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.03	-	-
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00
σ^*	-	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.03	-	-

Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung <i>($\vartheta_m - \vartheta_a$)_{max}:</i>	82 K
<i>maximum temperature difference during test ($\vartheta_m - \vartheta_a$)_{max}:</i>	82 K
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):	1462 W
<i>peak power per collector unit \dot{Q}_{peak}</i> <i>($G_b = 850 \text{ W/m}^2$, $G_d = 150 \text{ W/m}^2$, ($\vartheta_m - \vartheta_a$) = 0):</i>	1462 W



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	579	1021	1462
20	428	870	1311
40	267	709	1150
60	97	538	979
80	0 *)	358	799
100	0 *)	168	609
112	0 *)	49	490

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;">3.6395 E-05</div>
b [(mbar h)/l]	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0.00208</div>

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

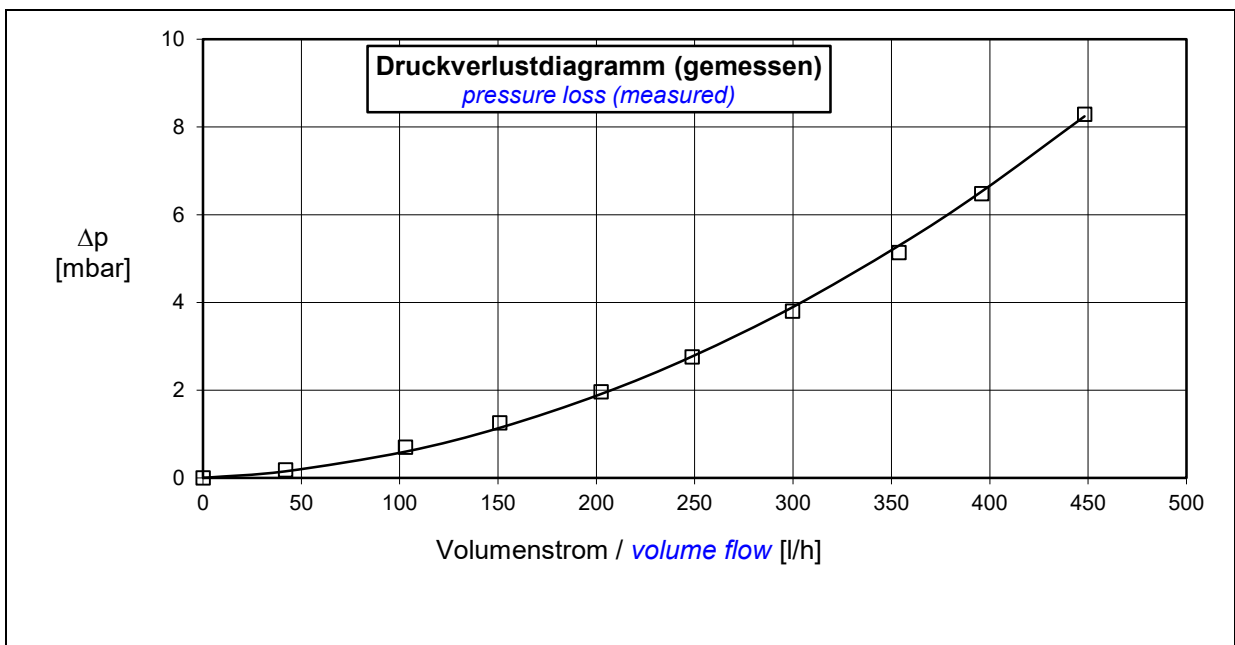


Tabelle der aufgenommenen Messwerte

Table of measuring data

Volumenstrom [l/h] <i>volume flow</i>	0.0	41.8	102.9	150.8	202.3	248.7	299.7	353.7	395.9	448.1	487.8
Druckverlust [mbar] <i>pressure loss</i>	0.0	0.2	0.7	1.3	2.0	2.8	3.8	5.1	6.5	8.3	9.8

4 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

Keine Auffälligkeiten

Nothing particular

5 Prüfverfahren

Test Methods

Die Prüfung der Wärmeleistung erfolgte im Außentest nach EN ISO 9806:2017 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" und ICC 901/SRCC 100-2020 unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 44 °. Als Wärmeträger wurde Wasser mit einem spezifischen Massenstrom von 72 kg/(m²h) verwendet.

