

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.: 23COL1699OEM02
Test Report No.: 23COL1699OEM02

Stuttgart, den 07.01.2025
Stuttgart, January 7th, 2025

Auftraggeber: <i>client:</i>	ASOTEC Alternativ- und Solartechnik GmbH Mittelstandspark 22 57627 Hachenburg Deutschland
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	ASOTEC Alternativ- und Solartechnik GmbH
Typ: <i>type:</i>	Blackline 2.02 quer
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2023

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 Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen	10
	<i>Annex A: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions</i>	
	Anhang B: Bezug auf Aperturfläche	12
	<i>Annex B: Reference to aperture area</i>	
	Anhang C: Leistungskurven für weitere Blackline Kollektoren	15
	<i>Annex C: Power curves for other Blackline collectors</i>	
	Anhang D: Nomenklatur	19
	<i>Annex D: Symbols and Units</i>	

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

Hersteller <i>manufacturer</i>	ASOTEC Alternativ- und Solartechnik GmbH Mittelstandspark 22 57627 Hachenburg Deutschland
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Edgar Wolf Tel.: +49 (0)2662-94470-0 email: e.wolf@asotec.de
Typ: <i>type:</i>	Blackline 2.02 quer <i>Blackline 2.02 quer</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>	2023 <i>2023</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>	1168 mm <i>1168 mm</i>
Breite: <i>width:</i>	1728 mm <i>1728 mm</i>
Höhe: <i>height:</i>	83 mm <i>83 mm</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	29 kg <i>29 kg</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	1.2 Liter <i>1.2 litres</i>
Material Seitenwand/Rahmen: <i>material side wall/frame:</i>	Aluminium EN AW 6060 <i>aluminium EN AW 6060</i>
Material Rückwand: <i>material back sheet:</i>	Aluminium EN AW-1050A <i>aluminium EN AW-1050A</i>
Verbindungsart der Rahmenteile: <i>frame fastening method:</i>	2K Kleber <i>2K adhesive</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach, Flachdach, dachintegriert <i>on roof, flat roof, roof integrated</i>
Anzahl Anschlüsse: <i>number of connections:</i>	2 <i>2</i>
Ausführung Anschlüsse: <i>realisation of connections:</i>	1x 1" IG, 1x 1" AG <i>1x 1" internal thread, 1x 1" external thread</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>	hochselektiv <i>highly 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>harpr</i>
Abmessungen Absorber [L x B]: <i>dimension absorber [L x W]:</i>	1110 mm x 1670 mm <i>1110 mm x 1670 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>	11 <i>11</i>
Länge eines Absorberrohres: <i>length of a single absorber tube:</i>	1574 mm <i>1574 mm</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance centre to centre between absorber tubes:</i>	96 mm <i>96 mm</i>
Länge eines Sammlerrohres: <i>length of header tube:</i>	1153 mm <i>1153 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr: <i>dimension of the header tube:</i>	22.0 x 0.8 mm <i>22.0 x 0.8 mm</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl: <i>number:</i>	1 <i>1</i>
Material: <i>material:</i>	Flachglas, temperiert <i>float glass, tempered</i>
Länge x Breite x Dicke: <i>length x width x thickness:</i>	1140 mm x 1700 mm x 3.2 mm <i>1140 mm x 1700 mm x 3.2 mm</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	≥ 0.895 <i>≥ 0.895</i>
Abmessungen Apertur [L x B]: <i>aperture dimension [L x W]:</i>	1118 mm x 1678 mm <i>1118 mm x 1678 mm</i>
Oberflächenstruktur innen/außen: <i>surface characteristics inside/outside:</i>	klar / klar <i>clear / clear</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

