



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.: 07COL638

Test Report No.: 07COL638

Stuttgart, den 05.06.2008

Stuttgart, June 5th, 2008

Auftraggeber: Changzhou Sunpower Solar Water Heater Co., Ltd
client: #69 South Airport Road Luoxi Town
Changzhou
Jiangsu China

Hersteller: Changzhou Sunpower Solar Water Heater Co., Ltd
manufacturer:

Typ: SPA-58/1800-20-C
brand name:

Herstelljahr: 2007
year of production:

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

1	Allgemeine Angaben.....	3
	<i>General Specifications</i>	
2	Innendruckprüfung des Absorbers	8
	<i>Internal Pressure Test for Absorber</i>	
3	Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit.....	8
	<i>High Temperature Resistance</i>	
4	Expositionstest.....	8
	<i>Exposure</i>	
5	Schneller äußerer Temperaturwechsel	9
	<i>External Thermal Shock</i>	
6	Schneller innerer Temperaturwechsel.....	9
	<i>Internal Thermal Shock</i>	
7	Berechnungsprüfung	10
	<i>Rain Penetration</i>	
8	Mechanische Belastung	10
	<i>Mechanical Load Test</i>	
9	Stagnationstemperatur	11
	<i>Stagnation Temperature</i>	
10	Endkontrolle.....	11
	<i>Final Inspection</i>	
11	Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen.....	12
	<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: Leistungskurven	19
	<i>Annex C: Power Curves</i>	
	Anhang D: Nomenklatur	25
	<i>Annex D: Symbols and Units</i>	

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

Hersteller <i>Manufacturer</i>	Changzhou Sunpower Solar Water Heater Co., Ltd #69 South Airport Road Luoxi Town Changzhou Jiangsu China
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Joy Zheng Tel.: +86 519 85083201 Fax: +86 519 83401453 email: joy@sunpower-solar.com
Typ: <i>type:</i>	SPA-58/1800-20-C <i>SPA-58/1800-20-C</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Interne Kennzeichnung des Prüflabors: <i>internal identification of test laboratory:</i>	C638 <i>C638</i>
Serienprodukt oder Baumuster: <i>serial product or model:</i>	Serienprodukt <i>serial product</i>
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2007 <i>2007</i>

Bezugsflächen <i>Dimensions of collector unit</i>	von Prüflabor bestimmt <i>determined by test laboratory</i>
Bruttofläche: <i>gross area:</i>	3.29 m ² <i>3.29 m²</i>
Aperturfläche: <i>aperture area:</i>	2.40 m ² <i>2.40 m²</i>
Absorberfläche: <i>absorber area:</i>	1.61 m ² <i>1.61 m²</i>

Kollektor/Gehäuse <i>Technical figures</i>	
Bauart: <i>collector type:</i>	Vakuurröhrenkollektor mit Wärmerohr <i>vacuum tube collector with heatpipe</i>
Länge: <i>length:</i>	1992 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1992 mm (determined by test laboratory)</i>
Breite: <i>width:</i>	1653 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1653 mm (determined by test laboratory)</i>
Höhe: <i>height:</i>	186 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>186 mm (determined by test laboratory)</i>
Material: <i>material:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	48 kg <i>48 kg</i>
Dichtungsmaterialien: <i>sealing material:</i>	Silikon <i>silicon</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Flachdach, geneigtes Dach <i>flat roof, tilt roof</i>

Absorber

Absorber

Material:	Glas
<i>material:</i>	<i>glass</i>
Dicke:	1.5 mm
<i>thickness:</i>	<i>1.5 mm</i>
Oberflächenbehandlung:	keine Angaben
<i>surface treatment:</i>	<i>not specified</i>
Absorptionsgrad:	≥ 0.93
<i>absorptance:</i>	<i>≥ 0.93</i>
Emissionsgrad:	< 0.06
<i>emittance:</i>	<i>< 0.06</i>
Wärmeträgerinhalt:	1.5 Liter
<i>heat transfer fluid content:</i>	<i>1.5 liters</i>
Durchströmungsform:	parallel
<i>flow pattern:</i>	<i>parallel</i>
Abmessungen Absorberrohre:	8 x 0.5 mm
<i>dimension absorber tubes:</i>	<i>8 x 0.5 mm</i>
Anzahl Absorberrohre:	20
<i>no. of absorber tubes:</i>	<i>20</i>
Abstand der Absorberrohre:	keine Angabe
<i>distance between absorber tubes:</i>	<i>not specified</i>
Abmessungen Sammlerrohr:	35 x 0.8 mm
<i>dimension of the header:</i>	<i>35 x 0.8 mm</i>
Anzahl Anschlüsse:	2
<i>no. of connections:</i>	<i>2</i>
Ausführung Anschlüsse:	Kupferrohr 22 mm
<i>realisation of connections:</i>	<i>copper tube 22 mm</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl:	1
<i>number:</i>	<i>1</i>
Material:	Borosilikatglas
<i>material:</i>	<i>borosilicate glass</i>
Hersteller:	keine Angabe
<i>manufacturer:</i>	<i>not specified</i>
Produktbezeichnung:	keine Angabe
<i>brand name:</i>	<i>not specified</i>
Transmissionsgrad:	keine Angabe
<i>transmittance:</i>	<i>not specified</i>
Dicke:	keine Angabe
<i>thickness:</i>	<i>not specified</i>