The thermal performance test was carried out outdoors according to EN ISO 9806:2017 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods“ and ICC 901/SRCC 100-2020 under quasi-dynamic conditions and a collector tilt angle of 44 °.

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: 26.08.2021

Arrival of test sample:

Interne Kennzeichnung des Prüflings: C1632

Internal identification of test sample: C1632


Prüfzeitraum: 08.09.2021 – 25.10.2021

Test period:

Prüfer: F. Sansonnens, Dipl.-Ing. (FH) C. Twerdy

Test engineer:

Stuttgart, den 28.09.2023


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

Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen

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

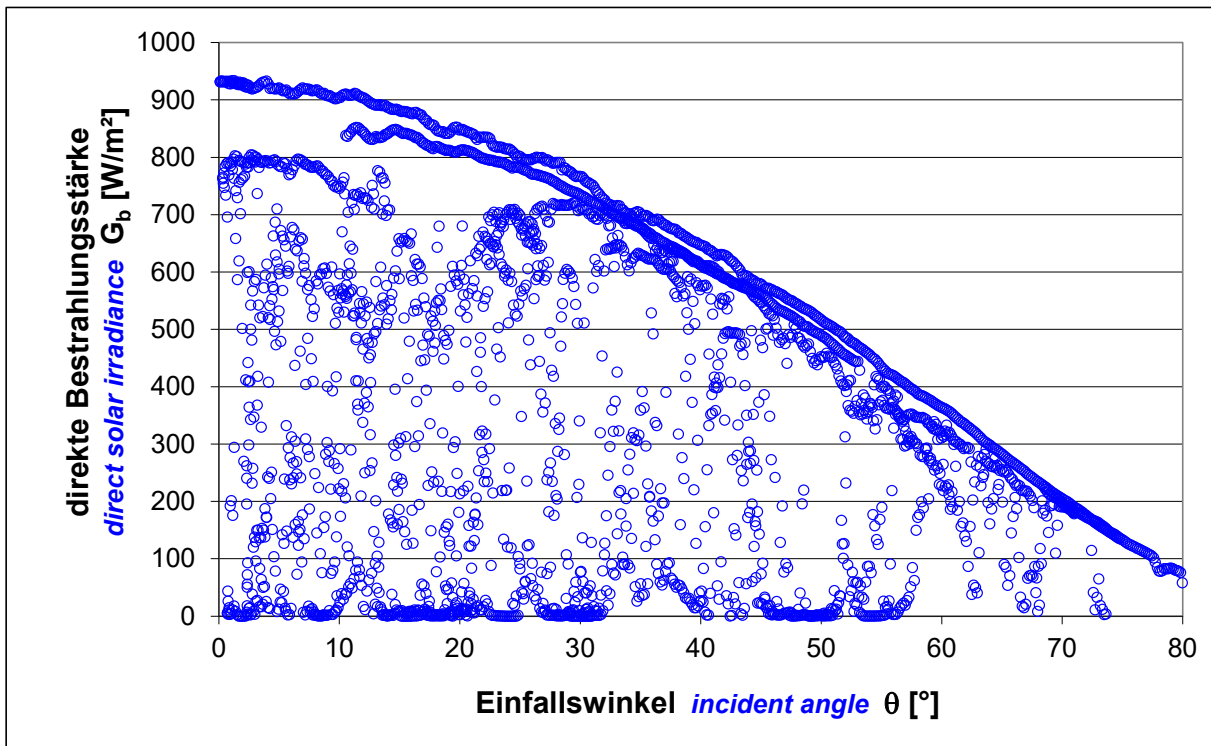


Abbildung A.1: Direkte Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Einfallswinkel
Figure A.1: Direct solar irradiance for different incident angles

