



FORSCHUNGS- UND TESTZENTRUM FÜR
SOLARANLAGEN

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Universität Stuttgart

Professor Dr.-Ing. 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: 2001

according to EN 12975-2:2001

Prüfbericht-Nr.: 05COL416

Test Report No.: 05COL416

Stuttgart, den 26. September 2005

Stuttgart, September 26th, 2006

Auftraggeber:

client:

SOLIMPEKS SOLAR ENERGY CORP.
Büsan Özel Organize Sanayi Bölgesi
1. Sokak No: 35 Konya
Turkey

Hersteller:

manufacturer:

SOLIMPEKS SOLAR ENERGY CORP.

Typ:

brand name:

MARVEL CLS 2510

Herstelljahr:

year of production:

2005

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.....	9
	<i>Exposure</i>	
5	Schneller äußerer Temperaturwechsel	9
	<i>External Thermal Shock</i>	
6	Schneller innerer Temperaturwechsel.....	10
	<i>Internal Thermal Shock</i>	
7	Berechnungsprüfung	10
	<i>Rain Penetration</i>	
8	Mechanische Belastung	11
	<i>Mechanical Load Test</i>	
9	Stagnationstemperatur	12
	<i>Stagnation Temperature</i>	
10	Endkontrolle.....	13
	<i>Final Inspection</i>	
11	Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen.....	14
	<i>Summary of Reliability Tests</i>	
12	Prüfergebnisse Wärmeleistung	15
	<i>Test Results Thermal Performance</i>	
13	Prüfergebnisse Druckverlust	16
	<i>Test Results Pressure Loss</i>	
14	Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors	17
	<i>Test Occurrences and Operating Behaviour</i>	
15	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: Nomenklatur	23
	<i>Annex C: Symbols and Units</i>	

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

Hersteller <i>Manufacturer</i>	SOLIMPEKS SOLAR ENERGY CORP. Büsan Özel Organize Sanayi Bölgesi 1. Sokak No: 35 Konya Tureky
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Faruk Dag Tel.: +90-(332)345-1396 /-97 Fax: +90-(332)345-1398 email: info@solimpeks.com
Typ: <i>type:</i>	MARVEL CLS 2510 <i>MARVEL CLS 2510</i>
Herstellernummer: <i>serial no.:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Serienprodukt oder Prototyp: <i>serial product or prototype:</i>	Serienprodukt <i>serial product</i>
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2005 <i>2005</i>

Bezugsflächen <i>Dimensions of collector unit</i>	von Prüflabor bestimmt <i>determined by test laboratory</i>
Bruttofläche: <i>gross area:</i>	2.49 m ² <i>2.49 m²</i>
Aperturfläche: <i>aperture area:</i>	2.27 m ² <i>2.27 m²</i>
Absorberfläche: <i>absorber area:</i>	2.26 m ² <i>2.26 m²</i>

Kollektor/Gehäuse <i>Technical figures</i>	
Bauart: <i>collector type:</i>	Flachkollektor <i>flat plate collector</i>
Länge: <i>length:</i>	2008 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>2008 mm (determined by test laboratory)</i>
Breite: <i>width:</i>	1238 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1238 mm (determined by test laboratory)</i>
Höhe: <i>height:</i>	106 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>106 mm (determined by test laboratory)</i>
Material: <i>material:</i>	Aluminium, elektrostatisch lackiert <i>aluminium, electrostatic painted</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	47.5 kg <i>47.5 kg</i>
Dichtungsmaterialien: <i>sealing material:</i>	EPDM, Silikon <i>EPDM, silicone</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach <i>on roof</i>

