FORSCHUNGS- UND TESTZENTRUM FÜR SOLARANLAGEN
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Universität Stuttgart

in Kooperation mit
SWT TECHNOLOGIE

Prüfbericht
Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

Test Report
Thermal Performance of a Solar Collector

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

Prüfbericht-Nr.: 15COL1285
Test Report No.: 15COL1285

Stuttgart, den 17.07.2015
Stuttgart, July 17th, 2015

Auftraggeber: *client:*	**Ernst Schweizer AG, Metallbau** **Geschäftsbereich Sonnenenergie-Systeme** **Bahnhofplatz 11** **CH-8908 Hedingen**
Hersteller: *manufacturer:*	**Ernst Schweizer AG, Metallbau**
Typ: *type:*	**FK2-XS H4**
Herstelljahr: *year of production:*	**2015**

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) • 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

Inhaltsverzeichnis
Table of Contents

1 Beschreibung des Sonnenkollektors 3
Solar Collector Description

2 Prüfergebnisse Wärmeleistung 6
Test Results Thermal Performance

3 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors 8
Test Occurrences and Operating Behaviour

4 Prüfverfahren 8
Test Methods

Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen 9
Annex A: Measured Data of Outdoor Test under Quasi-Dynamic Conditions

Anhang B: Nomenklatur 11
Annex B: Symbols and Units

1 Beschreibung des Sonnenkollektors (gemäß Herstellerangaben)

Solar Collector Description (acc. to manufacturer)

Hersteller *manufacturer*	Ernst Schweizer AG, Metallbau Geschäftsbereich Sonnenenergie-Systeme Bahnhofplatz 11 CH-8908 Hedingen
Ansprechpartner: *contact person:*	Hanspeter Weiss Tel.: +41 44 763 62 60 Fax: +41 44 763 62 10 email: hanspeter.weiss@schweizer-metallbau.ch
Typ: *type:*	FK2-XS H4 *FK2-XS H4*
Herstellernummer: *serial no.:*	12012952 *12012952*
Serienprodukt oder Baumuster: *duplicate part or model:*	Serienprodukt *duplicate part*
Herstelljahr: *year of production:*	2015 *2015*

Kollektor

Collector

Bauart: *collector type:*	Flachkollektor *flat plate collector*
Brutto-Kollektorfläche: *gross area of collector:*	2.51 m² (von Prüflabor bestimmt) *2.51 m² (determined by test laboratory)*
Länge: *length:*	1212 mm (von Prüflabor bestimmt) *1212 mm (determined by test laboratory)*
Breite: *width:*	2070 mm (von Prüflabor bestimmt) *2070 mm (determined by test laboratory)*
Höhe: *height:*	68 mm (von Prüflabor bestimmt) *68 mm (determined by test laboratory)*
Gewicht: *weight:*	34 kg *34 kg*
Wärmeträgerinhalt: *heat transfer fluid content:*	1.76 Liter *1.76 litres*
Material Seitenwand/Rahmen: *material side wall/frame:*	Aluminium *aluminium*
Material Rückwand: *material back sheet:*	Aluminium *aluminium*
Verbindungsart der Rahmenteile: *frame fastening method:*	geschweißt *welded*
Einbauweise: *collector mounting:*	Aufdach, Flachdach, Fassade *on roof, flat roof, façade*
Anzahl Anschlüsse: *number of connections:*	4 *4*
Ausführung Anschlüsse: *realisation of connections:*	Messing-Überwurfmutter Innengewinde M26x1.5 *brass coupling nut, M26x1.5 inner threat*

Absorber
Absorber

Material: *material:*	Aluminiumblech und Kupferregister *aluminium sheet and copper piping*
Verbindung Fluidkanäle/Absorber: *bond between risers and fin/plate:*	lasergeschweißt *laser welded*
Dicke: *thickness:*	0.5 mm *0.5 mm*
Oberflächenbehandlung: *surface treatment:*	mirotherm *mirotherm*
Absorptionsgrad: *solar absorptance:*	0.95 *0.95*
Emissionsgrad: *emittance:*	0.05 *0.05*
Durchströmungsform: *flow pattern:*	Mäander *Meander*
Abmessungen Absorber [L x B]: *dimension absorber [L x W]:*	1148 mm x 2006 mm *1148 mm x 2006 mm*
Abmessungen Absorberrohre: *dimension absorber tubes:*	8 x 0.4 mm *8 x 0.4 mm*
Anzahl Absorberrohre: *number of absorber tubes:*	1 *1*
Länge eines Absorberrohres: *length of a single absorber tube:*	20768 mm *20768 mm*
Abstand der Absorberrohre: *distance centre to centre between absorber tubes:*	96 mm *96 mm*
Abmessungen Sammlerrohr: *dimension of the header:*	18 x 0.6 mm *18 x 0.6 mm*