	Rückseite <i>back side</i>	seitlich <i>at the side</i>
Material: <i>material:</i>	Mineralwolle <i>mineral wool</i>	-
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>	-
Produktbezeichnung: <i>product name:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>	-
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	0.035 W/(mK) <i>0.035 W/(mK)</i>	-
Dichte: <i>density:</i>	20 kg/m ³ <i>20 kg/m³</i>	-
Dicke: <i>thickness:</i>	50 mm <i>50 mm</i>	-

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	200 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>200 °C (determined by test laboratory)</i>
maximale Betriebstemperatur: <i>maximum operation temperature:</i>	200 °C <i>200 °C</i>
max. zulässiger Betriebsdruck: <i>maximum operation pressure:</i>	10 bar <i>10 bar</i>
Zulässiger Wärmeträger: <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Wasser / Frostschutzmittel <i>water / anti-freeze</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	60 kg/h <i>60 kg/h</i>

Gültigkeit

Validity:

Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp Blackline 2.02 quer sowie für die baugleichen Kollektoren Blackline 2.02 und Blackline 2.51 quer.

The test report is valid for collector type Blackline 2.02 quer as specified above as well as for the collectors Blackline 2.02 and Blackline 2.51 quer 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>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.713	0.008
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.965	0.013
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m²K)]	2.927	0.085
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m²K²)]	0.022	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)]	12510	388
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]	-	-
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a_8 [W/m²K⁴]	-	-

* 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	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00
σ^*	-	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.02	-	-
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00
σ^*	-	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.02	-	-

Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung

73 K

$(\vartheta_m - \vartheta_a)_{\max}$:

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

73 K

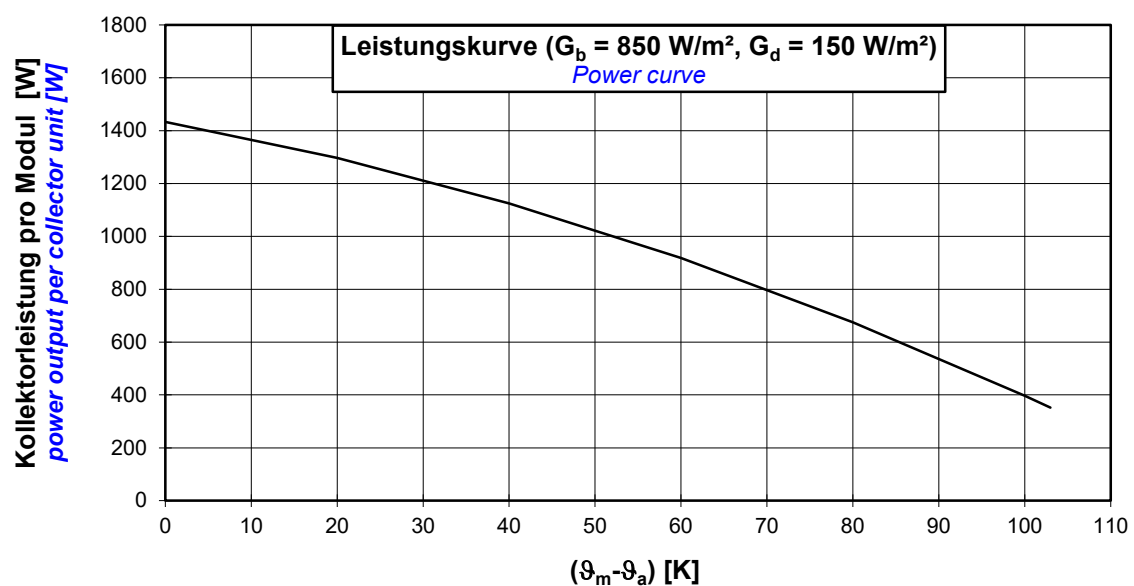
**Peakleistung pro Kollektormodul $\dot{Q}_{\text{peak}}$
 $(G_b = 850 \text{ W/m}^2, G_d = 150 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0)$:**

