



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.: 07COL593

Test Report No.: 07COL593

Stuttgart, 16. November 2007

Stuttgart, November 16th, 2007

Auftraggeber:

client:

Solimpeks Solar Corp.

Konsan Ozel Organize San. Tic. Merkezi

Ankara yolu 10. km Hilal sk. No:20

42300 Karatay Konya

Türkei

Hersteller:

manufacturer:

Solimpeks Solar Corp.

Typ:

brand name:

WUNDER CLS 1808

Herstelljahr:

year of production:

2007

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

1	Allgemeine Angaben.....	3
	<i>General Specifications</i>	
2	Innendruckprüfung des Absorbers	9
	<i>Internal Pressure Test for Absorber</i>	
3	Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit.....	9
	<i>High Temperature Resistance</i>	
4	Expositionstest.....	9
	<i>Exposure</i>	
5	Schneller äußerer Temperaturwechsel	10
	<i>External Thermal Shock</i>	
6	Schneller innerer Temperaturwechsel.....	10
	<i>Internal Thermal Shock</i>	
7	Beregnungsprüfung	11
	<i>Rain Penetration</i>	
8	Mechanische Belastung	11
	<i>Mechanical Load Test</i>	
9	Prüfung der Schlagfestigkeit.....	12
	<i>Impact Resistance Test</i>	
10	Endkontrolle.....	13
	<i>Final Inspection</i>	
11	Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen.....	13
	<i>Summary of Reliability Tests</i>	
12	Prüfergebnisse Wärmeleistung	15
	<i>Test Results Thermal Performance</i>	
13	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors.....	17
	<i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>	
14	Prüfverfahren	17
	<i>Test Methods</i>	
	Anhang A: Ertragsvorhersage	18
	<i>Annex A: Prediction of the Yearly Energy Gain</i>	
	Anhang B: Erklärung zu den Ergebnissen der Messungen unter quasi-dynamischen Bedingungen ...	20
	<i>Annex B: Explanation upon the Measurements under quasi-dynamic Conditions</i>	
	Anhang C: Leistungskurven	23
	<i>Annex C: Power Curves</i>	
	Anhang D: Nomenklatur	26
	<i>Annex D: Symbols and Units</i>	

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

Hersteller <i>Manufacturer</i>	Solimpeks Solar Corp. Konsan Ozil Organize San. Tic. Merkezi Ankara yolu 10. km Hilal sk. No:20 42300 Karatay Konya Türkei
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Faruk Dag Tel.: 0090 332 444 06 02 Fax: 0090 332 444 06 08 email: info@solimpeks.com
Typ: <i>type:</i>	WUNDER CLS 1808 <i>WUNDER CLS 1808</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	070702 9 / 070702 4 <i>070702 9 / 070702 4</i>
Serienprodukt oder Prototyp: <i>serial product or prototype:</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>	1.79 m ² <i>1.79 m²</i>
Aperturfläche: <i>aperture area:</i>	1.62 m ² <i>1.62 m²</i>
Absorberfläche: <i>absorber area:</i>	1.59 m ² <i>1.59 m²</i>

Kollektor/Gehäuse <i>Technical figures</i>	
Bauart: <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
Länge: <i>length:</i>	1930 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1930 mm (determined by test laboratory)</i>
Breite: <i>width:</i>	930 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>930 mm (determined by test laboratory)</i>
Höhe: <i>height:</i>	91 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>91 mm (determined by test laboratory)</i>
Material: <i>material:</i>	Elektrostatisch lackierter Aluminiumrahmen <i>electrostatic painted aluminium case</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	34 kg <i>34 kg</i>
Dichtungsmaterialien: <i>sealing material:</i>	EPDM & Silikon & Aluminiumrahmen <i>EPDM & silicone & aluminium frame</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach, Flachdach, Indach <i>on roof, flat roof, in roof</i>

