



FORSCHUNGS- UND TESTZENTRUM FÜR
SOLARANLAGEN

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Universität Stuttgart

Professor Dr. Dr.-Ing. habil. H. Müller-Steinhagen

in Kooperation mit



Prüfbericht

Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit und Wärmeleistung eines Sonnenkollektors

Test Report
Durability, Reliability and Thermal Performance
of a Solar Collector

nach EN 12975-2: 2006

according to EN 12975-2:2006

Prüfbericht-Nr.: 09COL776

Test Report No.: 09COL776

Stuttgart, den 06.08.2009

Stuttgart, August 6th, 2009

Auftraggeber:

client:

Thüsolar GmbH

Doktor-Hermann-Ludewig-Ring 2

07407 Rudolstadt

Hersteller:

manufacturer:

Thüsolar GmbH

Typ:

brand name:

Thüsol S

Herstellungsjahr:

year of production:

2009

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

1	Allgemeine Angaben.....	3
	<i>General Specifications</i>	
2	Innendruckprüfung des Absorbers	7
	<i>Internal Pressure Test for Absorber</i>	
3	Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit.....	7
	<i>High Temperature Resistance</i>	
4	Expositionstest.....	7
	<i>Exposure</i>	
5	Schneller äußerer Temperaturwechsel	8
	<i>External Thermal Shock</i>	
6	Schneller innerer Temperaturwechsel.....	8
	<i>Internal Thermal Shock</i>	
7	Berechnungsprüfung	9
	<i>Rain Penetration</i>	
8	Mechanische Belastung	9
	<i>Mechanical Load Test</i>	
9	Stagnationstemperatur	10
	<i>Stagnation Temperature</i>	
10	Endkontrolle	11
	<i>Final Inspection</i>	
11	Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen.....	11
	<i>Summary of Reliability Tests</i>	
12	Prüfergebnisse Wärmeleistung	13
	<i>Test Results Thermal Performance</i>	
13	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors	15
	<i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>	
14	Prüfverfahren	15
	<i>Test Methods</i>	
	Anhang A: Ertragsvorhersage	16
	<i>Annex A: Prediction of the Yearly Energy Gain</i>	
	Anhang B: Erklärung zu den Ergebnissen der Messungen unter quasi-dynamischen Bedingungen ...	18
	<i>Annex B: Explanation upon the Measurements under quasi-dynamic Conditions</i>	
	Anhang C: Nomenklatur	21
	<i>Annex C: Symbols and Units</i>	

1 Allgemeine Angaben (gemäß Herstellerangaben) *General Specifications (acc. to manufacturer)*

Hersteller <i>Manufacturer</i>	ThüSolar GmbH Doktor-Hermann-Ludewig-Ring 2 07407 Rudolstadt
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Jörg Thielicke Tel.: +49 3672 357 002 Fax: +49 3672 357 004 E-Mail: info@thuesolar.de
Typ: <i>type:</i>	Thüsol S <i>Thüsol S</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	220409/2, 220409/1 <i>220409/2, 220409/1</i>
Interne Kennzeichnung des Prüflabors: <i>internal identification of test laboratory:</i>	C776A, C776B <i>C776A, C776B</i>
Serienprodukt oder Baumuster: <i>serial product or model:</i>	Serienprodukt <i>serial product</i>
Herstellungsjahr: <i>year of production:</i>	2009 <i>2009</i>

Bezugsflächen <i>Dimensions of collector unit</i>	vom Prüflabor bestimmt <i>determined by test laboratory</i>
Bruttofläche: <i>gross area:</i>	2.12 m ² <i>2.12 m²</i>
Aperturfläche: <i>aperture area:</i>	1.87 m ² <i>1.87 m²</i>
Absorberfläche: <i>absorber area:</i>	1.83 m ² <i>1.83 m²</i>

Kollektor/Gehäuse <i>Technical figures</i>	
Bauart: <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
Länge: <i>length:</i>	2038 mm (vom Prüflabor bestimmt) <i>2038 mm (determined by test laboratory)</i>
Breite: <i>width:</i>	1043 mm (vom Prüflabor bestimmt) <i>1043 mm (determined by test laboratory)</i>
Höhe: <i>height:</i>	87 mm (vom Prüflabor bestimmt) <i>87 mm (determined by test laboratory)</i>
Material: <i>material:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	39 kg <i>39 kg</i>
Dichtungsmaterialien: <i>sealing material:</i>	EPDM + EGO Silicon 333 <i>EPDM + EGO silicon 333</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach, Indach, Fassade, Freiaufstellung <i>On roof, in roof, facade, free</i>