Wärmedämmung <i>Thermal insulation:</i>	Glasröhren / <i>glass tubes</i>	Sammler / <i>header</i>
Material: <i>material:</i>	Hochvakuum zwischen innerer und äußerer Röhre <i>high vacuum between inner and outer tubes</i>	Mineralwolle <i>mineral wool</i>
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	nicht zutreffend <i>not applicable</i>	0.04 W/(mK) <i>0.04 W/(mK)</i>
Wärmekapazität: <i>heat capacity:</i>	nicht zutreffend <i>not applicable</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Dichte: <i>density:</i>	nicht zutreffend <i>not applicable</i>	140 kg/m ³ <i>140 kg/m³</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	nicht zutreffend <i>not applicable</i>	keine Angabe <i>not specified</i>

Grenzdaten <i>Limitations:</i>		
Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	192 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>192 °C (determined by test laboratory)</i>	
max. zul. Betriebsüberdruck: <i>max. operation pressure:</i>	10 bar <i>10 bar</i>	
Zulässiger Wärmeträger: <i>allowed heat transfer fluid:</i>	Frostschutzmittel, Wasser <i>anti-freeze liquid, water</i>	
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	124 kg/h <i>124 kg/h</i>	

Feststellung des Kollektors <i>Collector identification:</i>		
Zeichnungssatz: <i>construction characteristics:</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-20, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-12, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-15, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-18, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-22, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-24, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-30, Zeichnung Nr. BDLT-WI-05Y/A-001-A0▪ Heatpipe, Zeichnung Nr. LXHP14 Datum: 10.07.07 <p style="margin-left: 20px;"><i>▪ L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-20, drawing no. BDLT-WI-05Y/A-001-A0</i></p>	

Zeichnungssatz:
construction characteristics

- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-12,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-15,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-18,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-22,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-24,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- L-130*140/58-F/AL-1.8m/58-30,
drawing no.BDLT-WI-05Y/A-001-A0
- Heatpipe - *drawing no.LXHP14*
date: 10.07.07

Datenblätter:
technical data sheets:

- ITW Datenblatt Kollektor
- *ITW data sheet collector*

Kennzeichnung:
collector label:

Ein Typenschild lag dem Kollektor als Entwurf bei. Gemäß EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 muss das Typenschild gut sichtbar und haltbar angebracht sein. Es muss zusätzlich die folgende nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 geforderte Angabe enthalten.

- Herstellungsjahr

The collector label was attached as a draft. According to EN 12975-1:2006 chapter 7.2 it shall be fixed visible and durable on the collector frame. The collector label shall contain the following additional information.

- year of production

Installationsanweisung:
installer instruction manual:

Die Installationsanweisung fehlt. Sie muss folgende Angaben enthalten:

- verfügbare Dokumentation in jeweiliger Landessprache
- Maße und Gewicht des Kollektors
- Anweisung für Transport und Handhabung des Kollektors
- Beschreibung des Montageverfahrens
- Empfehlungen für den Blitzschutz
- Anweisungen für die Verbindung der Kollektoren untereinander
- Anweisungen für den Anschluss des Kollektorfeldes an den Wärmeträgerkreislauf

Installationsanweisung:
installer instruction manual:

- Maße von Rohranschlüssen bei Kollektorguppen bis 20 m²
- Empfehlungen hinsichtlich der verwendbaren Wärmeträgermedien
- Vorsichtsmaßnahmen, die beim Füllen, Betrieb und Wartung zu treffen sind
- maximaler Betriebsdruck
- Druckabfall
- größter und kleinster Neigungswinkel
- zulässige Wind- und Schneelast
- Wartungsanforderungen

The installer instruction manual is missing. It shall contain the following information:

- *documentation available in national language in which country is sold*
- *dimensions and weight of the collector*
- *instructions about transport and handling of the collector*
- *description of the mounting procedure*
- *recommendations about lightning protection*
- *instructions about the coupling of the collectors to one another*
- *instructions about the connection of the collector field to the heat transfer circuit*
- *dimensions of pipe connections for collector arrays up to 20 m²*
- *recommendations about the heat transfer fluid which may be used*
- *precautions to be taken during filling, operation and service*
- *maximum operation pressure*
- *pressure drop*
- *maximum and minimum tilt angle*
- *maximum wind and snow load*
- *maintenance requirements.*

Gültigkeit

Validity:

Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp SPA-58/1800-20-C, und für die Kollektortypen SPA-58/1800-12-C, SPA-58/1800-15-C, SPA-58/1800-18-C, SPA-58/1800-22-C, SPA-58/1800-24-C und SPA-58/1800-30-C.