Absorber

Absorber

Material:	Kupfer
<i>material:</i>	<i>copper</i>
Dicke:	0.12 mm
<i>thickness:</i>	<i>0.12 mm</i>
Oberflächenbehandlung:	TINOX
<i>surface treatment:</i>	<i>TINOX</i>
Absorptionsgrad:	0.95
<i>absorptance:</i>	<i>0.95</i>
Emissionsgrad:	0.03
<i>emittance:</i>	<i>0.03</i>
Wärmeträgerinhalt:	2.36 Liter
<i>heat transfer fluid content:</i>	<i>2.36 liters</i>
Durchströmungsform:	parallel
<i>flow pattern:</i>	<i>parallel</i>
Abmessungen Absorberrohre:	12 x 0.5 mm
<i>dimension absorber tubes:</i>	<i>12 x 0.5 mm</i>
Anzahl Absorberrohre:	8
<i>no. of absorber tubes:</i>	<i>8</i>
Abstand der Absorberrohre:	110 mm
<i>distance between absorber tubes:</i>	<i>110 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr:	24 x 0.7 mm
<i>dimension of the header:</i>	<i>24 x 0.7 mm</i>
Anzahl Anschlüsse:	4
<i>no. of connections:</i>	<i>4</i>
Ausführung Anschlüsse:	3/4" Innengewinde
<i>realisation of connections:</i>	<i>3/4" inner thread</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl:	1
<i>number:</i>	<i>1</i>
Material:	eisenarmes, temperiertes Glas
<i>material:</i>	<i>low iron tempered glass</i>
Hersteller:	TRAKYA CAM SAN. AS
<i>manufacturer:</i>	<i>TRAKYA CAM SAN. AS</i>
Produktbezeichnung:	PRISM 24
<i>brand name:</i>	<i>PRISM 24</i>
Transmissionsgrad:	0.91
<i>transmittance:</i>	<i>0.91</i>
Dicke:	4 mm
<i>thickness:</i>	<i>4 mm</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

Material: <i>material:</i>	Steinwolle <i>rock wool</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>	203 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>203 °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>	Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch <i>water-antifreeze-mixture</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	100 kg/h <i>100 kg/h</i>

Feststellung des Kollektors

Collector identification:

Zeichnungssatz: <i>construction characteristics:</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ ABSORBERROHR - Zeichnung Nr. 000.002 - Datum: 22.05.2007▪ UNTERDECKE - Zeichnung Nr. 01.00.008 - Datum: 22.05.2007▪ DICHTUNG FÜR SPANNSTAB - Zeichnung Nr. 01.00.015 - Datum: 22.05.2007▪ DICHTUNG FÜR SAMMELROHR - Zeichnung Nr. 01.00.012 - Datum: 22.05.2007▪ R ¾'' AUSSEN RAKOR - Zeichnung Nr. 000.007 - Datum: 22.05.2007▪ R ¾'' INNEN RAKOR - Zeichnung Nr. 000.006 - Datum: 22.05.2007▪ ALU WINKELPROFIL - Zeichnung Nr. 01.00.010 - Datum: 22.05.2007▪ SAMMELROHR - Zeichnung Nr. 000.001 - Datum: 22.05.2007▪ KUPFERSTREIFEN MIT SELEKTIVE BESCHICHTUNG - Zeichnung Nr. 000.003 - Datum: 22.05.2007▪ GLASWOLLE BEIDSEITIG MIT ALU-FOLIE BESCHICHTET - Zeichnung Nr. 01.00.005 - Datum: 22.05.2007
--	--

Zeichnungssatz:
construction characteristics:

- ENTLUFTUNGSSTUCK - Zeichnung Nr. 01.00.018 - Datum: 22.05.2007
- FÜHLERSTOPFEN - Zeichnung Nr. 01.00.017 - Datum: 22.05.2007
- EPDM DICHTUNG - Zeichnung Nr. 01.00.006 - Datum: 22.05.2007
- WUNDER CLS 1808 COLLECTOR - Zeichnung Nr. 01.00 - Datum: 22.05.2007
- SAMMLERROHR-KURZ - Zeichnung Nr. 000.004 - Datum: 22.05.2007
- WUNDER CLS 1808 PANEL - Zeichnung Nr. 01.00.000 - Datum: 22.05.2007
- ¾'' SPIRAL ROHR - Zeichnung Nr. 000.005 - Datum: 22.05.2007

- ABSORBERROHR - Zeichnung Nr. 000.002 - Datum: 22.05.2007
- UNTERDECKE - Zeichnung Nr. 01.00.008 - Datum: 22.05.2007
- DICHTUNG FÜR SPANNSTAB - Zeichnung Nr. 01.00.015 - Datum: 22.05.2007
- DICHTUNG FÜR SAMMELROHR - Zeichnung Nr. 01.00.012 - Datum: 22.05.2007
- R ¾'' AUSSEN RAKOR - Zeichnung Nr. 000.007 - Datum: 22.05.2007
- R ¾'' INNEN RAKOR - Zeichnung Nr. 000.006 - Datum: 22.05.2007
- ALU WINKELPROFIL - Zeichnung Nr. 01.00.010 - Datum: 22.05.2007
- SAMMELROHR - Zeichnung Nr. 000.001 - Datum: 22.05.2007
- KUPFERSTREIFEN MIT SELEKTIVE BESCHICHTUNG - Zeichnung Nr. 000.003 - Datum: 22.05.2007
- GLASWOLLE BEIDSEITIG MIT ALU-FOLIE BESCHICHTET - Zeichnung Nr. 01.00.005 - Datum: 22.05.2007
- GETEMPERTE GLAS PRISMATISCH WEISSE - Zeichnung Nr. 01.00.009 - Datum: 22.05.2007
- ENTLUFTUNGSSTUCK - Zeichnung Nr. 01.00.018 - Datum: 22.05.2007
- FÜHLERSTOPFEN - Zeichnung Nr. 01.00.017 - Datum: 22.05.2007
- EPDM DICHTUNG - Zeichnung Nr. 01.00.006 - Datum: 22.05.2007
- WUNDER CLS 1808 COLLECTOR - Zeichnung Nr. 01.00 - Datum: 22.05.2007
- SAMMLERROHR-KURZ - Zeichnung Nr. 000.004 - Datum: 22.05.2007
- WUNDER CLS 1808 PANEL - Zeichnung Nr. 01.00.000 - Datum: 22.05.2007
- ¾'' SPIRAL ROHR - Zeichnung Nr. 000.005 - Datum: 22.05.2007