Absorber

Absorber

Material:	Kupfer, selektiv beschichtet
<i>material:</i>	<i>copper, selective coated</i>
Dicke:	0.2 mm
<i>thickness:</i>	<i>0.2 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:	1.27 Liter
<i>heat transfer fluid content:</i>	<i>1.27 liters</i>
Durchströmungsform:	parallel
<i>flow pattern:</i>	<i>parallel</i>
Abmessungen Absorberrohre:	8 x 0.45 mm
<i>dimension absorber tubes:</i>	<i>8 x 0.45 mm</i>
Anzahl Absorberrohre:	10
<i>no. of absorber tubes:</i>	<i>10</i>
Abstand der Absorberrohre:	110 mm
<i>distance between absorber tubes:</i>	<i>110 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr:	18 x 0.7 mm
<i>dimension of the header:</i>	<i>18 x 0.7 mm</i>
Anzahl Anschlüsse:	4
<i>no. of connections:</i>	<i>4</i>
Ausführung Anschlüsse:	3/4" AG
<i>realisation of connections:</i>	<i>¾" outer thread</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl:	1
<i>number:</i>	<i>1</i>
Material:	eisenarmes Glas
<i>material:</i>	<i>low iron glass</i>
Hersteller:	TRAKYA CAM SAN. AS
<i>manufacturer:</i>	<i>TRAKYA CAM SAN. AS</i>
Produktbezeichnung:	High Transmission Collector Glass (tempered)
<i>brand name:</i>	<i>High Transmission Collector Glass (tempered)</i>
Transmissionsgrad:	91 %
<i>transmittance:</i>	<i>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>	52 kg/m ³ <i>52 kg/m³</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	50 mm <i>50 mm</i>

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	211 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>211 °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 <i>water – antifreeze</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	120 kg/h <i>120 kg/h</i>

Feststellung des Kollektors

Collector identification:

Zeichnungssatz: <i>construction characteristics</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ MARVEL CLS 2510 Collector – Zeichnungsnr. 02.00 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Absorberrohr – Zeichnungsnr. 000.002 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Dichtung für Spannstab – Zeichnungsnr. 02.00.015 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Getempertes Glas prismiert – Zeichnungsnr. 02.00.009 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Glaswolle beidseitig mit Alu-Folie beschichtet – Zeichnungsnr. 02.00.005 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Unterdecke – Zeichnungsnr. 02.00.008 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Silikon Dichtung – Zeichnungsnr. 02.00.011 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ 3/4“ Spiral Rohr – Zeichnungsnr. 000.005 – Ausgabedatum: 15.05.05▪ Kupferstreifen mit selektiver Beschichtung – Zeichnungsnr. 000.003 – Ausgabedatum: 15.05.05
---	--

Zeichnungssatz:
construction characteristics:

- Sammelrohr – Zeichnungsnr. 000.001 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Sammelrohr-kurz – Zeichnungsnr. 000.004 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Alu-Winkelprofil – Zeichnungsnr. 02.00.010 – Ausgabedatum: 15.05.05
- R ¾“ innen Rakor – Zeichnungsnr. 000.006 – Ausgabedatum: 15.05.05
- EPDM Dichtung – Zeichnungsnr. 02.00.006 – Ausgabedatum: 15.05.05
- R ¾“ außen Rakor – Zeichnungsnr. 000.007 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Fühlerstopfen – Zeichnungsnr. 02.00.017 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Dichtung für Sammelrohr – Zeichnungsnr. 02.00.012 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Entlüftungsstück – Zeichnungsnr. 02.00.018 – Ausgabedatum: 15.05.05
- Marvel 1808 Panel – Zeichnungsnr. 02.00.000 – Ausgabedatum: 15.05.05
- R ¾“ innen Rakor – Zeichnungsnr. 000.006 – Ausgabedatum: 15.05.05

- *MARVEL CLS 2510 Collector – Zeichnungsnr. 02.00 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Absorberrohr – Zeichnungsnr. 000.002 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Dichtung für Spannstab – Zeichnungsnr. 02.00.015 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Getempertes Glas prismiert – Zeichnungsnr. 02.00.009 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Glaswolle beidseitig mit Alu-Folie beschichtet – Zeichnungsnr. 02.00.005 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Unterdecke – Zeichnungsnr. 02.00.008 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Silikon Dichtung – Zeichnungsnr. 02.00.011 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *¾“ Spiral Rohr – Zeichnungsnr. 000.005 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Kupferstreifen mit selektiver Beschichtung – Zeichnungsnr. 000.003 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Sammelrohr – Zeichnungsnr. 000.001 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Sammelrohr-kurz – Zeichnungsnr. 000.004 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Alu-Winkelprofil – Zeichnungsnr. 02.00.010 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *R ¾“ innen Rakor – Zeichnungsnr. 000.006 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *EPDM Dichtung – Zeichnungsnr. 02.00.006 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *R ¾“ außen Rakor – Zeichnungsnr. 000.007 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Fühlerstopfen – Zeichnungsnr. 02.00.017 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Dichtung für Sammelrohr – Zeichnungsnr. 02.00.012 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Entlüftungsstück – Zeichnungsnr. 02.00.018 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *Marvel 1808 Panel – Zeichnungsnr. 02.00.000 – Ausgabedatum: 15.05.05*
- *R ¾“ innen Rakor – Zeichnungsnr. 000.006 – Ausgabedatum: 15.05.05*