Transparente Abdeckung
Transparent cover:

Anzahl: *number:*	1 *1*
Länge x Breite x Dicke: *length x width x thickness:*	1182 mm x 2040 mm x 3.2 mm *1182 mm x 2040 mm x 3.2 mm*
Transmissionsgrad: *transmittance:*	0.92 *0.92*
Abmessungen Apertur [L x B]: *aperture dimension [L x W]:*	1156 mm x 2014 mm (von Prüflabor bestimmt) *1156 mm x 2014 mm (determined by test laboratory)*
Oberflächenstruktur innen/außen: *surface characteristics inside/outside:*	satiniert / satiniert *satin / satin*

Wärmedämmung
Thermal insulation:

	Rückseite *back side*	seitlich *at the side*
Material: *material:*	Mineralwolle *mineral wool*	Steinwolle *Rock wool*
Hersteller: *manufacturer:*	Isover *Isover*	Knauf *Knauf*
Produktbezeichnung: *product name:*	U Solar 1.5 N *U Solar 1.5 N*	TSP Solar Board D15 GVB *TSP Solar Board D15 GVB*
Wärmeleitfähigkeit: *thermal conductivity:*	0.046 W/(mK) *0.046 W/(mK)*	0.040 W/(mK) *0.040 W/(mK)*
Dichte: *density:*	15 kg/m³ *15 kg/m³*	150 kg/m³ *150 kg/m³*
Dicke: *thickness:*	30 mm *30 mm*	10 mm *10 mm*

Grenzdaten
Limitations:

Stillstandstemperatur: *stagnation temperature:*	178 °C (von Prüflabor bestimmt) *178 °C (determined by test laboratory)*
maximale Betriebstemperatur: *maximum operation temperature:*	120 °C *120 °C*
max. zulässiger Betriebsdruck: *maximum operation pressure:*	6 bar *6 bar*
Zulässiger Wärmeträger: *allowed heat transfer fluid:*	40 % bis 50 % Glykol/Wasser *40 % to 50 % glycol/water*
Nenndurchfluss pro Kollektor: *nominal flow rate per collector:*	80 kg/h *80 kg/h*

Gültigkeit
Validity:

Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp FK2-XS H4.

The test report is valid for collector type FK2-XS H4 as specified above.

2 Prüfergebnisse Wärmeleistung

Test Results Thermal Performance

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

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

mit/*with*

$$K_b(\theta_L,\theta_T) = 1 - b_0\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)$$