Datenblätter:
technical data sheets:

- ITW Datenblatt Kollektor
- *ITW data sheet collector*

Kennzeichnung:
collector label:

Das Typenschild muss nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 zusätzlich folgende Angaben enthalten:

- Brutto-Kollektorfläche
- Stagnationstemperatur bei 1000 W/m² und 30°C
- Volumen des Wärmeträgermediums
- Hergestellt in:

Acc. to EN 12975-1:2006, chapter 7.2, the collector label shall contain following additional information:

- *gross area of collector*
- *stagnation temperature at 1000 W/m² and 30°C*
- *volume of heat transfer fluid*
- *made in:*

Installationsanweisung:
installer instruction manual:

- Solimpeks – onto-roof
- Solimpeks – in-roof
- Solimpeks – flat-roof
- *Solimpeks – onto-roof*
- *Solimpeks – in-roof*
- *Solimpeks – flat-roof*

Die Installationsanweisung muss zusätzlich folgende Angaben enthalten:

- Maße und Gewicht des Kollektors
- Anweisung für Transport und Handhabung des Kollektors
- Empfehlungen für den Blitzschutz
- Anweisungen für die Verbindung der Kollektoren untereinander
- Anweisungen für den Anschluss des Kollektorfeldes an den Wärmeträgerkreislauf
- Maße von Rohranschlüssen bei Kollektorgruppen 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 shall contain additionally the following information:

- *dimensions and weight of the collector*
- *instructions about transport and handling of the collector*
- *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 WUNDER CLS 1808 24 mm/12.7 mm (Außendurchmesser Sammler/Außendurchmesser Absorberrohre) sowie die Untertypen

WUNDER CLS 1808 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 1808 22 mm/10 mm

WUNDER CLS 2008 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2008 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2008 24 mm/12.7 mm

WUNDER CLS 2108 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2108 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2108 24 mm/12.7 mm

WUNDER CLS 2510 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2510 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2510 24 mm/12.7 mm

The test report is valid for collector type WUNDER CLS 1808 (outer diameter manifold /outer diameter riser tubes) 18 mm/8 mm and the sub types

*WUNDER CLS 1808 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 1808 22 mm/10 mm*

*WUNDER CLS 2008 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2008 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2008 24 mm/12.7 mm*

*WUNDER CLS 2108 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2108 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2108 24 mm/12.7 mm*

*WUNDER CLS 2510 18 mm/8 mm
WUNDER CLS 2510 22 mm/10 mm
WUNDER CLS 2510 24 mm/12.7 mm*

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: 25.10.2007
date:

max. Betriebsdruck <i>max. operating pressure</i> [bar]	Prüfdruck <i>test pressure</i> [bar]	Prüfdauer <i>test duration</i> [min]
10	15	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: 08.11.2007
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	1037	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.

Expositionszeitraum: 18.07.- 24.10.2007
Duration of exposure: 99 Tage
99 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]	Niederschlags-summe <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]
1427	50	143	90

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: 26.07.2007

1. *Test:*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.5	< 25	969	25

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: 26.07.2007

2. *Test:*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.5	< 25	916	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

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: 01.08.2007

1. *test*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.1	< 25	914	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: 01.08.2007
2. *test*

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	mittlere Bestrahlungsstärke <i>mean irradiance</i> [W/m ²]	mittlere Umgebungstemperatur <i>mean ambient temperature</i> [°C]
2.1	< 25	1024	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

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 5.9.