Datenblätter: <i>technical data sheets:</i>	ITW Datenblatt Kollektor <i>ITW data sheet collector</i>
Kennzeichnung: <i>collector label:</i>	Das Typenschild muss zusätzlich folgende Angaben enthalten: <ul style="list-style-type: none">- Seriennummer- Herstellungsjahr- Stagnationstemperatur bei 1000 W/m² und 30°C- Hergestellt in: <p><i>In addition the collector label shall contain the following information:</i></p> <ul style="list-style-type: none">- <i>serial number</i>- <i>year of production</i>- <i>stagnation temperature at 1000 W/m² and 30°C</i>- <i>made in:</i>

Installationsanweisung: <i>installer instruction manual:</i>	Die Installationsanweisung muss zusätzlich folgende Angaben enthalten: <ul style="list-style-type: none">- Maße und Gewicht des Kollektors- Anweisung für Transport und Handhabung des Kollektors- Empfehlungen für den Blitzschutz- 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- Wartungsanforderungen <p><i>In addition the installer instruction manual shall contain the following information:</i></p> <ul style="list-style-type: none">- <i>dimensions and weight of the collector</i>- <i>instructions about transport and handling of the collector</i>- <i>recommendations about lightning protection</i>- <i>instructions about the connection of the collector field to the heat transfer circuit</i>- <i>dimensions of pipe connections for collector arrays up to 20 m²</i>- <i>recommendations about the heat transfer media which may be used (also with respect to corrosion)</i>- <i>precautions to be taken during filling, operation and service</i>- <i>maximum operation pressure</i>- <i>pressure drop</i>- <i>maximum and minimum tilt angle</i>- <i>maintenance requirements</i>
Gültigkeit <i>Validity:</i>	Der Prüfbericht ist gültig für den oben beschriebenen Kollektortyp Marvel CLS 2510. <i>The test report is valid for collector type Marvel CLS 2510.</i>

2 Innendruckprüfung des Absorbers

Internal Pressure for Absorber

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.2.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.2.

1. Prüfung: 07.09.2005

1. *Test*:

max. Betriebsdruck <i>max. operating pressure</i> [bar]	Prüfdruck <i>test pressure</i> [bar]	Prüfdauer <i>test duration</i> [min]
10	1.5	15

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 09.09.2005

2. *Test*:

max. Betriebsdruck <i>max. operating pressure</i> [bar]	Prüfdruck <i>test pressure</i> [bar]	Prüfdauer <i>test duration</i> [min]
10	1.5	15

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

High Temperature Resistance

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.3.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.3.

Datum: 08.09.2005

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	1019	25.0

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

4 Expositionstest

Exposure

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.4.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.4.

Expositionsdauer: 12.07.-08.09.2005 59 Tage
Duration of exposure: 59 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]
983	41	190	33

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

5 Schneller äußerer Temperaturwechsel

External thermal shock

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.5.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.5.

1. Prüfung: 27.07.2005

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]
2.0	< 25	868	20.2

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 07.09.2005

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]
2.8	< 25	854	25.3

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

6 Schneller innerer Temperaturwechsel

Internal thermal shock

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.6.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.6.

1. Prüfung: 27.07.2005 13:20 – 13:25 h

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]
3.2	< 25	904	20.8

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 27.07.2005 14:25 – 14:30 h

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]
3.2	< 25	897	21.2

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

7 Berechnungsprüfung

Rain penetration

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.7.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.9.

Datum: 27.07.2005

Date:

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	Prüfdauer <i>test duration</i> [h]
4.0	19.0	4

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1

Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

8 Mechanische Belastung

Mechanical load test

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.9.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.9.