Absorber

Absorber

Material: <i>material:</i>	Kupfer <i>copper</i>
Verbindung Absorber-Fluidkanäle: <i>Joint absorber-risers:</i>	Ultraschall geschweißt <i>ultrasonic welded</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	0.2 mm <i>0.2 mm</i>
Oberflächenbehandlung: <i>surface treatment:</i>	Sunselect <i>Sunselect</i>
Absorptionsgrad: <i>absorptance:</i>	0.95 ±0.02 <i>0.95 ±0.02</i>
Emissionsgrad: <i>emittance:</i>	0.05 ±0.02 <i>0.05 ±0.02</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	1.2 Liter <i>1.2 liters</i>
Durchströmungsform: <i>flow pattern:</i>	parallel <i>parallel</i>
Abmessungen Absorberrohre: <i>dimension absorber tubes:</i>	8 x 0.5 mm <i>8 x 0.5 mm</i>
Anzahl Absorberrohre: <i>no. of absorber tubes:</i>	9 <i>9</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance between absorber tubes:</i>	100 mm <i>100 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr: <i>dimension of the header:</i>	22 x 1 mm <i>22 x 1 mm</i>
Anzahl Anschlüsse: <i>no. of connections:</i>	2 <i>2</i>
Ausführung Anschlüsse: <i>realisation of connections:</i>	22 mm Cu-Rohr <i>22 mm Cu-pipe</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl: <i>number:</i>	1 <i>1</i>
Material: <i>material:</i>	Glas <i>glass</i>
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	Shanghai Flat Gass <i>Shanghai Flat Glass</i>
Produktbezeichnung: <i>brand name:</i>	FMG Suntex <i>FMG Suntex</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	0.916 <i>0.916</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	4 mm <i>4 mm</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

	Rückseite <i>back side</i>	seitlich <i>sidewards</i>
Material: <i>material:</i>	Steinwolle <i>rock wool</i>	- -
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	Shanghai flat glass Co. Ltd. <i>Shanghai flat glass Co. Ltd.</i>	- -
Produktbezeichnung: <i>Product name:</i>	FMG suntex 3.2mm <i>FMG suntex 3.2mm</i>	- -
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	0.037 W/(mK) <i>0.037 W/(mK)</i>	- -
Wärmekapazität: <i>heat capacity:</i>	0.84 kJ/(kgK) <i>0.84 kJ/(kgK)</i>	- -
Dichte: <i>density:</i>	40 kg/m ³ <i>40 kg/m³</i>	- -
Dicke: <i>thickness:</i>	40 mm <i>40 mm</i>	- -

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	193 °C (vom Prüflabor bestimmt) <i>193 °C (determined by test laboratory)</i>
max. zul. Betriebsüberdruck: <i>max. operation pressure:</i>	6 bar <i>6 bar</i>
Zulässiger Wärmeträger: <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Tyfocor L – Wasser Gemisch 40 - 60 % <i>Tyfocor L – Water mixture 40 - 60 %</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	75 kg/h <i>75 kg/h</i>

Feststellung des Kollektors

Collector identification:

Zeichnungssatz: <i>construction characteristics:</i>	▪ Solarflachkollektor 2.0 - Zeichnung Nr. 00.007.99-9 - Datum: 13.10.1999 ▪ <i>Solarflachkollektor 2.0 - drawing no.: 00.007.99-9 - Date: Oct. 13th 1999</i>
Datenblätter: <i>technical data sheets:</i>	▪ ITW Datenblatt Kollektor ▪ Datenblatt microtherm sunselect ▪ Datenblatt Tervol SC 4 GS ▪ Liste der Verwendeten Werkstoffe ▪ <i>ITW data sheet collector</i> ▪ <i>data sheet microtherm sunselect</i> ▪ <i>data sheet Tervol SC 4 GS</i> ▪ <i>list of materials used in the collector</i>

<p>Kennzeichnung: <i>collector label:</i></p>	<p>Das Typenschild ist gut sichtbar und haltbar angebracht, und enthält alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 geforderten Angaben.</p> <p><i>The collector label is fixed visible and durable on the collector frame and includes all, according to EN 12975-1:2006, chapter 7.2 required information.</i></p>
<p>Installationsanweisung: <i>installer instruction manual:</i></p>	<ul style="list-style-type: none">▪ Thüsolar Montageanleitung – Solarkollektor “Thüsol S” - Aufdach▪ <i>Thüsolar technical manual –Solarkollektor “Thüsol S” - Aufdach</i> <p>Die Installationsanweisung muss zusätzlich die Angabe der zulässigen Wind- und Schneelast sowie des Druckverlustes beinhalten.</p> <p><i>The installer instruction manual shall contain additionally the indication of the maximum wind and snow load and the pressure drop.</i></p>

<p>Gültigkeit <i>Validity:</i></p>	<p>Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp Thüsolar S.</p> <p><i>The test report is valid for collector type Thüsolar S.</i></p>
---	---

2 Innendruckprüfung des Absorbers

Internal Pressure for Absorber

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.2.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.2.

Datum: 09.06.2009
date:

max. Betriebsdruck <i>max. operating pressure</i> [bar]	Prüfdruck <i>test pressure</i> [bar]	Prüfdauer <i>test duration</i> [min]
6	9	15

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

High Temperature Resistance

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.3.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.3.

Datum: 17.05.2009
date:

Prüfdauer <i>test duration</i> [min]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
60	1002	26

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

4 Expositionstest

Exposure

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.4.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.4.