The test report is valid for collector type SPA-58/1800-20-C and for the collector types SPA-58/1800-12-C, SPA-58/1800-15-C, SPA-58/1800-18-C, SPA-58/1800-22-C, SPA-58/1800-24-C und SPA-58/1800-30-C.

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: 21.05.2008
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: 12.05.2008
date:

Prüfdauer <i>test duration</i> [min]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
100	1014	22

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: 18.01.- 14.05.2008 118 Tage
Duration of exposure: 118 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]
1715	30	170	69

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: 06.05.2008

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]
2.9	< 25	974	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: 06.05.2008

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]
3.0	< 25	1043	20

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: 05.05.2008

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]
1.7	< 25	958	17

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: 05.05.2008

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]
1.9	< 25	1017	17

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: 10.05.2008

Date:

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>fluid temperature</i> [°C]	Prüfdauer <i>test duration</i> [h]
3.0	12	4.0

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: 21.05.2008

Date:

Die Kollektorabdeckung wurde mit einem max. Druck von 1000 Pa belastet.

The collector cover was charged with a max. pressure of 1000 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: 13.05.2008

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]
1013	186	22

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
to

$\vartheta_{stg} = 192 \text{ °C}$

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: 12.05.2008

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

2. Innendruckprüfung des Absorbers <i>Internal pressure for absorber</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
3. Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit <i>High temperature resistance</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
4. Expositionstest <i>Exposure</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
5. Schneller äußerer Temperaturwechsel <i>External shock</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
6. Schneller innerer Temperaturwechsel <i>Internal shock</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
7. Beregnungsprüfung <i>Rain penetration</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
8. Mechanische Belastung <i>Mechanical load test</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
9. Stagnationstemperatur <i>stagnation temperature</i>	kein größerer Fehler <i>no major failure</i>
10. 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 192 °C.

The stagnation temperature at an irradiance of 1000 W/m² and an ambient temperature of 30°C reaches 192 °C.

11.3 Feststellung des Kollektors

Collector identification

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

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

12 Prüfergebnisse Wärmeleistung

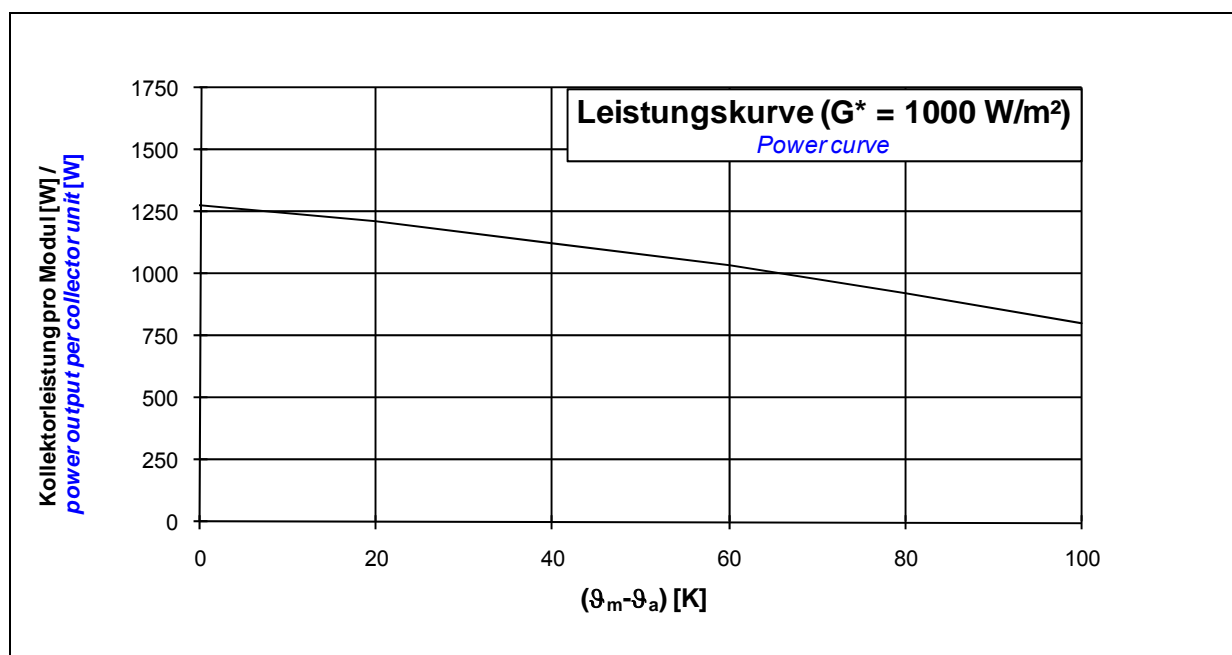
Test Results Thermal Performance

Bestimmung der Kollektorleistung:

Determination of power per collector unit:

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

Konversionsfaktor η_0 [-] <i>conversion factor</i>	0.532
Wärmedurchgangskoeffizient a_1 [W/(m²K)] <i>heat transfer coefficient</i>	1.269
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 [W/(m²K²)] <i>temperature depending heat transfer coefficient</i>	0.007
Einfallswinkel-Korrekturfaktor $K_\theta(50^\circ)$ [-] <i>incidence angle modifier</i>	0.946
flächenbezogene Wärmekapazität c [kJ/(m²K)] <i>area related heat capacity</i>	52.170
Volumenstrom [l/(m²h)] <i>volume flow rate</i>	50
Aperturfläche pro Kollektormodul A [m²] <i>aperture area per collector unit</i>	2.40
Peakleistung [W_{peak}] pro Kollektormodul ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) <i>peak power [W_{peak}] per collector unit ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$)</i>	1277



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	511	894	1277
20	443	826	1209
40	362	745	1128
60	268	651	1034
80	160	543	926
100	38	421	804

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung

Note: the reported values are for normal incidence

13 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

keine Auffälligkeiten

nothing particular

14 Prüfverfahren

Test Methods

Die Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgte im Innentest nach der EN 12975-2:2006 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods" unter Verwendung des Prüfverfahrens unter stationären Bedingungen.

Die Bestimmung des Konversionsfaktors, der Einfallwinkelkorrekturfaktoren und der effektiven Wärmekapazität 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.

The determination of the heat loss coefficients was carried out indoors under steady state conditions according to EN 12975-2:2006 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods."

The determination of the conversion factor, incident angle modifier and effective heat capacity was carried out outdoors 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.

Eingang Prüfling: 27.09.2007

Arrival of test sample:

Prüfzeitraum: 27.09.2007 – 05.06.2008

Test period:

Prüfer: Dipl.-Ing. S. Fischer / Dipl.-Ing. Mark Jäger / M. Wild

Test engineer:

Stuttgart, den 05.06.2008

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>							
Konversionsfaktor <i>Conversion factor</i>	effektiver Wärmedurchgangskoeffizient <i>heat transfer coefficient</i>			flächenbezogene Wärmekapazität <i>area related heat capacity</i>			
$\eta_0 = 0.532$	$a_1 = 1.269 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			$c = 52.170 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$			
			$a_2 = 0.007 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$				
Einfallswinkel-Korrekturfaktoren <i>Incidence angle modifier</i>							
θ	0	20	40	50	60	70	90
$K_\theta(\theta_i)$	1.00	0.99	0.94	0.88	0.79	0.62	0.00
$K_\theta(\theta_t)$	1.00	0.97	1.10	1.17	1.24	1.19	0.00

Berechnungsergebnisse			
<i>calculation results</i>			
Standort / <i>location</i>	Hannover	Würzburg	Stötten
Einstrahlung [kWh/(m ² a)] <i>radiation</i>	1022	1212	1354
Aperturfläche [m ²] <i>aperture area</i>	Jährlicher Kollektorertrag ¹⁾ [kWh/(m ² a)] <i>yearly energy gain</i>		
3	392	477	523
4	367	447	491
5	345	419	456
6	325	391	426

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: apterure 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: Darstellung der aufgenommenen Messwerte

Annex B: Measured Data

	G^*	\dot{m}	ϑ_{in}	ϑ_e	$\vartheta_e - \vartheta_{in}$	ϑ_m	ϑ_a	$\vartheta_m - \vartheta_a$	$(\vartheta_m - \vartheta_a)/G^*$	η
Nr	[W/m ²]	[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[(m ² K)/W]	[-]
1	799.07	132.79	21.60	27.94	6.33	24.77	23.43	1.34	0.0017	0.5083
2	796.25	132.79	21.61	27.90	6.29	24.75	23.39	1.36	0.0017	0.5064
3	789.24	132.83	21.62	27.87	6.25	24.74	23.36	1.39	0.0018	0.5080
4	803.24	130.31	38.88	44.90	6.03	41.89	25.32	16.57	0.0206	0.4726
5	802.86	130.48	38.89	44.92	6.03	41.91	25.30	16.60	0.0207	0.4734
6	799.54	130.22	38.94	44.96	6.02	41.95	25.47	16.48	0.0206	0.4741
7	792.54	134.91	57.14	62.52	5.38	59.83	23.88	35.95	0.0454	0.4434
8	792.91	134.68	57.16	62.55	5.39	59.86	23.95	35.90	0.0453	0.4434
9	795.48	134.78	57.17	62.57	5.40	59.87	23.96	35.90	0.0451	0.4432
10	797.33	132.88	76.11	81.06	4.95	78.59	26.05	52.54	0.0659	0.4015
11	797.07	132.63	76.11	81.05	4.94	78.58	26.10	52.47	0.0658	0.3996
12	794.39	132.97	76.11	81.02	4.91	78.57	26.11	52.45	0.0660	0.3996
13	804.36	133.53	95.09	99.38	4.29	97.24	25.97	71.27	0.0886	0.3486
14	806.31	133.70	95.13	99.49	4.37	97.31	26.21	71.10	0.0882	0.3546
15	799.23	133.53	95.13	99.47	4.34	97.30	26.16	71.14	0.0890	0.3550