1433 W

peak power per collector unit $\dot{Q}_{\text{peak}}$

1433 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	556	995	1433
20	420	859	1297
40	248	687	1125
60	41	480	918
80	0 *)	238	675
100	0 *)	0 *)	397
103	0 *)	0 *)	352

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.*

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" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 38.0 °.
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“ under quasi-dynamic conditions and a collector tilt angle of 38.0 °. 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.*

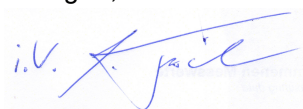
Eingang Prüfling: 20.02.2023
Arrival of test sample:

Interne Kennzeichnung des Prüflings: C1699
Internal identification of test sample: *C1699*

Prüfzeitraum: 16.06.2023 – 07.07.2023
Test period:

Prüfer: Dipl.-Ing. (FH) C. Twerdy
Test engineer:

Stuttgart, den 07.01.2025



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

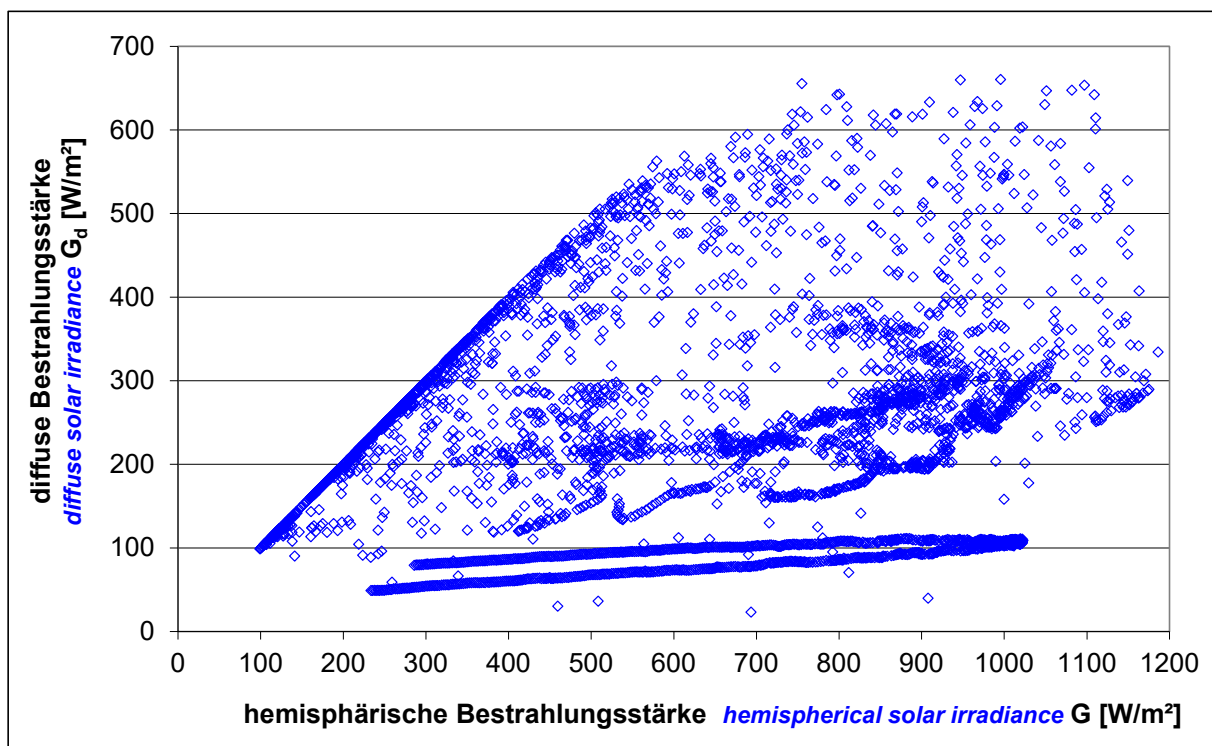


Abbildung A.2: Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke
Figure A.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance

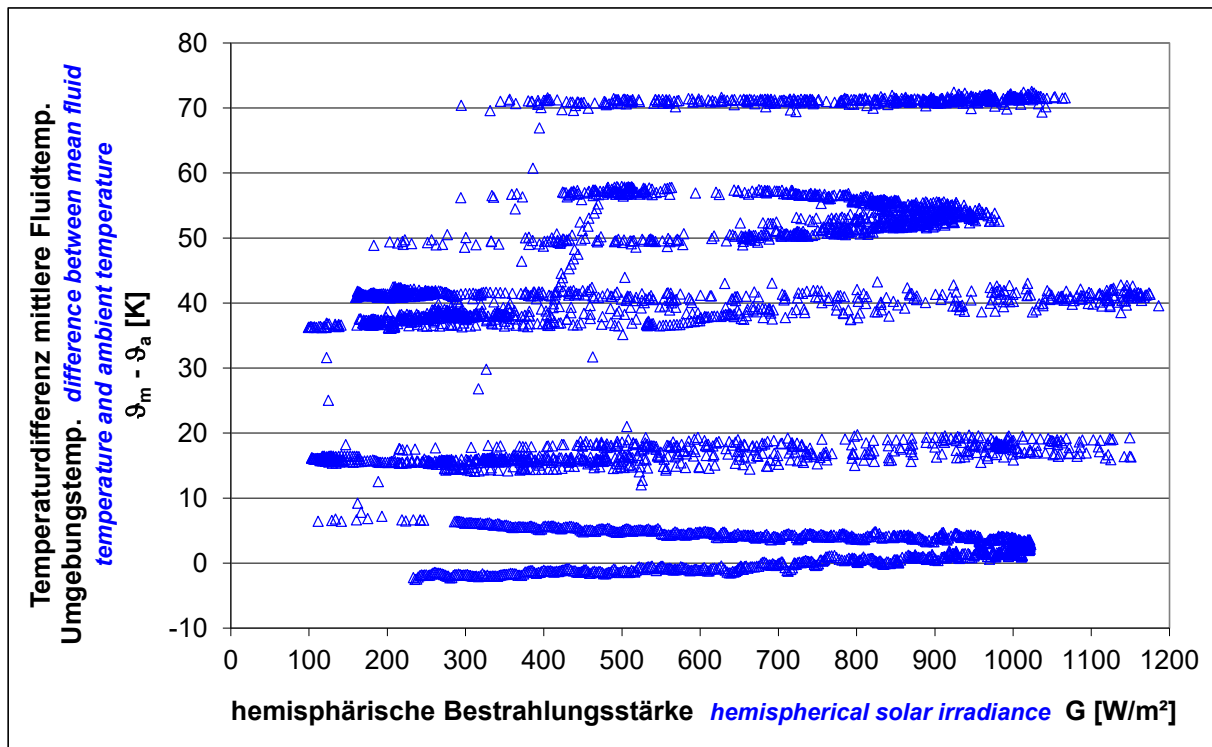


Abbildung A.3: Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

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} = 1.88
		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>	$\eta_{0,b}$ [-]	0.713	0.766
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.965	0.965
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a_1 [W/(m ² K)]	2.927	3.145
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a_2 [W/(m ² K ²)]	0.022	0.024
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)]	12510	13442
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]	-	-
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a_8 [W/m ² K ⁴]	-	-

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	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00