Expositionsdauer: 24.04. - 08.06.2009 46 Tage
Duration of exposure: 46 days

Einstrahlungssumme in Kollektorebene <i>sum of global irradiation</i> [MJ/m ²]	Anzahl Tage mit mehr als 14 MJ/m ² <i>number of days with more than 14 MJ/m²</i> [d]	Niederschlagssumme <i>sum of rainfall</i> [l/m ²]	Anzahl Stunden über 850 W/m ² <i>number of hours with more than 850 W/m²</i> [h]
824	32	114	48

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

5 Schneller äußerer Temperaturwechsel

External thermal shock

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.5.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.5.

1. Prüfung: 04.05.2009

1. *Test:*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.4	12	1063	12

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 07.05.2009

2. *Test:*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.4	12	1004	21

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

6 Schneller innerer Temperaturwechsel

Internal thermal shock

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.6.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.6.

1. Prüfung: 07.05.2009

1. *test*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.6	14	921	19

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 07.05.2009

2. *test*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.6	14	998	21

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

7 Berechnungsprüfung

Rain penetration

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.7.

Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.7.

Datum: 02.06.2009

Date:

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	Prüfdauer <i>test duration</i> [h]
8.9	14	4

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

8 Mechanische Belastung

Mechanical load test

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.9.

Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.9.

8.1 Überdruckprüfung für die Kollektorabdeckung

Positive pressure test of the collector cover

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.9.1.

Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.9.1.

Datum: 15.06.2009

Date:

Die Kollektorabdeckung wurde mit einem max. Druck von 3000 Pa belastet.

The collector cover was charged with a max. pressure of 3000 Pa.

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

8.2 Unterdruckprüfung der Befestigungselemente zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse

Negative pressure test of fixings between the cover and the collector box

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Kapitel 5.9.2.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, chapter 5.9.2.

Datum: 15.06.2009
Date:

Die Kollektorabdeckung wurde mit einem maximalen Zug von 2750 Pa belastet.
The collector cover was charged with a max. tension of 2750 Pa.

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-1:2006, chapter 5.3.1

9 Stagnationstemperatur

Stagnation temperature

Bestimmung der Stagnationstemperatur nach EN 12975-2:2006 – Teil 2, Anhang C.
Determination of the stagnation temperature acc. to EN 12975-2:2006 – part 2, Annex C.

Datum: 17.05.2009
Date:

mittlere Bestrahlungsstärke G_m <i>mean irradiance</i>	mittlere Absorbertemperatur ϑ_{sm} <i>mean absorber temperature</i>	mittlere Umgebungstemperatur ϑ_{am} <i>mean ambient temperature</i>
[W/m ²]	[°C]	[°C]
1002	189	26

Ergebnis: Die Stagnationstemperatur ϑ_{stg} für die vorgeschriebenen Umgebungsbedingungen von $G_s = 1000 \text{ W/m}^2$ und $\vartheta_{as} = 30 \text{ °C}$ ergibt sich nach

Conclusion: The stagnation temperature ϑ_{stg} for the required ambient conditions $G_s = 1000 \text{ W/m}^2$ and $\vartheta_{as} = 30 \text{ °C}$ is calculated according

$$\vartheta_{stg} = \vartheta_{as} + \frac{G_s}{G_m} (\vartheta_{sm} - \vartheta_{am})$$

zu $\vartheta_{stg} = 193 \text{ °C}$
to

10 Endkontrolle

Final inspection

Zerlegung und Untersuchung des Kollektors nach Abschluss der vollständigen Prüffolge gemäß EN 12975-2:2006 – 5.11.

Dismantling and inspection of the collector after completion of the full test sequence according to EN 12975-2:2006 – 5.11.

Datum: 17.07.2009

Date:

Ergebnis: Die optische Begutachtung des Kollektors ergab keine Auffälligkeiten oder Abnormalitäten.

Conclusion: The optical expertise of the collector did not result in any abnormalities.

11 Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen

Summary of Reliability Tests

Die Prüfung des Kollektors erfolgte nach der EN 12975-2:2006 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods".

The test of the collector was performed according to EN 12975-2:2006 „thermal solar systems and components – solar collectors – part 2: test methods“.

11.1 Prüfungen

Tests

1. Innendruckprüfung des Absorbers <i>Internal pressure for absorber</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
2. Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit <i>High temperature resistance</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
3. Expositionstest <i>Exposure</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
4. Schneller äußerer Temperaturwechsel <i>External shock</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
5. Schneller innerer Temperaturwechsel <i>Internal shock</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
6. Beregnungsprüfung <i>Rain penetration</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
7. Mechanische Belastung <i>Mechanical load test</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
8. Endkontrolle <i>Final inspection</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>

11.2 Sicherheit

Safety

Die Stagnationstemperatur bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² und einer Umgebungstemperatur von 30 °C beträgt 193 °C.

The stagnation temperature at an irradiance of 1000 W/m² and an ambient temperature of 30°C reaches 193 °C.