Tabelle B.1: Messwerte

Table B.1: Measured values

Anhang C.1: Leistungskurve für SPA-58/1800-12-C

Annex C.1: Power curve for SPA-58/1800-12-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfäche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 1.42 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

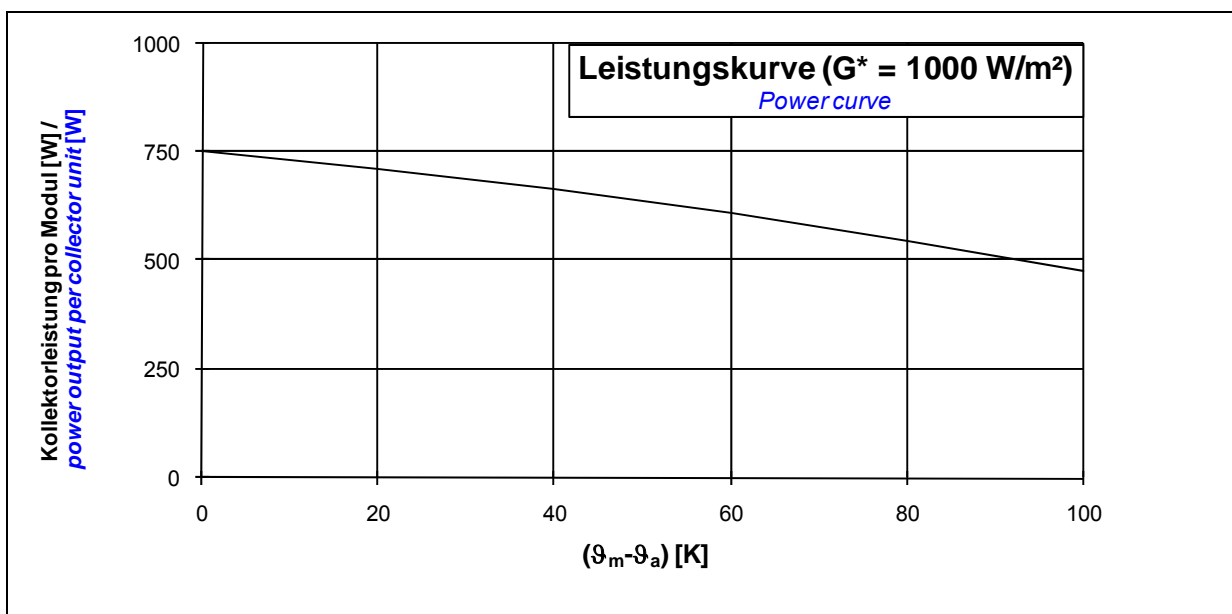
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, $(g_m - g_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 755 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, $(g_m - g_a) = 0$) per collector unit:*



Kollektorleistung pro Modul [W]

Power output per collector unit [W]

$g_m - g_a$ in [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	302	529	755
20	262	489	715
40	214	441	667
60	158	385	612
80	94	321	548
100	23	249	476

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung

Note: the reported values are for normal incidence

Anhang C.2: Leistungskurve für SPA-58/1800-15-C

Annex C.2: Power curve for SPA-58/1800-15-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfläche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 1.80 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