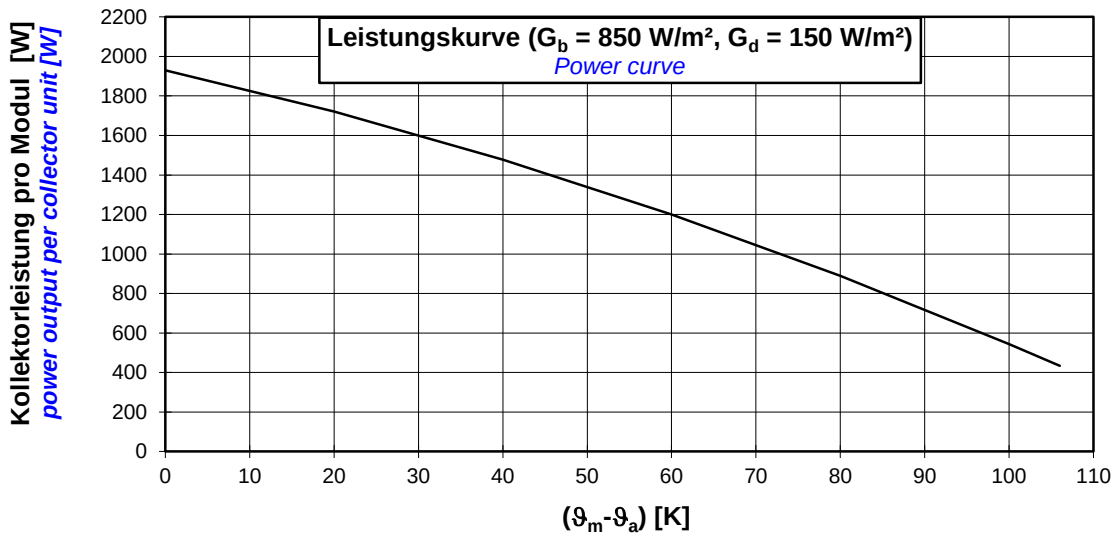
	Einheit *unit*	Wert *value*	σ*
Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke *peak collector efficiency based on beam irradiance*	$\eta_{0,b}$ [-]	**0.774**	0.002
Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung *incidence angle modifier for diffuse radiation*	K_d [-]	**0.953**	0.010
Faktor zur Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors *factor for calculation of incident angle modifier*	b_0 [-]	**0.165**	0.006
Wärmedurchgangskoeffizient *heat loss coefficient*	c_1 [W/(m²K)]	**3.819**	0.135
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient *temperature dependent heat loss coefficient*	c_2 [W/(m²K²)]	**0.017**	0.002
windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient *wind speed dependent heat loss coefficient*	c_3 [J/(m³K)]	0	-
Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste *factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses*	c_4 [-]	0	-
effektive spezifische Wärmekapazität *effective specific thermal capacity*	c_5 [J/(m²K)]	**6521**	999
Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors *coefficient for calculation of wind dependence of zero loss efficiency*	c_6 [s/(m)]	0	-

* σ: Standardabweichung / *standard deviation*

Einfallswinkel-Korrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke
Incidence angle modifier of the beam solar irradiance

Einfallswinkel θ *incident angle θ*	0	20	30	40	50	60	70	90
$K_b(\theta_L,\theta_T)$:	1	0.99	0.97	0.95	0.91	0.84	0.68	0.00

Maximale Temperaturdifferenz während der Prüfung $(\vartheta_m-\vartheta_a)_{max}$: *maximum temperature difference during test $(\vartheta_m-\vartheta_a)_{max}$:*	76 K *76 K*
Peakleistung pro Kollektormodul $\dot{Q}_{peak}$ (G_b = 850 W/m², G_d = 150 W/m², $(\vartheta_m-\vartheta_a)$ = 0): *peak power per collector unit $\dot{Q}_{peak}$ (G_b = 850 W/m², G_d = 150 W/m², $(\vartheta_m-\vartheta_a)$ = 0):*	1929 W *1929 W*



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

$\vartheta_m-\vartheta_a$ [K]	Bestrahlungsstärke / *Irradiance* G_b = 200 W/m², G_d = 200 W/m²	G_b = 440 W/m², G_d = 260 W/m²	G_b = 850 W/m², G_d = 150 W/m²
0	759	1336	1929
20	550	1127	1720
40	307	884	1477
60	30	607	1200
80	0 *)	296	889
100	0 *)	0 *)	544
106	0 *)	0 *)	434

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

Der Absorber wölbt sich zur Deckscheibe hin.
The absorber arches towards the cover plate.

4 Prüfverfahren
Test Methods

Die Prüfung der Wärmeleistung erfolgte im Außentest nach EN ISO 9806:2013 "Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen mit einer Kollektorneigung von 38 °.
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 9806:2013 „Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods" under quasi-dynamic conditions and a collector tilt angle of 38 °.
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: *Arrival of test sample:*	22.05.2015
Interne Kennzeichnung des Prüflings: *Internal identification of test sample:*	C1285 *C1285*
Prüfzeitraum: *Test period:*	29.05.2015 – 10.06.2015
Prüfer: *Test engineer:*	Dipl.-Ing. Björn Ehrismann

Stuttgart, den 17.07.2015

i.V.