11.3 Feststellung des Kollektors

Collector identification

Die Installationsanweisung enthält nicht alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7 geforderten Angaben (vgl. 1 Allgemeine Angaben).

The installer instruction manual does not include all, according to EN 12975-1:2006 chapter 7 required information (see 1 General Specification).

12 Prüfergebnisse Wärmeleistung

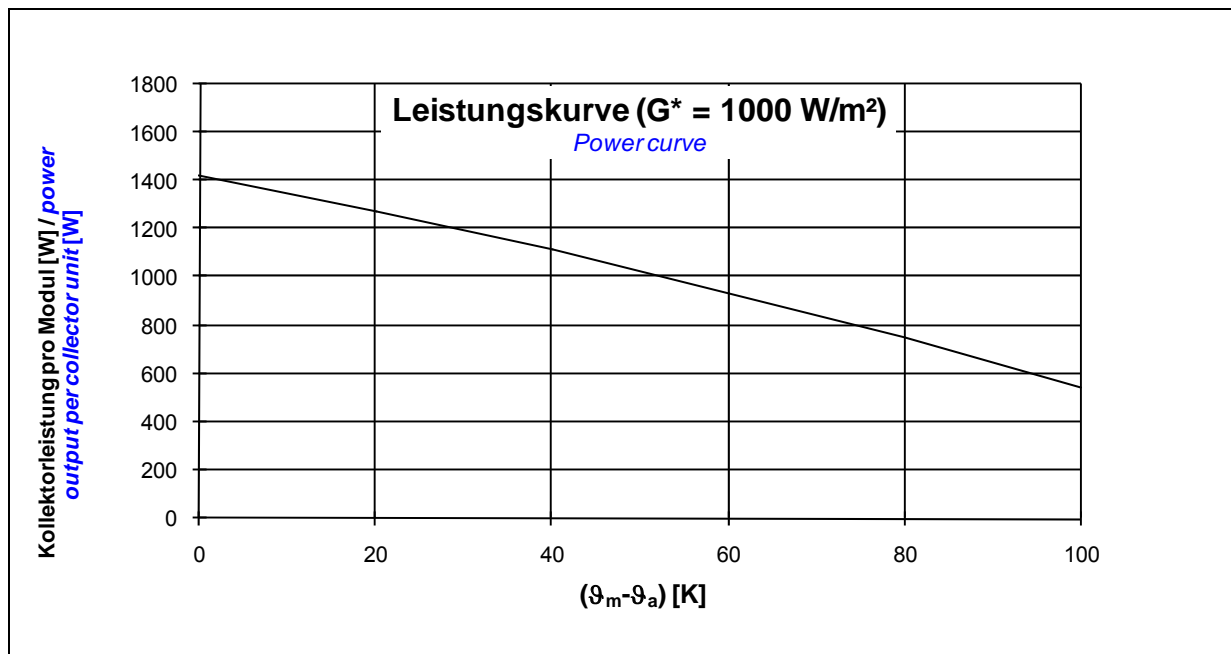
Test Results Thermal Performance

Bestimmung der Kollektorleistung:

Determination of power per collector unit:

$$\dot{Q} = A \cdot G^* \left(\eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G^*} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G^*} \right)$$

Konversionsfaktor η_0 [-] <i>conversion factor</i>	0.760
Wärmedurchgangskoeffizient a_1 [W/(m²K)] <i>heat transfer coefficient</i>	3.779
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 [W/(m²K²)] <i>temperature depending heat transfer coefficient</i>	0.009
Einfallswinkel-Korrekturfaktor $K_\theta(50^\circ)$ [-] <i>incidence angle modifier</i>	0.91
flächenbezogene Wärmekapazität c [kJ/(m²K)] <i>area related heat capacity</i>	10.54
Volumenstrom [l/(m²h)] <i>volume flow rate</i>	60
Aperturfläche pro Kollektormodul A [m²] <i>aperture area per collector unit</i>	1.87
Peakleistung [W_{peak}] pro Kollektormodul ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (T_m - T_a) = 0$) <i>peak power [$W_{peak}$] per collector unit ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (T_m - T_a) = 0$)</i>	1421



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

$\vartheta_m - \vartheta_a$ in [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	568	995	1421
20	420	847	1273
40	259	685	1112
60	84	510	937
80	0 ^{*)}	322	748
100	0 ^{*)}	120	546

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.*

13 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

keine Auffälligkeiten
nothing particular

14 Prüfverfahren

Test Methods

Die Prüfung des Kollektors erfolgte im Außentest nach der EN 12975-2:2006 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter quasi-dynamischen Bedingungen. Als Wärmeträger wurde Wasser verwendet.

Die Leistungsprüfung wurde an dem Kollektor mit der Seriennummer 220409 / 2, die Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfung an dem Kollektor mit der Seriennummer 220409 / 1 durchgeführt.

The outdoor test of the collector was carried out under quasi-dynamic conditions according to EN 12975-2:2006 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods". Water was used as heat transfer fluid.