Anhang C1: Leistungskurve für Blackline 2.51 und Blackline 2.51. quer

Annex C1: Power curve for Blackline 2.51 and Blackline 2.51. quer

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*

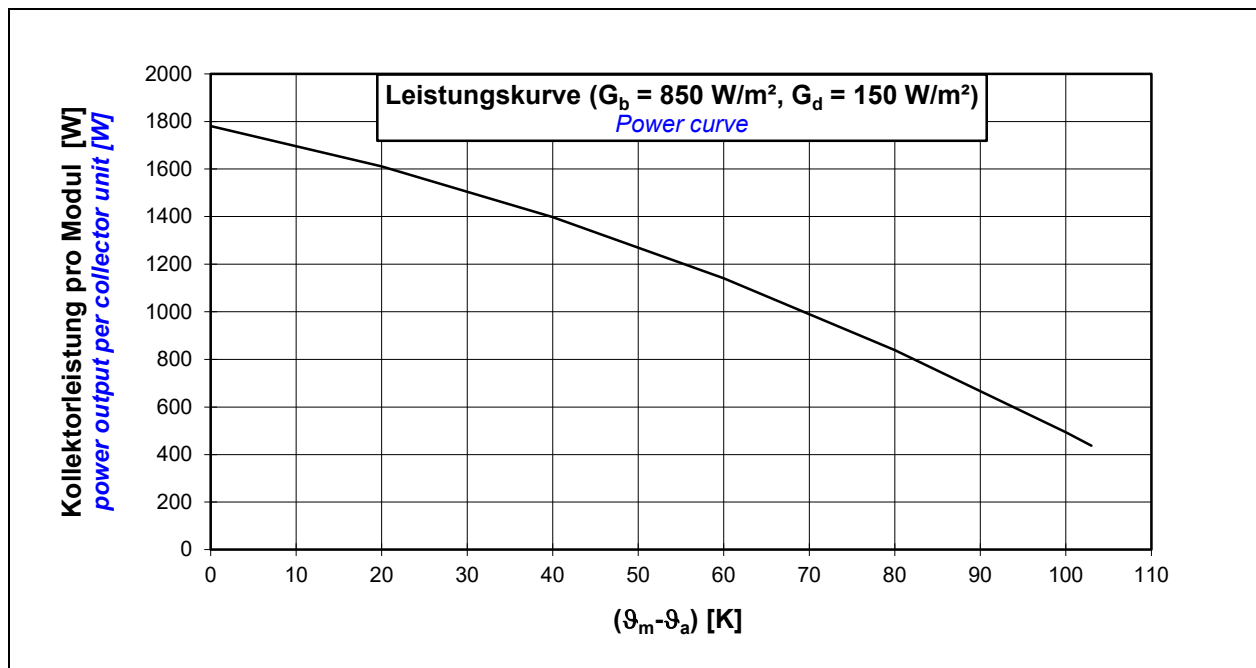
$$K_b(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L, 0) \cdot K_b(0, \theta_T)$$

	Einheit <i>unit</i>	Wert <i>value</i>
Brutto-Kollektorfläche <i>gross area of collector</i>	A_G [m²]	2.51
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	η_{0,b} [-]	0.713
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.965
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a₁ [W/(m²K)]	2.927
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a₂ [W/(m²K²)]	0.022
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)]	12510
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]	-
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a₈ [W/m²K⁴]	-

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	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00

Peakleistung pro Kollektormodul $\dot{Q}_{\text{peak}}$ 1780 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 $\dot{Q}_{\text{peak}}$ 1780 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 / Irradiance		
	$G_b = 0 \text{ W/m}^2$ $G_d = 400 \text{ W/m}^2$	$G_b = 440 \text{ W/m}^2$ $G_d = 260 \text{ W/m}^2$	$G_b = 850 \text{ W/m}^2$ $G_d = 150 \text{ W/m}^2$
0	691	1236	1780
20	522	1067	1611
40	309	854	1398
60	51	597	1141
80	0 *)	295	839
100	0 *)	0 *)	493
103	0 *)	0 *)	438

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 C.2: Leistungskurve für Blackline 2.02