8.1 Überdruckprüfung für die Kollektorabdeckung

Positive pressure test of the collector cover

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.9.1.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.9.1.

Datum: 22.09.2005
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 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, 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 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.9.2.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.9.2.

Datum: 22.09.2005
Date:

Die Kollektorbefestigung wurde mit einem maximalen Zug von 2400 Pa belastet.
The collector mountings were charged with a max. tension of 2400 Pa.

Ergebnis: Bis zum geforderten Wert von 1000 Pa kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1, bei einer Belastung von mehr als 2400 Pa bleibende Verformung des Kollektorrahmens und Versagen der Verbindung Klammer/Kollektorrahmen.
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1 up to 1000 Pa. At a load of more than 2400 Pa deformation of collector casing and failure of the connection clamp / collector frame

8.3 Unterdruckprüfung der Kollektorbefestigungen

Negative pressure test of collector mountings

Durchführung und Randbedingungen nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Kapitel 5.9.3.
Lead-through and boundary conditions acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, chapter 5.9.3.

Datum: 21.09.2005
Date:

Die Kollektorbefestigung wurde mit einem maximalen Zug von 2400 Pa belastet.
The collector mountings were charged with a max. tension of 2400 Pa.

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2001, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2001, chapter 5.3.1

9 Stagnationstemperatur

Stagnation temperature

Bestimmung der Stagnationstemperatur nach EN 12975-2:2001 – Teil 2, Anhang C.
Determination of the stagnation temperature acc. to EN 12975-2:2001 – part 2, Annex C.

Datum: 08.09.2005
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]
1019	209	25

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 $\vartheta_{stg} = 211 \text{ °C}$
to

10 Endkontrolle

Final inspection

Zerlegung und Untersuchung des Kollektors nach Abschluss der vollständigen Prüffolge gemäß EN 12975-2:2001 – 5.11.

Dismantling and inspection of the collector after completion of the full test sequence according to EN 12975-2:2001 – 5.11.

Datum: 26.09.2005
Date:

Ergebnis: Die optische Begutachtung der Wärmedämmung, der Absorberbeschichtung, der Schweißverbindung zwischen Absorberrohr und Absorberblech sowie der transparenten Abdeckung des Kollektors ergab keine Auffälligkeiten oder Abnormalitäten.

Conclusion: The optical expertise of insulation, absorber coating, welded joint between absorber tube and absorber plate as well as the optical expertise of the transparent collector cover did not result in any abnormalities.

11 Zusammenfassung der Zuverlässigkeitsprüfungen

Summary of Reliability Tests

Die Prüfung des Kollektors erfolgte nach der EN 12975-2:2001 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods".

The test of the collector was performed according to EN 12975-2:2001 „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 211 °C.

The stagnation temperature at an irradiance of 1000 W/m² and an ambient temperature of 30°C reaches 211 °C.