The performance test was accomplished at the collector no. 220409 / 2, the durability and reliability test was accomplished at the collector no 220409 / 1.

Eingang Prüfling: 23.04.2009

Arrival of test sample:

Prüfzeitraum: 23.04. - 17.07.2009

Test period:

Prüfer: Dipl.-Ing. S. Fischer, M. Wild,

Test engineer: Dipl.-Ing.(FH) Claus Twerdy, Dipl.-Ing.(FH) Mark Jäger

Stuttgart, den 06.08.2009



Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. H. Müller-Steinhagen

Anhang A: Ertragsvorhersage

Annex A: Prediction of the yearly energy gain

Die Vorhersage beruht auf der Berechnung des Jahresenergieertrags des Kollektors in einer Referenzanlage zur Brauchwassererwärmung. Die Anlage ist für einen Vierpersonenhaushalt dimensioniert. Die Berechnung erfolgt für die Aperturflächen 3, 4, 5 und 6 m² sowie Referenz-Wetterdaten von Hannover, Würzburg und Stötten (Ostalb).

The prediction is based on the calculation of the yearly energy gain of the collector in a reference solar hot water system. This system is designed for a four-person-household. The calculation is done for aperture areas of 3, 4, 5 and 6 m² as well as for reference climate data of Hannover, Würzburg and Stötten (Ostalb).

Kollektorkennwerte (Bezug: Aperturfläche)								
<i>collector characteristics (based on aperture area)</i>								
<i>Konversionsfaktor</i> <i>Conversion factor</i>			<i>effektiver Wärmedurchgangskoeffizient</i> <i>heat transfer coefficient</i>			<i>flächenbezogene Wärmekapazität</i> <i>area related heat capacity</i>		
$\eta_0 = 0.760$			$a_1 = 3.779 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			$c = 10.54 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$		
			$a_2 = 0.009 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$					
<i>Einfallswinkel-Korrekturfaktoren</i> <i>Incidence angle modifier</i>								
θ	0	20	30	40	50	60	70	90
$K_{\text{ob}}(\theta)$	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.82	0.64	0.00

Berechnungsergebnisse			
<i>calculation results</i>			
<i>Standort / location</i>	Hannover	Würzburg	Stötten
<i>Einstrahlung [kWh]/(m²a)</i> <i>radiation</i>	1022	1212	1354
<i>Aperturfläche [m²]</i> <i>aperture area</i>	<i>Jährlicher Kollektorertrag¹⁾ [kWh]/(m²a)</i> <i>yearly energy gain</i>		
3	447	539	589
4	409	493	537
5	375	450	489
6	347	411	444

¹⁾ Ertrag des Kollektors ohne die Wärmeverluste in den Rohrleitungen und des Warmwasserspeichers
energy gain of the collector without heat losses in the tubes and hot water store

Systemdaten ITW Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung	
<i>System data of the ITW reference solar hot water system</i>	
Dachausrichtung: <i>roof orientation:</i>	Süd; Anstellwinkel entspricht Breitengrad <i>south; tilt angle equal to latitude</i>
Kollektoranbindung: <i>collector piping:</i>	Je 15 m Vor- und Rücklauf; Nennweite DN 16; Dämmstärke 25 mm, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ Vor- und Rücklauf befinden sich je zur Hälfte im Innen- und Außenbereich <i>15 m each to store, from store; normal width DN 16; insulation thickness 25 mm, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, one half of each pipe is located outside, the other half is located inside</i>
Speicher: <i>storage:</i>	Volumen 300 l; Wärmeverlustrate 2,2 W/K; Umgebungstemperatur 15 °C Volumen des Bereitschaftsteils 135 l; Solltemperatur 60 °C Schichtungskennzahl 100; effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit $2 \lambda_{\text{Wasser}}$ <i>volume 300 l; heat loss rate 2.2 W/K; ambient temperatur 15 °C volume auxiliary 135 l; set temperature 60 °C stratification number 100; effective vertical heat conductivity $2 \lambda_{\text{water}}$</i>
Wärmeübertrager: <i>heat exchanger:</i>	eingetauchter Wärmeübertrager, Wärmeübertragungsvermögen $(kA)_{\text{WT}}$ in [W/K]; $(kA)_{\text{WT}} = 9 \cdot A_c \cdot \vartheta_m^{0,6}$ mit A_c : Aperturfläche [m ²] ϑ_m : Mittelwert aus WT-Eintrittstemperatur und lokaler Speichertemperatur [°C] <i>immersed heat exchanger, heat transfer capacity $(kA)_{\text{WT}}$ in [W/K]; $(kA)_{\text{WT}} = 9 \cdot A_c \cdot \vartheta_m^{0,6}$ with A_c: apterture area [m²] ϑ_m: average value of heat exchanger inlet temperature and local storage temperature in [°C]</i>
Warmwasser- verbrauch: <i>hot water consumption:</i>	200 l/Tag (7 ⁰⁰ : 80 l; 12 ⁰⁰ : 40 l; 19 ⁰⁰ : 80 l); Kaltwassertemperatur 10 °C; Warmwassertemperatur 45 °C; Jahresverbrauch 2936 kWh/a <i>200 l/day (7⁰⁰: 80 l; 12⁰⁰: 40 l; 19⁰⁰: 80 l); cold water temperature 10 °C; hot water temperature 45 °C annual consumption: 2936 kWh/a</i>

Anhang B: Erklärung zu den Ergebnissen der Messungen unter quasi-dynamischen Bedingungen

Annex B: Explanation upon the Measurements under quasi-dynamic Conditions

Die unter „Prüfergebnisse Wärmeleistung“ dokumentierten Kollektorparameter wurden gemäß den Vorgaben der EN 12975-2:2006 aus den Kollektorparametern der Messungen unter quasi-dynamischen Bedingungen abgeleitet.