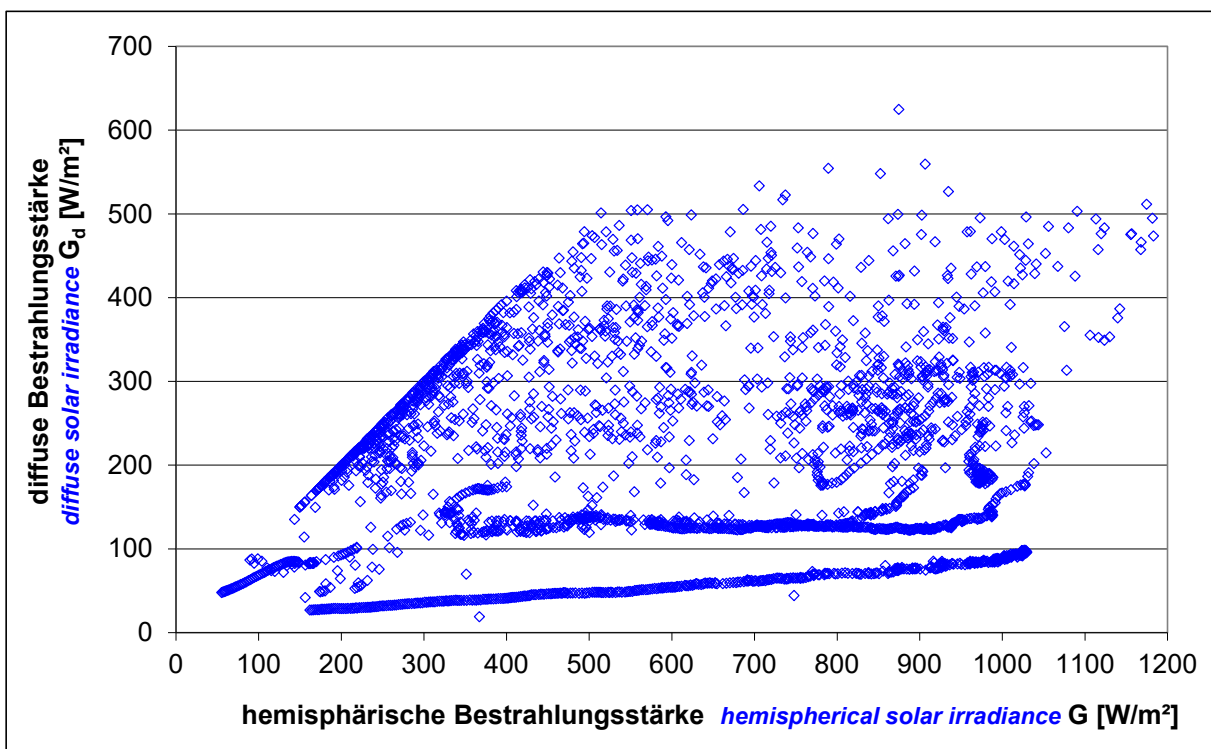


Abbildung A.2: Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke
Figure A.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance

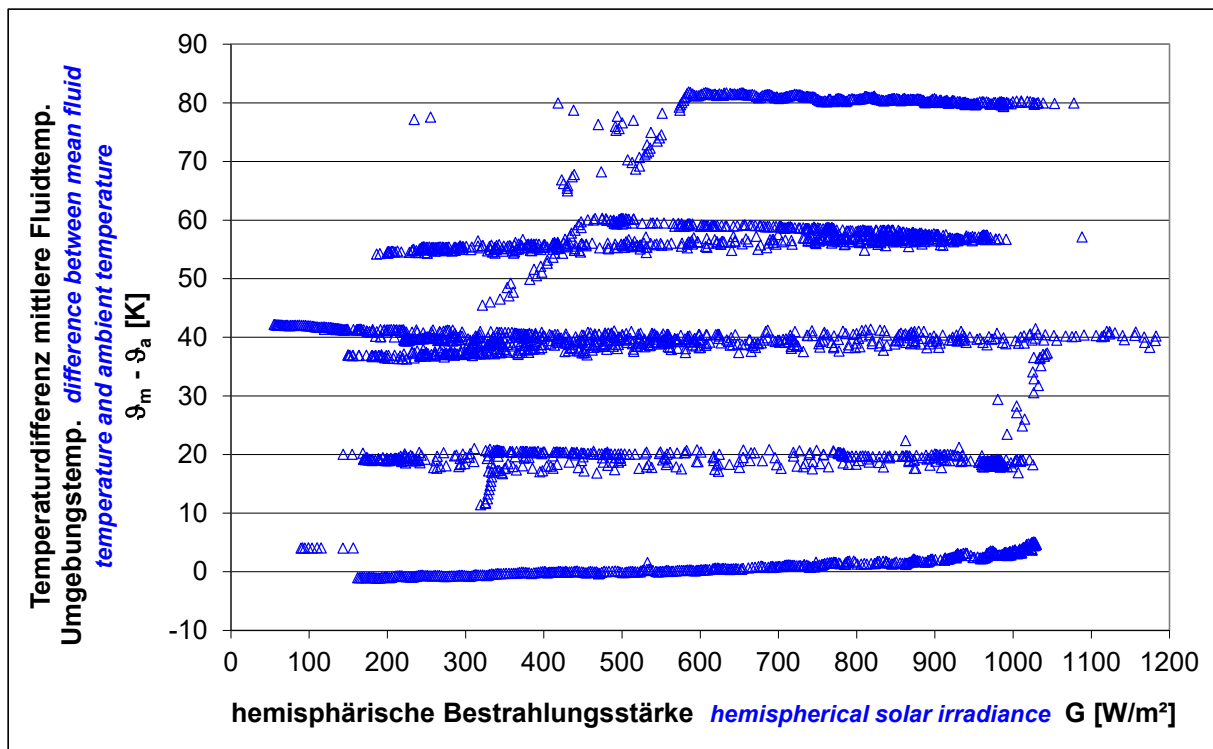


Abbildung A.3: Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

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

Anhang B: Bezug auf Aperturfläche

Annex B: 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 and 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} [m ²]	A_G = 2.02	A_{Ap} = 1.83
		Bezug A_G Based on A_G	Bezug A_{Ap} Based on A_{Ap}
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.725	0.800
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.989	0.989
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m ² K)]	3.623	3.999
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m ² K ²)]	0.006	0.007
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	a_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>	a_4 [-]	0	-
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	a_5 [J/(m ² K)]	13660	15078
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/m ² K ⁴]	0	-

Einfallswinkel-Korrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) • Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) Pfaffenwaldring 6 • 70550 Stuttgart

Tel. +49(0)711/685-63536 • Fax +49(0)711/685-63503 • e-mail: tzs@itw.uni-stuttgart.de

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	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00