Datum: 25.07.2007
Date:

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	Prüfdauer <i>test duration</i> [h]
3.3	16	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: 14.11.2007
Date:

Die Kollektorabdeckung wurde mit einem max. Druck von 2000 Pa belastet.
The collector cover was charged with a max. pressure of 2000 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: 14.11.2007
Date:

Die Kollektorbefestigung wurde mit einem maximalen Zug von 2000 Pa belastet.
The collector mountings were charged with a max. tension of 2000 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: 08.11.2007
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]
1037	205	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 $\vartheta_{stg} = 203 \text{ °C}$
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: 14.11.2007

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 203 °C.

The stagnation temperature at an irradiance of 1000 W/m² and an ambient temperature of 30°C reaches 203°C.

11.3 Feststellung des Kollektors

Collector identification

Kennzeichnung: Das Typenschild enthält nicht alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 geforderten Angaben (vgl. 1 Allgemeine Angaben).

Installationsanweisung: Die dem Prüflaboratorium zur Verfügung gestellte Installationsanweisung enthält nicht alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.1 geforderten Angaben (vgl. 1 Allgemeine Angaben).

Collector label: *The collector label does not include all, according to EN 12975-1:2006 chapter 7.2 required information (see 1 General Specification).*

Installer instruction manual: *The installer instruction manual does not include all, according to EN 12975-1:2006 chapter 7.1 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 [-]
conversion factor

0.751

Wärmedurchgangskoeffizient a_1 [W/(m²K)]
heat transfer coefficient

4.999

temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 [W/(m²K²)]
temperature depending heat transfer coefficient

0.000

Einfallswinkel-Korrekturfaktor $K_\theta(50^\circ)$ [-]
incidence angle modifier

0.873

flächenbezogene Wärmekapazität c [kJ/(m²K)]
area related heat capacity

12.360

Volumenstrom [l/(m²h)]
volume flow rate

53.5

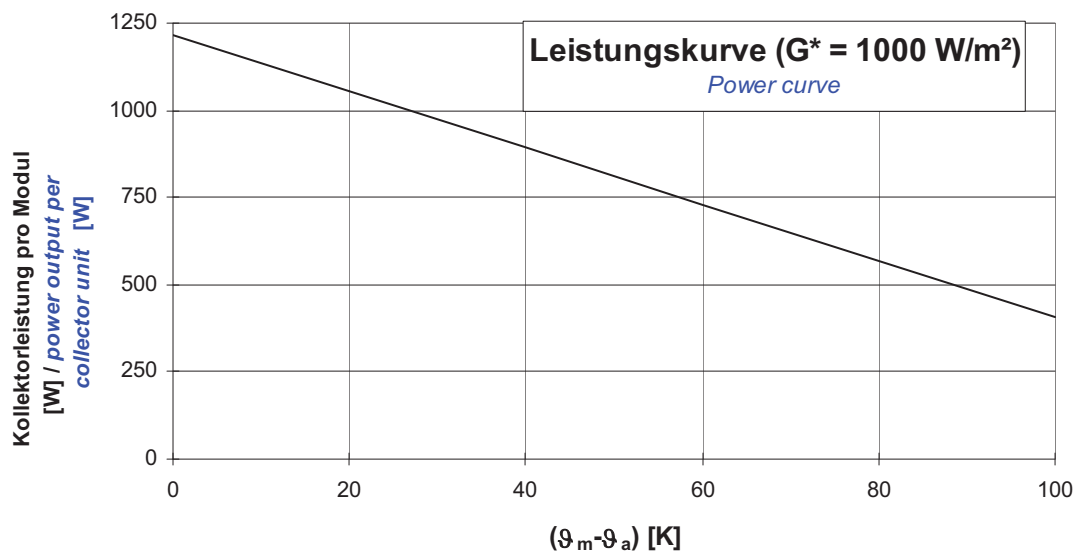
Aperturfläche pro Kollektormodul A [m²]
aperture area per collector unit

1.62

Peakleistung [W_{peak}] pro Kollektormodul
($G^* = 1000$ W/m², ($\vartheta_m - \vartheta_a$) = 0)

peak power [W_{peak}] per collector unit ($G^ = 1000$ W/m², ($\vartheta_m - \vartheta_a$) = 0)*

1217



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	487	852	1217
20	325	690	1055
40	163	528	893
60	1	366	731
80	0 ^{*)}	204	569
100	0 ^{*)}	42	407

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 Prüfung der Wärmeleistung erfolgte am Sonnenkollektor des Typs WUNDER CLS 1808 mit der Seriennummer 070702 9, die Zuverlässigkeitsprüfung wurde am Sonnenkollektor des Typs WUNDER CLS 2510 mit der Seriennummer 070702 4 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 carried out at the solar collector of the type WUNDER CLS 1808 with the serial number 070702 9 and the durability and reliability tests were carried out at the solar collector of the type WUNDER CLS 2510 with the serial number 070702 4.