The collector parameters listed in "Test Results Thermal Performance" are, according to EN 12975-2:2006, derived from the collector parameters gained from measurements under quasi-dynamic conditions

Verwendetes Kollektormodell

Used collector model

Zur Auswertung der Messdaten wurde die flächenbezogene Kollektorleistung entsprechend der folgenden Gleichung nachgebildet

For evaluation of the measured data the area specific collector power was modelled according to the equation

$$\dot{q} = F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta b}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta d} G_d - c_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - c_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - c_5 \frac{d\vartheta_m}{dt}$$

mit/*with*

$$K_{\theta b} = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right)$$

Ergebnisse der Regression

Regression results

Auf Aperturfläche bezogen <i>based on the aperture area</i>	
F'($\tau\alpha$)_{en}:	0.771 [-]
b₀:	0.185 [-]
K_{θd}:	0.945 [-]
c₁:	3.779 [W/(m ² K)]
c₂:	0.009 [W/(m ² K ²)]
c₅:	10.540 [kJ/(m ² K)]

Tabelle der Einfallswinkelkorrektur der direkten Bestrahlungsstärke

Table of the incidence angle modifier of the direct solar irradiance

Einfallswinkel θ <i>incident angle θ</i>	0	20	30	40	50	60	70	90
K_{θb}(θ):	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.82	0.64	0.00

Berechnung der Kollektorparameter *Calculation of the collector parameters*

η_0 :	Konversionsfaktor / <i>zero-loss collector efficiency</i> (η_0 at $\vartheta_m - \vartheta_a = 0$) [-] $\eta_0 = F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta b}(\theta = 15^\circ) \cdot 0.85 + F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta d} \cdot 0.15$
a_1 :	Wärmedurchgangskoeffizient / <i>heat loss coefficient</i> [W/(m ² K)] $a_1 = c_1$
a_2 :	Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature dependence of the heat loss coefficient</i> [W/(m ² K ²)] $a_2 = c_2$
$K_{\theta}(50)$:	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier for hemispherical solar irradiance</i> [-] $K_{\theta}(50) = \frac{K_{\theta b}(50) \cdot 0.85 + K_{\theta d} \cdot 0.15}{1 - 0.15 + K_{\theta d} \cdot 0.15}$
c :	flächenbezogene Wärmekapazität / <i>area related heat capacity</i> [kJ/(m ² K)] $c = c_5$

Graphische Darstellung der Messwerte (6 Minuten Mittelwerte) *Graphical presentation of the measured data (6 minutes mean values)*