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

Anhang A: Messwerte der Außenprüfung unter quasi-dynamischen Bedingungen

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

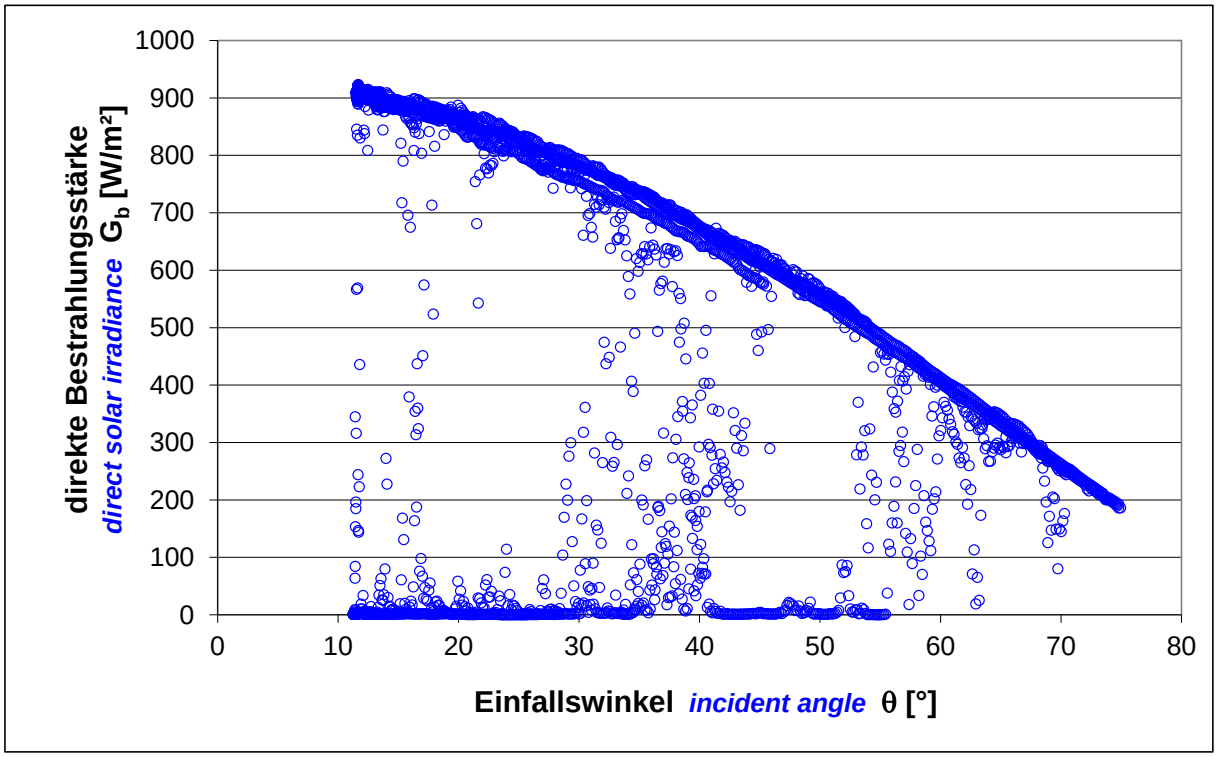


Abbildung A.1: Direkte Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Einfallswinkel
Figure A.1: Direct solar irradiance for different incident angles