Annex C.2: Power curve for Blackline 2.02

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*

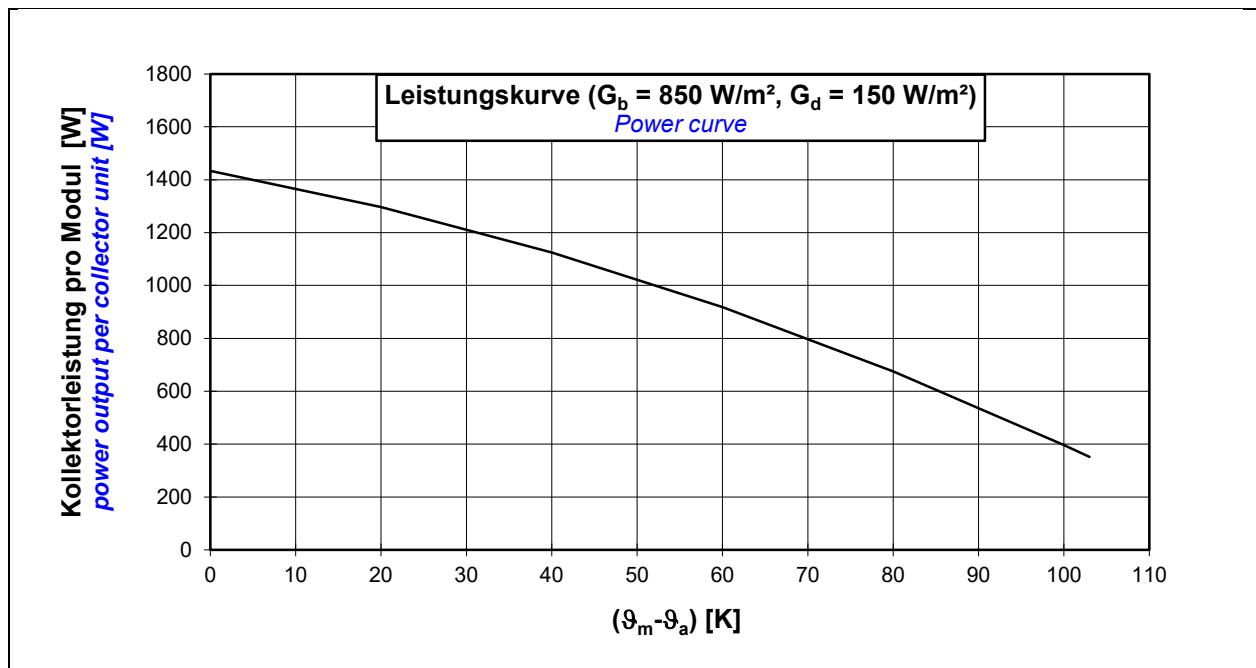
$$K_b(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L, 0) \cdot K_b(0, \theta_T)$$

	Einheit <i>unit</i>	Wert <i>value</i>
Brutto-Kollektorfläche <i>gross area of collector</i>	A_G [m²]	2.02
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke <i>peak collector efficiency based on beam irradiance</i>	η_{0,b} [-]	0.713
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung <i>incidence angle modifier for diffuse radiation</i>	K_d [-]	0.965
Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat loss coefficient</i>	a₁ [W/(m²K)]	2.927
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependent heat loss coefficient</i>	a₂ [W/(m²K²)]	0.022
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)]	12510
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]	-
Koeffizient zur Berechnung der Strahlungswärmeverluste <i>coefficient for radiation losses</i>	a₈ [W/m²K⁴]	-

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	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00
$K_b(0, \theta_T)$:	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.88	0.69	0.35	0.00

Peakleistung pro Kollektormodul $\dot{Q}_{\text{peak}}$ 1433 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 $\dot{Q}_{\text{peak}}$ 1433 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	556	995	1433
20	420	859	1297
40	248	687	1125
60	41	480	918
80	0 *)	238	675
100	0 *)	0 *)	397
103	0 *)	0 *)	352

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.*

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

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	[J/(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 (u' = u - 3 m/s) / <i>reduced surrounding air speed (u' = u - 3 m/s)</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 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$ <i>Stefan-Boltzmann-constant $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$</i>