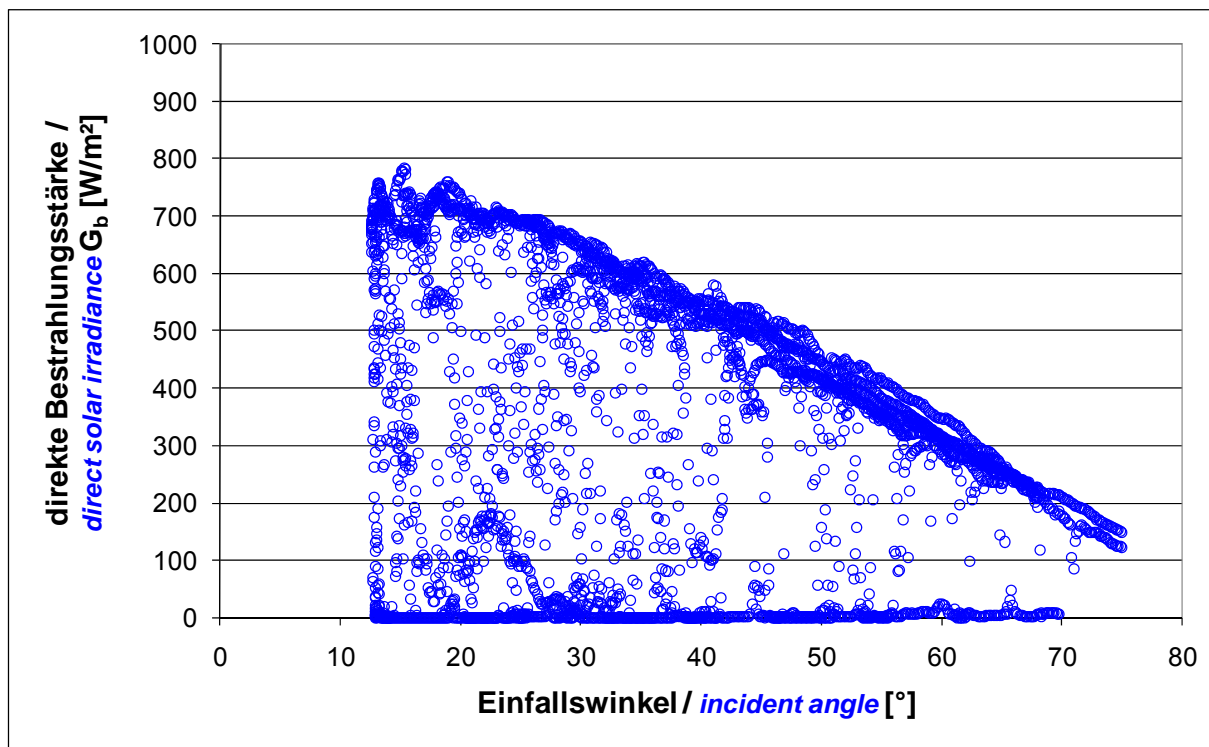


Abbildung B.1: Die direkte Bestrahlungsstärke über dem Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke

Figure B.1: the direct solar irradiance over the incident angle of the direct solar irradiance

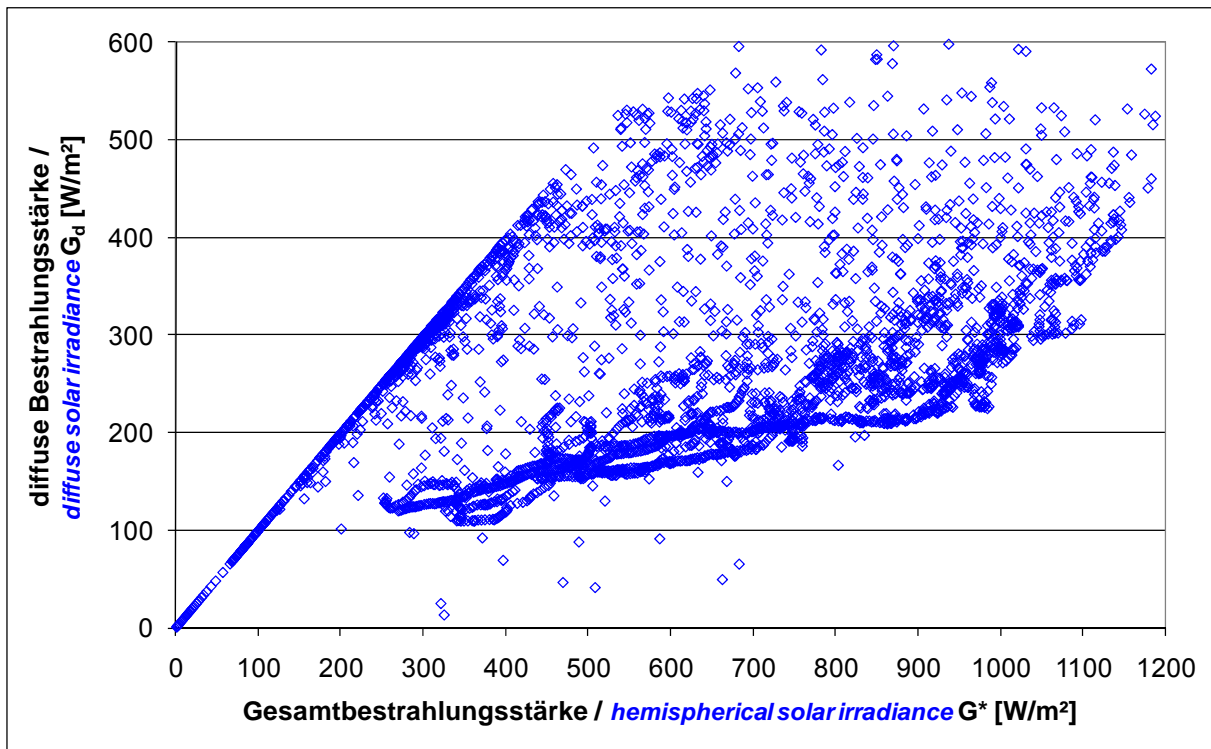


Abbildung B.2: Die diffuse Bestrahlungsstärke über der direkten Bestrahlungsstärke
Figure B.2: diffuse solar irradiance over the total solar irradiance