Eingang Prüfling: <i>Arrival of test sample:</i>	18.07.2007
Prüfzeitraum: <i>Test duration:</i>	18.07. – 16.11.2007
Prüfer: <i>Test engineer:</i>	Dipl.-Ing. S. Fischer / Dipl.-Ing. C. Spengler / M. Wild

Stuttgart, den 16.11.2007



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>			
$\eta_0 = 0.751$	$a_1 = 4.999 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				$c = 12.360 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$			
$a_2 = 0.000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$								
Einfallswinkel-Korrekturfaktoren <i>Incidence angle modifier</i>								
θ	0	20	30	40	50	60	70	90
$K_{\text{ob}}(\theta)$	1.000	0.983	0.958	0.918	0.851	0.732	0.484	0.000

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	476	518
4	356	432	472
5	326	395	432
6	301	363	395

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:</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: aperture 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'(τα)_{en}:	0.759 [-]
b₀:	0.268 [-]
K_{θd}:	0.984 [-]
c₁:	4.999 [W/(m ² K)]
c₂:	0.000 [W/(m ² K ²)]
c₅:	12.360 [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):	1.000	0.983	0.958	0.918	0.851	0.732	0.484	0.000

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)

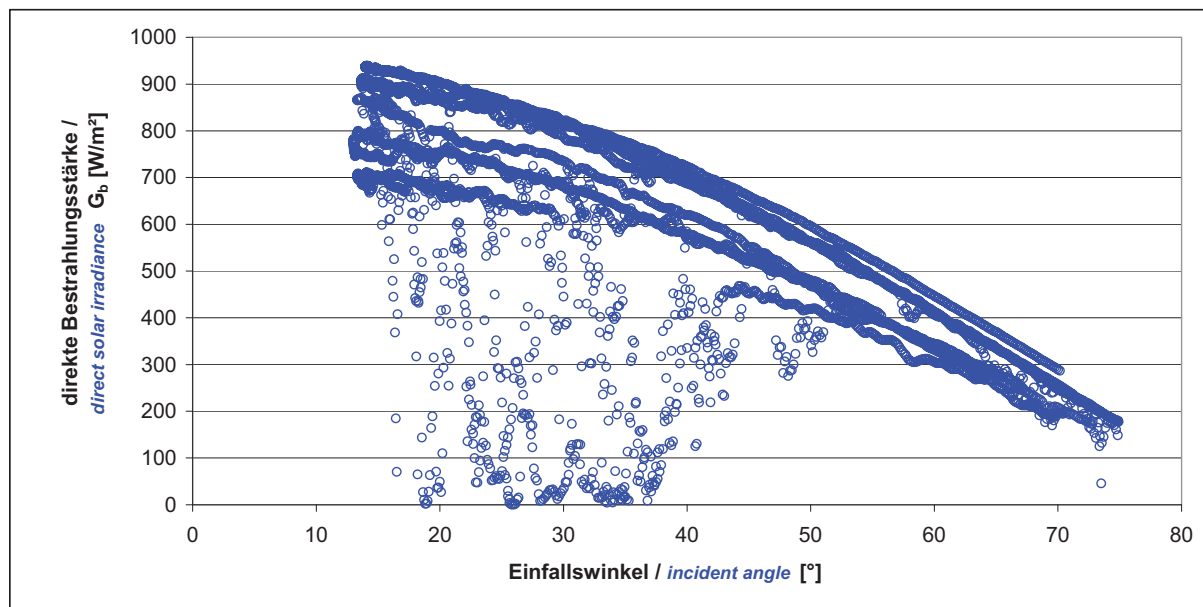


Abbildung B.1: Die direkte Bestrahlungsstärke über dem Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke
Figure B.1: the direct solar irradiance over the incident angle of the direct solar irradiance