11.3 Feststellung des Kollektors

Collector identification

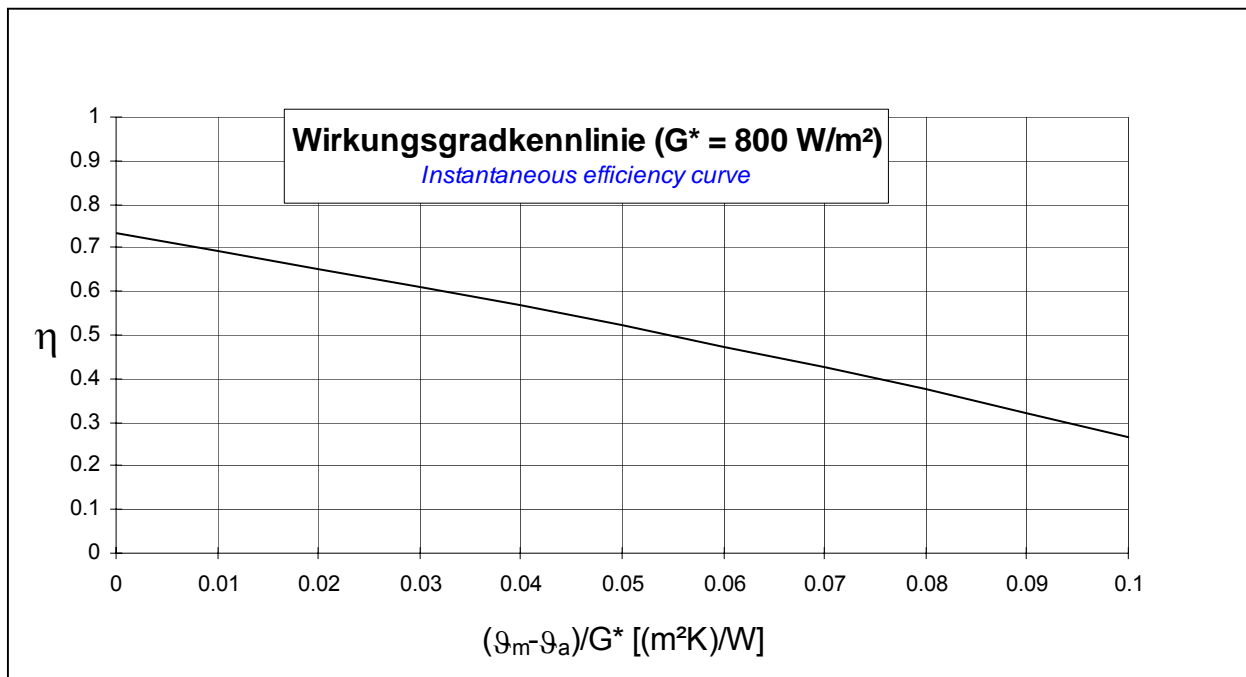
Kennzeichnung und Installationsanweisung: Die dem Prüflaboratorium zur Verfügung gestellte Installationsanweisung und das Typenschild enthalten nicht alle nach EN 12975-1:2001 Kapitel 7.1 geforderten Angaben (vgl. 1 Allgemeine Angaben).

Collector label and installers instruction manual: The installer instruction manual and the collector label do not include all, according to EN 12975-1:2001 chapter 7.1 required information (see 1 General Specification).

12 Prüfergebnisse Wärmeleistung

Test Results Thermal Performance

Bestimmung des Wirkungsgrades: <i>Determination of efficiency:</i>		$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)}{G^*} - a_2 \cdot \frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)^2}{G^*}$
(Bezug: Aperturfläche) <i>(based on aperture area)</i>		
η_0 [-]		0.732
a_1 [W/(m ² K)]		3.771
a_2 [W/(m ² K ²)]		0.011
Einfallswinkel-Korrekturfaktor $K_\theta(50^\circ)$ [-] <i>incidence angle modifier</i>		0.878
Wärmekapazität C [J/K] <i>effective heat capacity</i>		22114
Volumenstrom [l/(m²h)] <i>volume flowrate</i>		72
verwendeter Wärmeträger <i>used heat transfer fluid</i>		Wasser



Wirkungsgradtabelle ($G^* = 800 \text{ W/m}^2$)
Instantaneous efficiency curve

$(\vartheta_m - \vartheta_a)/G^*$ [(m ² K)/W]	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
η	0.732	0.693	0.653	0.611	0.567	0.521	0.474	0.425	0.374	0.321	0.267

13 Prüfergebnisse Druckverlust

Test Results Pressure Loss

Bestimmung des Druckverlusts:
Determination of the pressure loss

$$\Delta p = a \cdot \dot{V}^2 + b \cdot \dot{V}$$

a [(mbar h²)/l²]	0.0000495
b [(mbar h)/l]	0.0109644

(Wassertemperatur / *water temperature* $\vartheta = 20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)