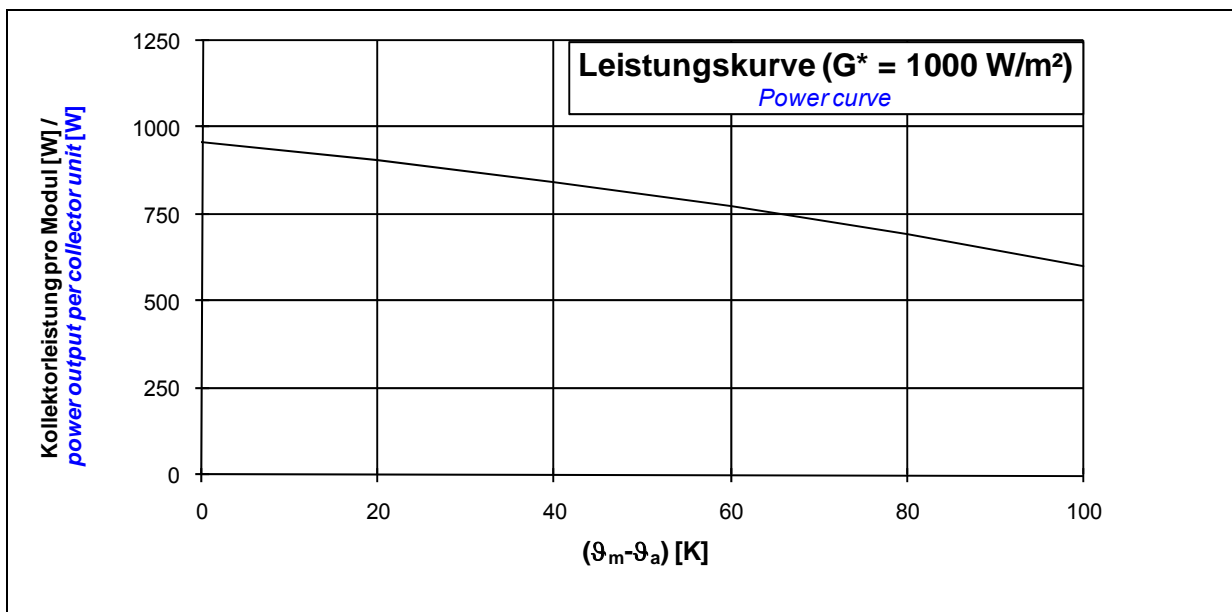
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 958 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) per collector unit:*



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

$T_m - T_a$ in [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	383	670	958
20	332	620	907
40	272	559	846
60	201	488	775
80	120	407	694
100	29	316	603

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung
Note: the reported values are for normal incidence

Anhang C.3: Leistungskurve für SPA-58/1800-18-C

Annex C.3: Power curve for SPA-58/1800-18-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfäche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 2.16 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

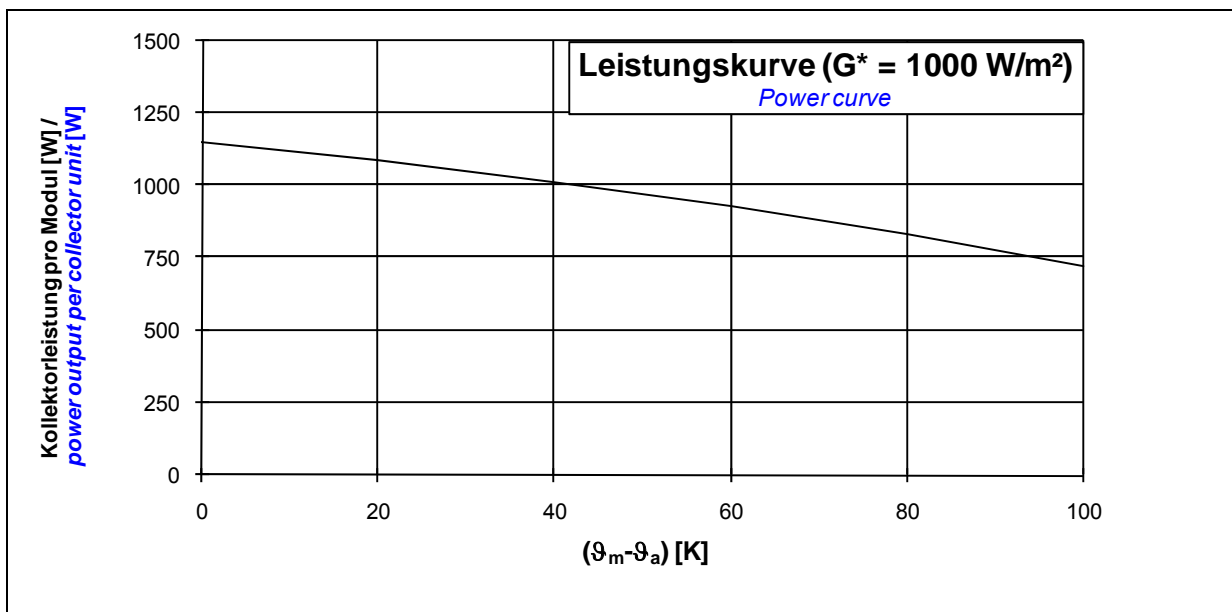
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 1149 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) per collector unit:*