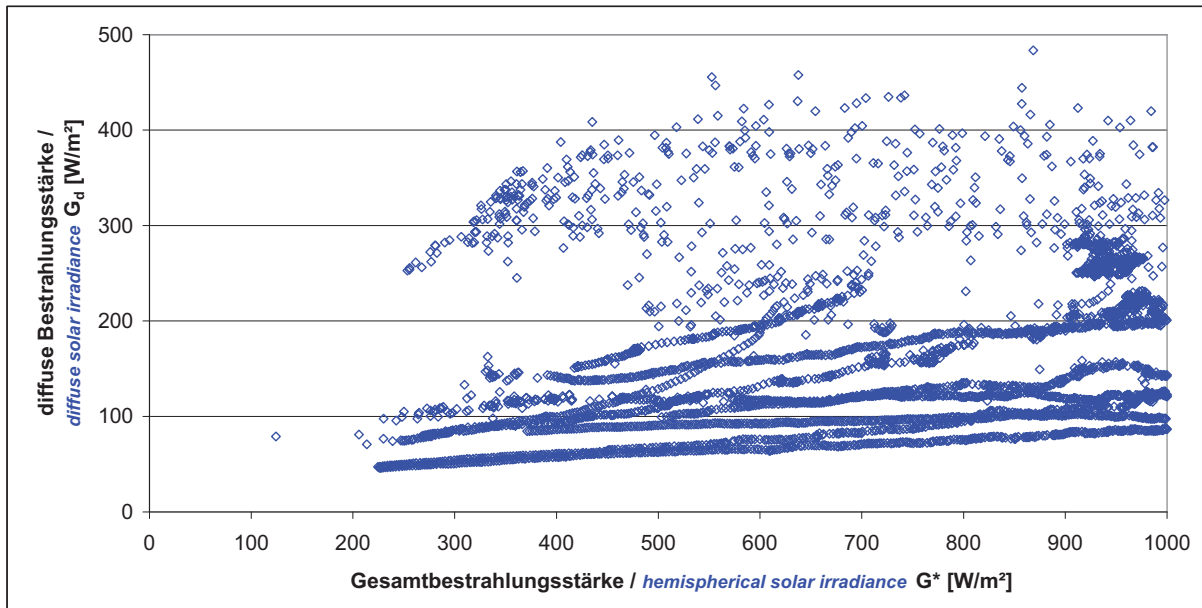


Abbildung B.2: Die diffuse Bestrahlungsstärke über der direkten Bestrahlungsstärke
Figure B.2: diffuse solar irradiance over the total solar irradiance

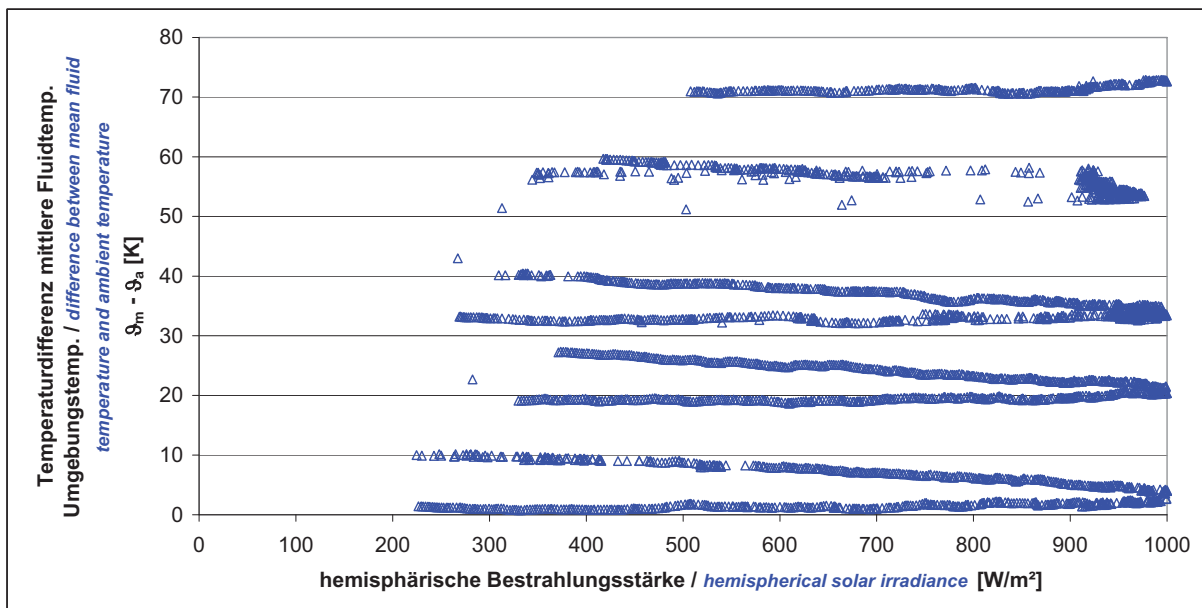


Abbildung B.3: Die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur über der hemisphärischen Bestrahlungsstärke
Figure B.3: difference between mean fluid temperature and ambient temperature over the hemispherical solar irradiance

Anhang C.1: Leistungskurve für WUNDER CLS 2008

Annex C.1: Power curve for WUNDER CLS 2008

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 = 1.86 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.751$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 4.999 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