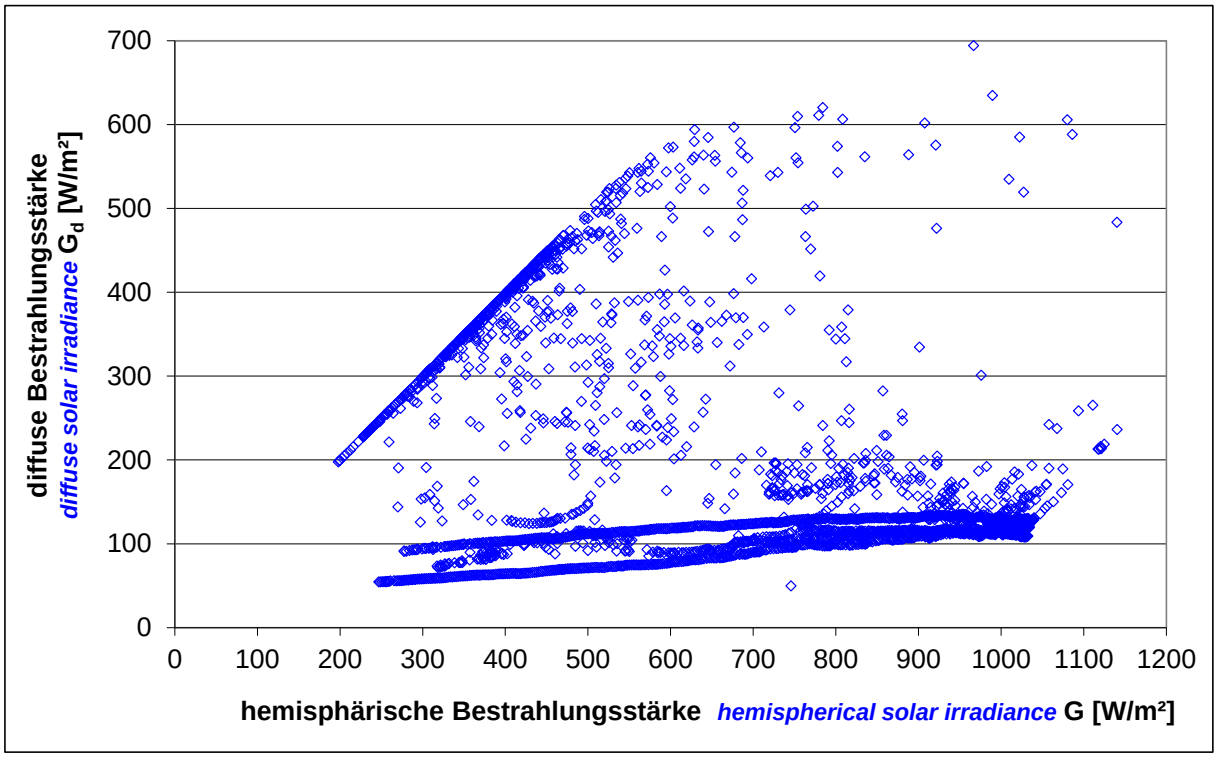


Abbildung A.2: Zusammenhang zwischen diffuser Bestrahlungsstärke und hemisphärischer Bestrahlungsstärke
Figure A.2: Relation between diffuse solar irradiance and hemispherical solar irradiance