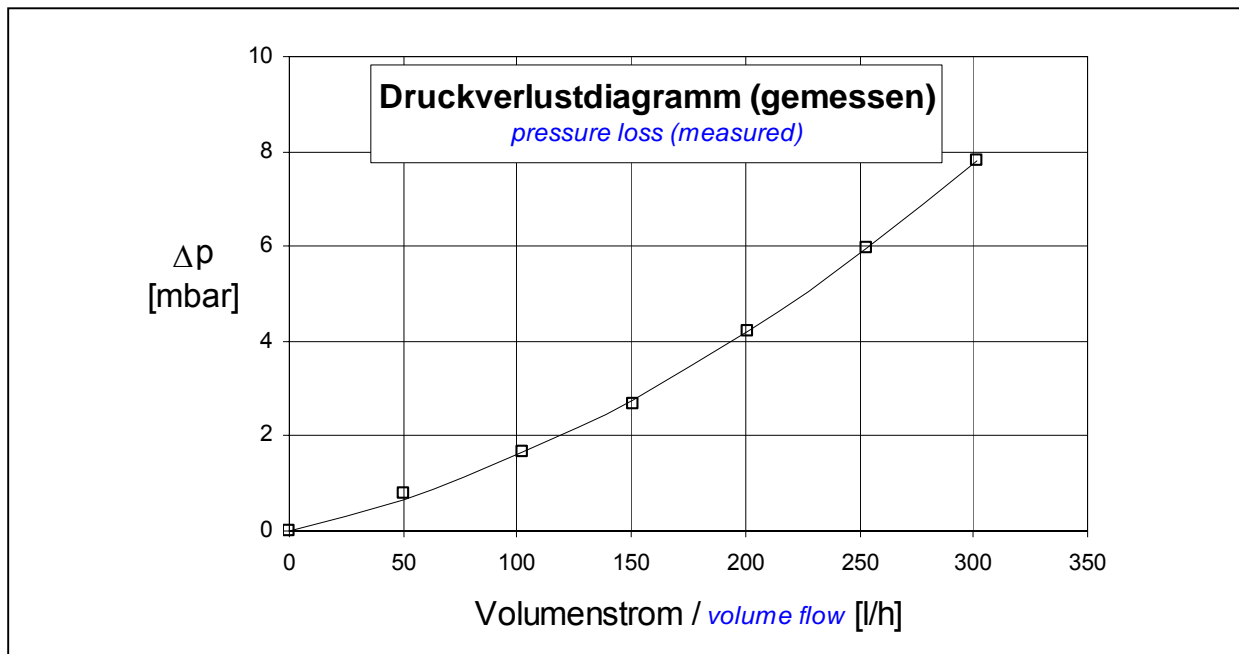


Tabelle der aufgenommenen Messwerte
Table of measuring data

Volumenstrom [l/h] <i>volume flow</i>	0.0	49.9	102.7	150.4	200.8	253.4	301.3
Druckverlust [mbar] <i>pressure loss</i>	0.0	0.8	1.7	2.7	4.2	5.9	7.8

14 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

keine Auffälligkeiten.
nothing particular.

15 Prüfverfahren

Test Methods

Die Prüfung des Kollektors erfolgte im Außentest nach der EN 12975-2:2001 "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 outdoor test of the collector was carried out under quasi-dynamic conditions according to EN 12975-2:2001 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods." Water was used as heat transfer fluid.

Eingang Prüfling: <i>Arrival of test sample:</i>	11.07.2005
Prüfzeitraum: <i>Test duration:</i>	12.07. – 21.09.2005
Prüfer: <i>Test engineer:</i>	Dipl.-Ing. S. Fischer

Stuttgart, den 26.09.2005



Prof. Dr.-Ing. H. Müller-Steinhagen

14 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Test Occurrences and Operating Behaviour

keine Auffälligkeiten.
nothing particular.

15 Prüfverfahren

Test Methods

Die Prüfung des Kollektors erfolgte im Außentest nach der EN 12975-2:2001 "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 outdoor test of the collector was carried out under quasi-dynamic conditions according to EN 12975-2:2001 "Thermal solar systems and components – Solar Collectors – Part 2: Test methods." Water was used as heat transfer fluid.

Eingang Prüfling: <i>Arrival of test sample:</i>	11.07.2005
Prüfzeitraum: <i>Test duration:</i>	12.07. – 26.09.2005
Prüfer: <i>Test engineer:</i>	Dipl.-Ing. S. Fischer

Stuttgart, den 26.09.2005

Prof. Dr.-Ing. 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>				
$\eta_0 = 0.732$	$a_1 = 3.771 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$				$c = 9.742 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$				
Einfallswinkel-Korrekturfaktoren <i>Incidence angle modifier</i>									
θ	0	10	20	30	40	50	60	70	
$K_{gb}(\theta)=$	1.000	0.996	0.984	0.961	0.922	0.859	0.746	0.511	

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	416	503	548
4	381	460	501
5	351	423	459
6	324	388	419

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: 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 auf der Seite 15 dokumentierten Kollektorparameter wurden gemäß den Vorgaben der EN 12975-2:2001 aus den Kollektorparametern der Messungen unter quasi-dynamischen Bedingungen abgeleitet.