Anhang C: Leistungskurve für Sun Panel S.002

Annex C: Power curve for Sun Panel S.002

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*

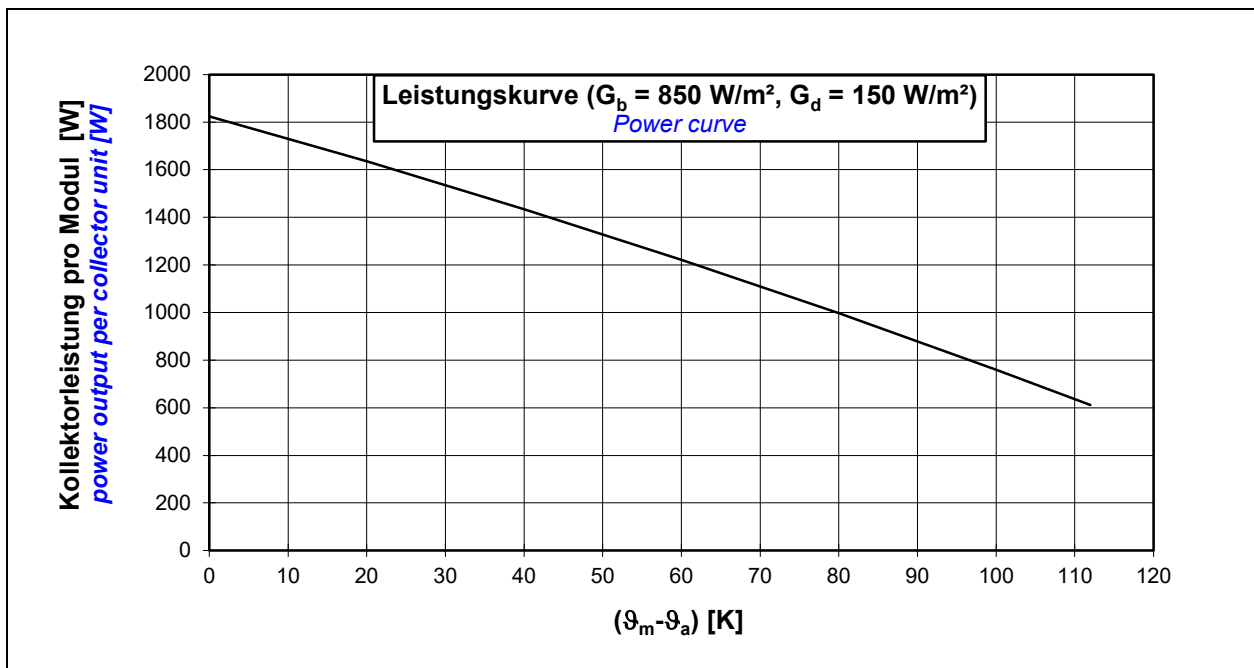
$$K_b(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L, 0) \cdot K_b(0, \theta_T)$$

	Einheit <i>unit</i>	Wert <i>value</i>
Brutto-Kollektorfläche <i>gross area of collector</i>	A_G [m²]	2.52
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	η_{0,b} [-]	0.725
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.989
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a₁ [W/(m²K)]	3.623
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a₂ [W/(m²K²)]	0.006
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>	a₃ [J/(m³K)]	0
Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>	a₄ [-]	0
effektive spezifische Wärmekapazität <i>effective specific thermal capacity</i>	a₅ [J/(m²K)]	13660
Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency</i>	a₆ [s/(m)]	0
Windabhängiger Strahlungsaustauschkoeffizient <i>wind speed dependence or IR radiation exchange</i>	a₇ [s/m]	0
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a₈ [W/m²K⁴]	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	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.87	0.63	0.32	0.00

Peakleistung pro Kollektormodul \dot{Q}_{peak} 1824 W ($G_b = 850 \text{ W/m}^2$, $G_d = 150 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$): <i>peak power per collector unit \dot{Q}_{peak}</i> 1824 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	723	1274	1824
20	534	1085	1635
40	333	884	1435
60	121	671	1222
80	0 *)	447	997
100	0 *)	209	760
112	0 *)	61	612

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.*

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>
a₁	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient bei (ϑ _m - ϑ _a) = 0 <i>heat loss coefficient at (ϑ_m - ϑ_a) = 0</i>
a₂	[W/(m ² K ²)]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>
a₃	J/(m ³ K)	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>wind speed dependent heat loss coefficient</i>
a₄	-	Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste <i>factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses</i>
a₅	[kJ/(m ² K)]	effektive spezifische Wärmekapazität des Kollektors <i>effective specific heat capacity of the collector</i>
a₆	s/m	Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors <i>coefficient for calculation of wind dependence in zero loss efficiency</i>
a₇	s/m	Windabhängiger Strahlungsaustauschkoeffizient <i>wind speed dependence or IR radiation exchange</i>
a₈	W/m ² K ⁴	Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</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>
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]	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 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m ² K ⁴) <i>Stefan-Boltzmann-constant $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m²K⁴)</i>