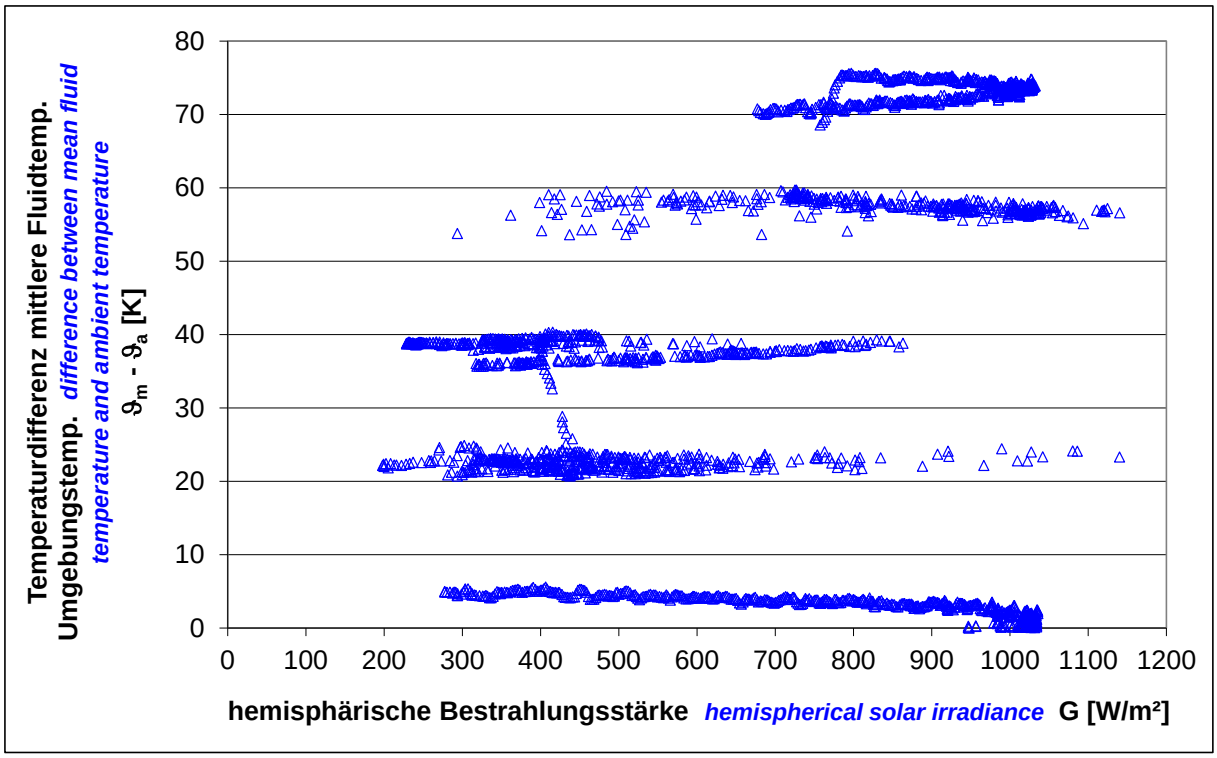


Abbildung A.3: Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur für unterschiedliche hemisphärische Bestrahlungsstärken

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

Anhang B: Nomenklatur

Annex B: Symbols and Units

A_G	[m²]	Brutto-Kollektorfläche / *gross area of collector*
a	[(mbar h²)/l²]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts *coefficient for calculation of pressure loss*
b	[(mbar h)/l]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts *coefficient for calculation of pressure loss*
b_0	[-]	Faktor zur Berechnung des Einfallwinkel-Korrekturfaktors der direkten Bestrahlungsstärke *factor for calculation of incident angle modifier of beam irradiance*
c_1	[W/(m²K)]	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$ *heat loss coefficient at $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$*
c_2	[W/(m²K²)]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient *temperature dependent heat loss coefficient*
c_3	J/(m³K)	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient *wind speed dependent heat loss coefficient*
c_4	-	Faktor zur Berechnung der von der Himmelstemperatur abhängigen Strahlungswärmeverluste *factor for calculation of sky temperature dependent radiative heat losses*
c_5	[kJ/(m²K)]	effektive spezifische Wärmekapazität des Kollektors *effective specific heat capacity of the collector*
c_6	s/m	Koeffizient zur Berechnung der Windabhängigkeit des Konversionsfaktors *coefficient for calculation of wind dependence in zero loss efficiency*
E_L	[W/m²]	langwellige Strahlung (λ > 3 µm) / *long wave irradiance (λ > 3 µm)*
$\eta_{0,b}$	[-]	Konversionsfaktor basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G_b *peak collector efficiency based on beam irradiance G_b*
$\eta_{0,hem}$	[-]	Konversionsfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G *conversion factor based on hemispherical irradiance G*
G	[W/m²]	hemisphärische Bestrahlungsstärke / *hemispherical solar irradiance*
G_b	[W/m²]	direkte Bestrahlungsstärke / *beam solar irradiance*
G_d	[W/m²]	diffuse Bestrahlungsstärke / *diffuse solar irradiance*
$K_b(\theta_L,\theta_T)$	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke *incident angle modifier of beam solar irradiance*
K_d	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der diffusen Bestrahlungsstärke *incident angle modifier of diffuse solar irradiance*
$\dot{m}$	[kg/h]	Massenstrom / *mass flow rate*
$\dot{Q}$	[W]	Kollektorleistung pro Modul / *power per collector unit*
Δp	[mbar]	Druckverlust / *pressure loss*
t	[s]	Zeit / *time*
T_a	[K]	Umgebungstemperatur / *ambient air temperature*
u	[m/s]	Windgeschwindigkeit / *surrounding air speed*
$\dot{V}$	[l/h]	Volumenstrom / *volume flow*
ϑ	[°C]	Temperatur / *temperature*
ϑ_a	[°C]	Umgebungstemperatur / *ambient air temperature*
ϑ_e	[°C]	Kollektoraustrittstemperatur / *collector outlet temperature*
ϑ_{in}	[°C]	Kollektoreintrittstemperatur / *collector inlet temperature*
ϑ_m	[°C]	mittlere Fluidtemperatur / *mean fluid temperature*
θ	[°]	Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke *incidence angle of beam solar irradiance*
σ	W/(m²K⁴)	Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m²K⁴) *Stefan-Boltzmann-constant $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m²K⁴)*