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	460	804	1149
20	399	744	1088
40	326	671	1015
60	241	585	930
80	144	488	833
100	34	379	724

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung
Note: the reported values are for normal incidence

Anhang C.4: Leistungskurve für SPA-58/1800-22-C

Annex C.4: Power curve for SPA-58/1800-22-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfäche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 2.64 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

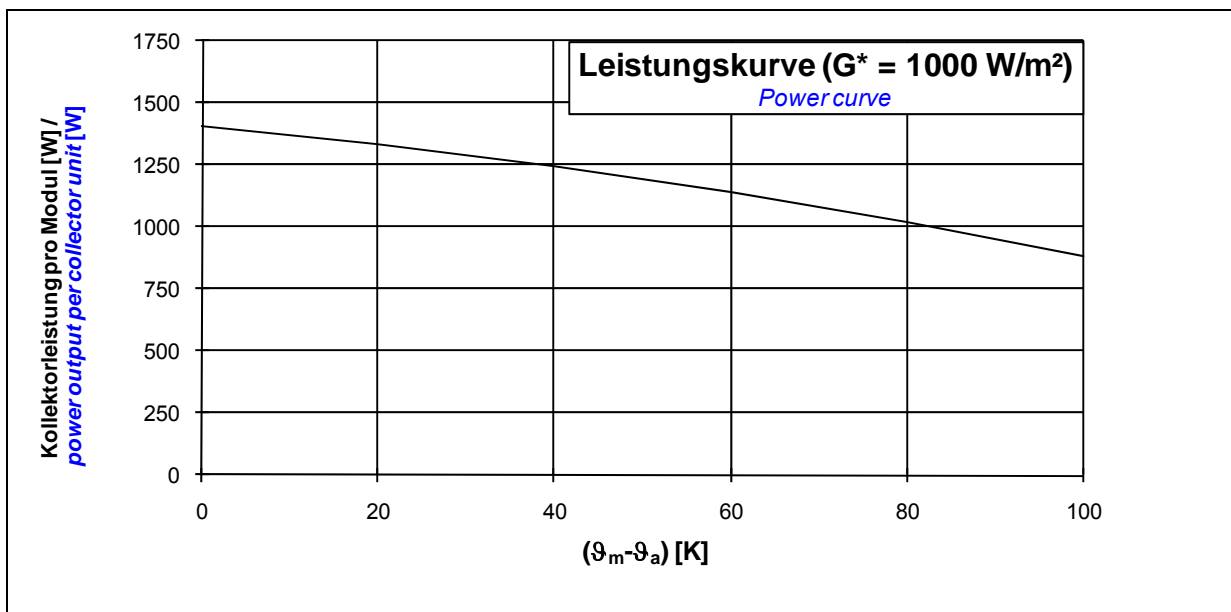
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 1404 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W/m}^2$, $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) per collector unit:*



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	562	983	1404
20	487	909	1330
40	398	820	1241
60	294	716	1137
80	176	597	1018
100	42	463	885

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung
Note: the reported values are for normal incidence

Anhang C.5: Leistungskurve für SPA-58/1800-24-C

Annex C.5: Power curve for SPA-58/1800-24-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfäche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 2.88 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

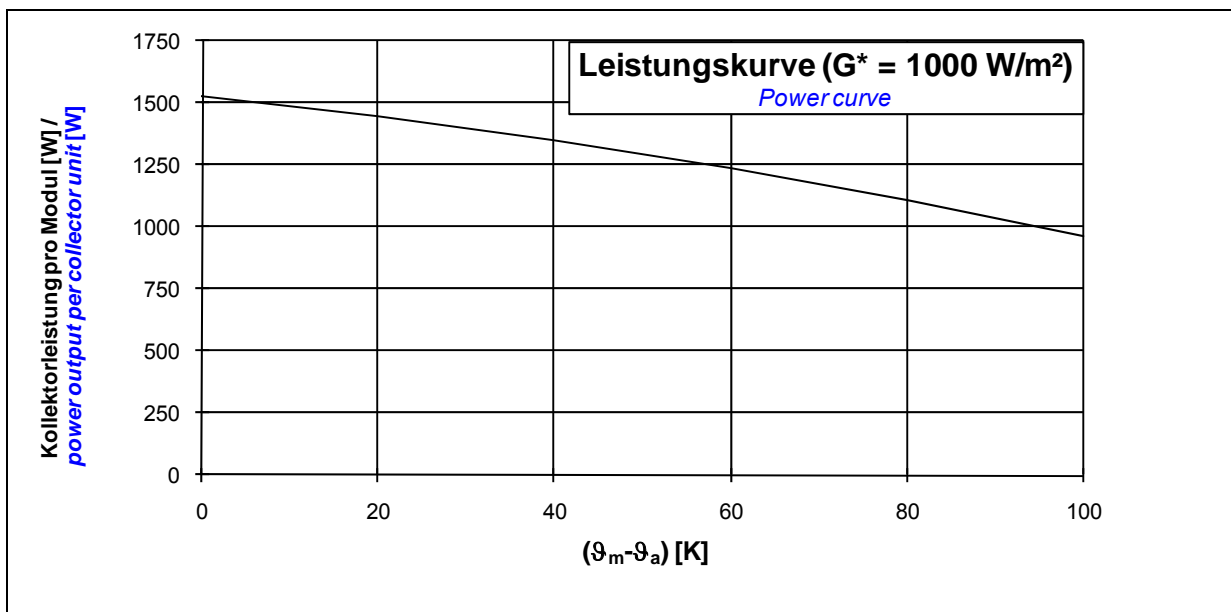
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 1532 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) per collector unit:*