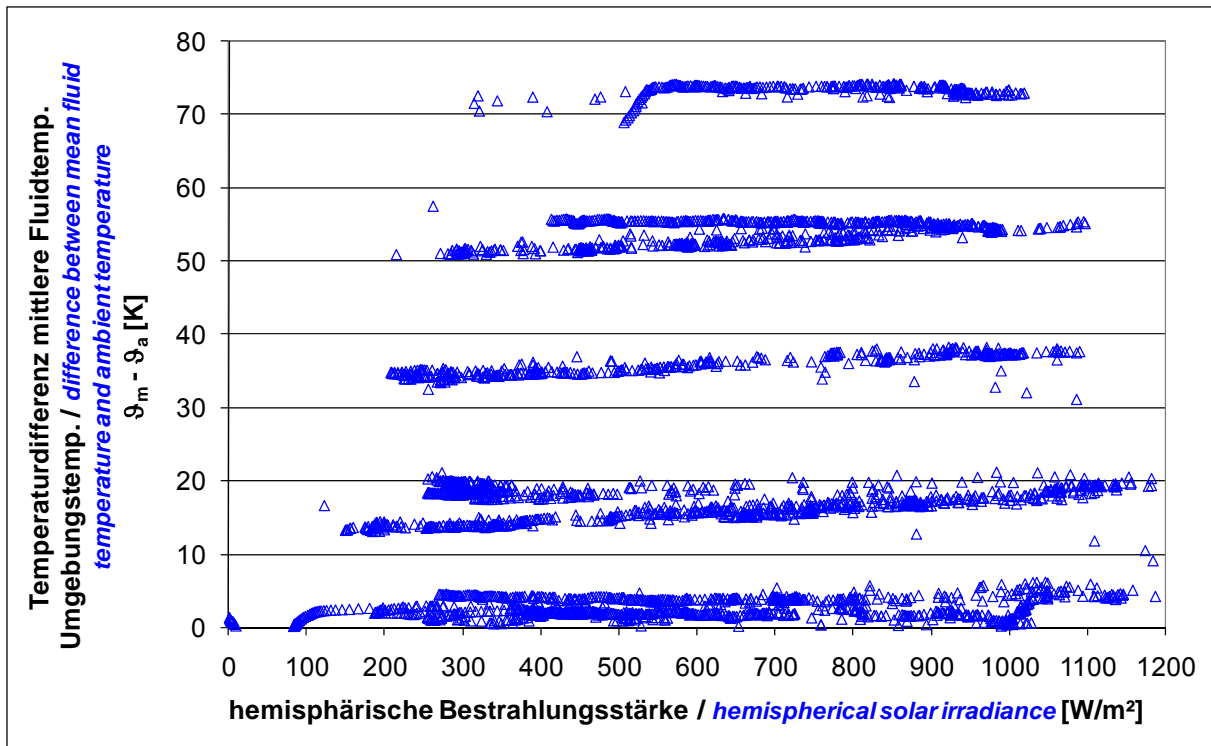


Abbildung B.3: Die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur über der hemisphärischen Bestrahlungsstärke
Figure B.3: difference between mean fluid temperature and ambient temperature over the hemispherical solar irradiance

Anhang C: Nomenklatur

Annex C: Symbols and Units

A	[m ²]	Aperturfläche / <i>aperture area</i>
a	[(mbar h ²)/l ²]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
a₁	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient / <i>heat transfer coefficient</i>
a₂	[W/(m ² K ²)]	Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature depending heat transfer coefficient</i>
b	[(mbar h)/l]	Koeffizient zur Berechnung des Druckverlusts <i>coefficient for calculation of pressure loss</i>
b₀	[-]	Faktor zur Bestimmung des Einfallwinkelkorrekturfaktors der direkten Bestrahlungsstärke / <i>factor to determine the incident angle modifier of the beam irradiance</i>
c	[kJ/(m ² K)]	flächenbezogene Wärmekapazität des Kollektors <i>area based heat capacity of the collector</i>
c₁	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient / <i>heat transfer coefficient</i>
c₂	[W/(m ² K ²)]	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient <i>temperature depending heat transfer coefficient</i>
c₅	[kJ/(m ² K)]	flächenbezogene Wärmekapazität des Kollektors <i>area based heat capacity of the collector</i>
F'(τα)_{en}	[-]	Konversionsfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>conversion factor of the beam irradiance</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_θ(θ)	[-]	Einfallwinkelkorrekturfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of the hemispherical solar irradiance</i>
K_{θb}(θ)	[-]	Einfallwinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of the beam solar irradiance</i>
K_{θd}	[-]	Einfallwinkelkorrekturfaktor der diffusen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of the diffuse solar irradiance</i>
(kA)_{WT}	[W/K]	Wärmeübertragungsvermögen des Solarwärmeübertragers <i>heat transfer capacity of the solar heat exchanger</i>
ṁ	[kg/h]	Massenstrom / <i>mass flow</i>
Q̇	[W]	Kollektorleistung / <i>power per collector unit</i>
q̇	[W/m ²]	flächenbezogene Kollektorleistung / <i>area based collector power</i>
Δp	[mbar]	Druckverlust / <i>pressure loss</i>
η	[-]	Wirkungsgrad / <i>collector efficiency</i>
η₀	[-]	Konversionsfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke <i>conversion factor</i>
λ	[W/(mK)]	Wärmeleitfähigkeit / <i>heat conductivity</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 the beam solar irradiance</i>