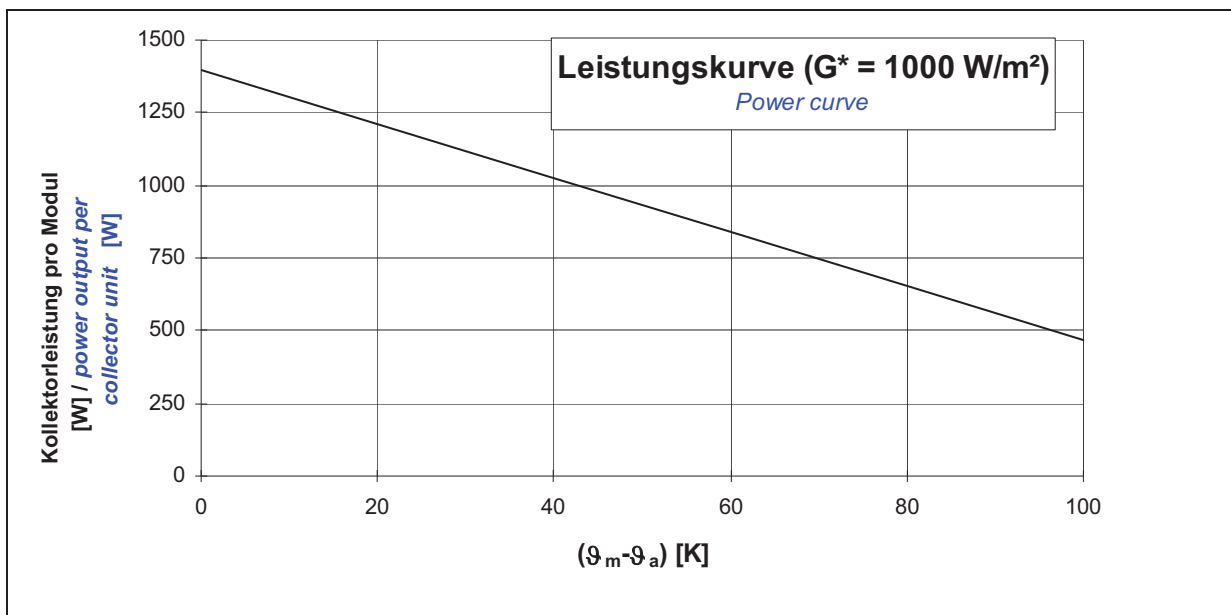
$a_2 = 0.000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

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

1397 W

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

1397 W



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	559	978	1397
20	373	792	1211
40	187	606	1025
60	1	420	839
80	0 ^{*)}	234	653
100	0 ^{*)}	48	467

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 WUNDER CLS 2108

Annex C.2: Power curve for WUNDER CLS 2108

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 = 1.92 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

η₀ = 0.751

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

a₁ = 4.999 W/(m²K)

temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

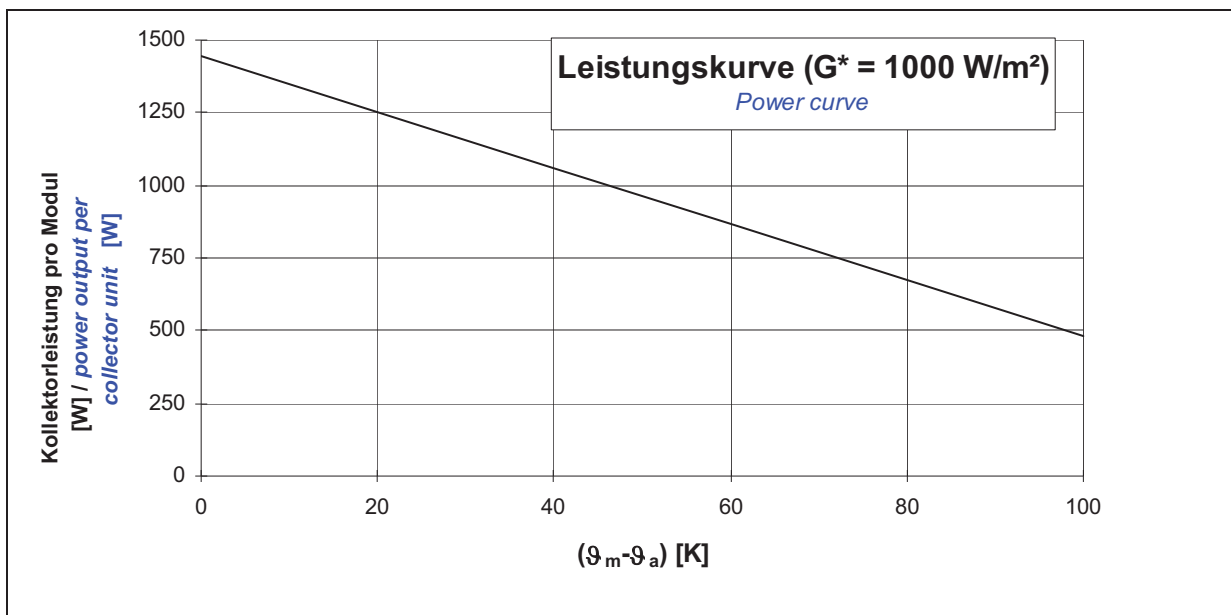
a₂ = 0.000 W/(m²K²)