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

$T_m - T_a$ in [K]	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	613	1073	1532
20	532	991	1451
40	434	894	1354
60	321	781	1240
80	191	651	1111
100	46	505	965

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung

Note: the reported values are for normal incidence

Anhang C.6: Leistungskurve für SPA-58/1800-30-C

Annex C.6: Power curve for SPA-58/1800-30-C

Bestimmung der Kollektorleistung:
Determination of power per collector unit:

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

mit / *with*:

Aperturfäche pro Kollektormodul / *aperture area per collector unit*

A = 3.60 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.532$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 1.269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

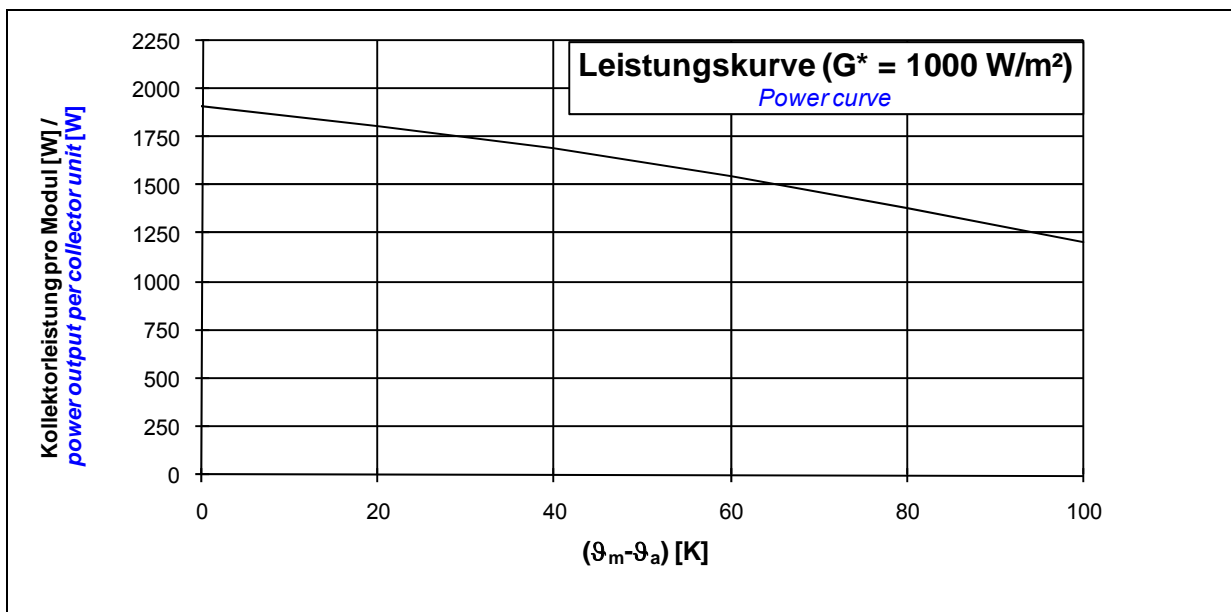
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

$a_2 = 0.007 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Peakleistung ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) pro Kollektormodul:

$W_{\text{peak}} = 1915 \text{ W}$

Peak Power ($G^ = 1000 \text{ W/m}^2$, $(T_m - T_a) = 0$) per collector unit:*



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

$T_m - T_a \text{ in [K]}$	Bestrahlungsstärke / <i>Irradiance</i>		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	766	1341	1915
20	665	1239	1814
40	543	1118	1692
60	401	976	1550
80	239	814	1388
100	57	632	1206

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung
Note: the reported values are for normal incidence

Anhang D: Nomenklatur

Annex D: 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)	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der hemisphärischen Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of the hemispherical solar irradiance</i>
K_{θb}(θ)	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor der direkten Bestrahlungsstärke <i>incident angle modifier of the beam solar irradiance</i>
K_{θd}	[-]	Einfallswinkelkorrekturfaktor 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	[l/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>