Peakleistung W_{peak} (G* = 1000 W/m², (T_m-T_a)= 0) pro Kollektormodul:

1442 W

Peak Power W_{peak} (G = 1000 W/m², (T_m-T_a) = 0) per collector unit:*

1442 W



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	577	1009	1442
20	385	817	1250
40	193	625	1058
60	1	433	866
80	0 ^{*)}	241	674
100	0 ^{*)}	50	482

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.3: Leistungskurve für WUNDER CLS 2510

Annex C.3: Power curve for WUNDER CLS 2510

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 = 2.24 m²

Konversionsfaktor / *conversion factor*

$\eta_0 = 0.751$

Wärmedurchgangskoeffizient / *heat transfer coefficient*

$a_1 = 4.999 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient /
temperature depending heat transfer coefficient

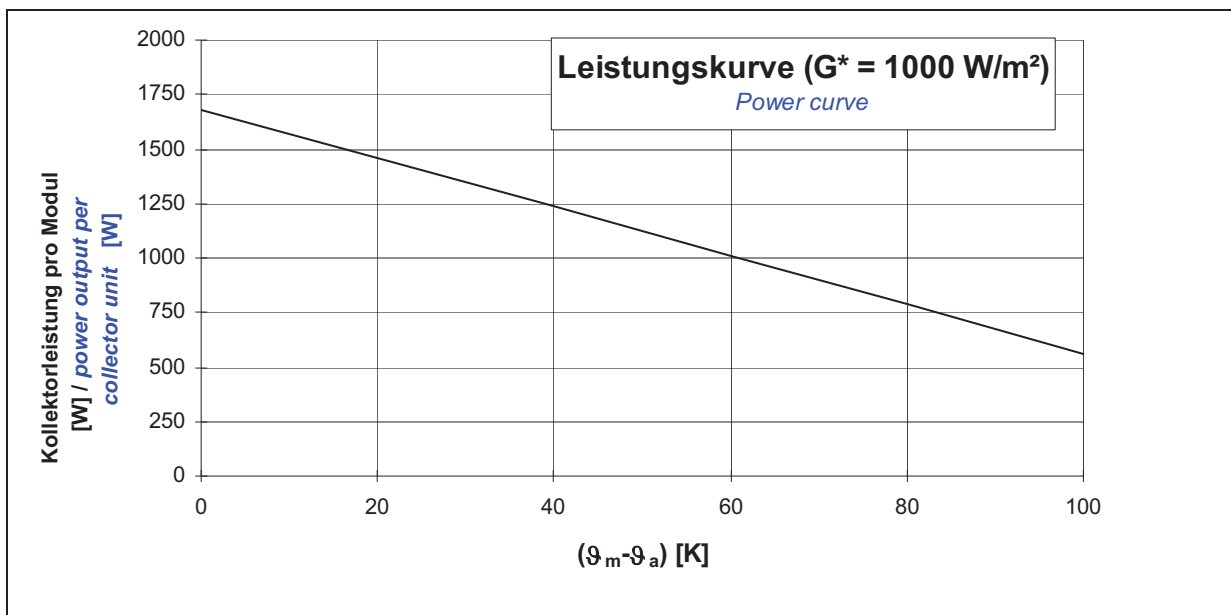
$a_2 = 0.000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

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

1682 W

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

1682 W



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	673	1178	1682
20	449	954	1458
40	225	730	1234
60	1	506	1010
80	0 ^{*)}	282	786
100	0 ^{*)}	58	562

Anmerkung: Die angegebenen Werte beziehen sich auf senkrechte Einstrahlung

Note: the reported values are for normal incidence

^{*)} Die Kollektorleistung ist mit Null angegeben, da sich rechnerisch bei diesen Betriebsbedingungen eine negative Kollektorleistung ergibt.

^{*)} *Calculating the power output per collector unit under these operation conditions result in negative values. Therefore the calculated power output is indicated with zero.*

Anhang D: Nomenklatur

Annex D: Symbols and Units

A	[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>
Q̇	[W]	Kollektorleistung / <i>power per collector unit</i>
q̇	[W/m ²]	flächenbezogene Kollektorleistung / <i>area based collector power</i>
V̇	[l/h]	Volumenstrom / <i>volume flow</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>