The collector parameters shown on page 15 are, according to EN 12975-2:2001, 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}:	0.750 [-]
b₀:	0.254 [-]
K_{θd}:	0.895 [-]
c₁:	3.771 [W/(m ² K)]
c₂:	0.011 [W/(m ² K ²)]
c₅:	9.742 [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	10	15	20	30	40	50	60	70	90
K_{θb}(θ):	1.000	0.996	0.991	0.984	0.961	0.922	0.859	0.746	0.511	0.000

Berechnung der auf der Seite 15 dokumentierten Kollektorparameter

Calculation of the collector parameters shown on page 15

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:	Effektive Kollektorkapazität [J/K]: $C = c_5 \cdot \text{Aperturfläche} \cdot 1000$ <i>effective thermal capacity of the collector [J/K]: $C = c_5 \cdot \text{aperture area} \cdot 1000$</i>

Graphische Darstellung der Messwerte (6 Minuten Mittelwerte)

Graphical presentation of the measured data (6 minutes mean values)

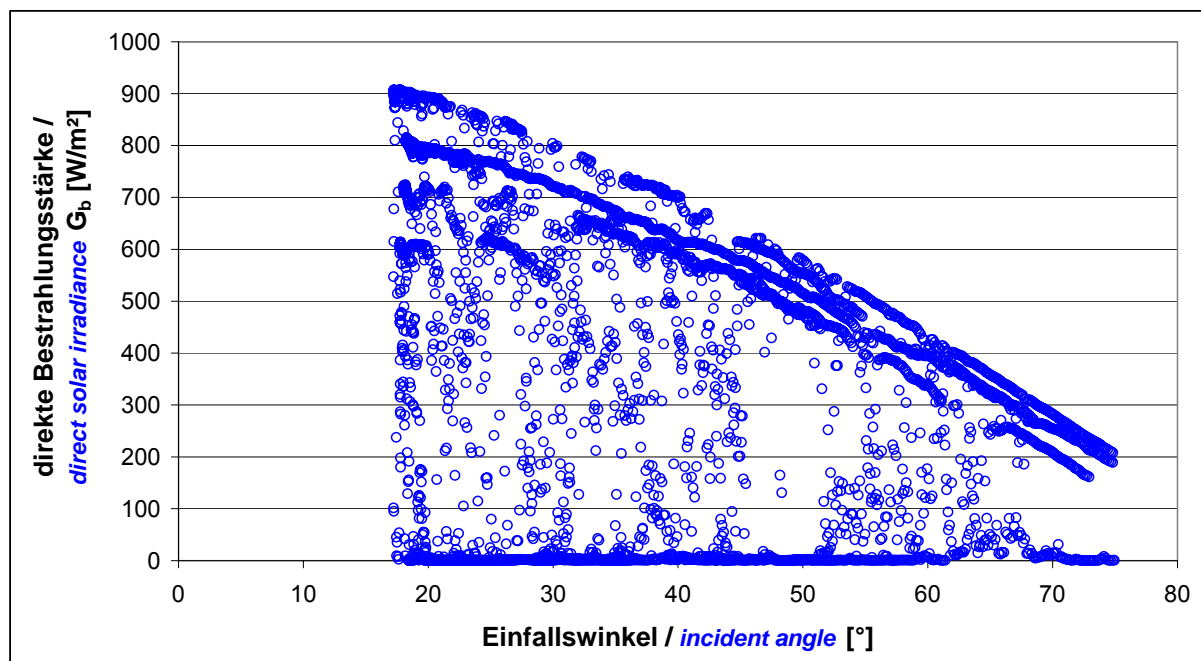


Abbildung B.1: Die direkte Bestrahlungsstärke über dem Einfallswinkel der direkten Bestrahlungsstärke
Figure B.1: the direct solar irradiance over the incident angle of the direct solar irradiance

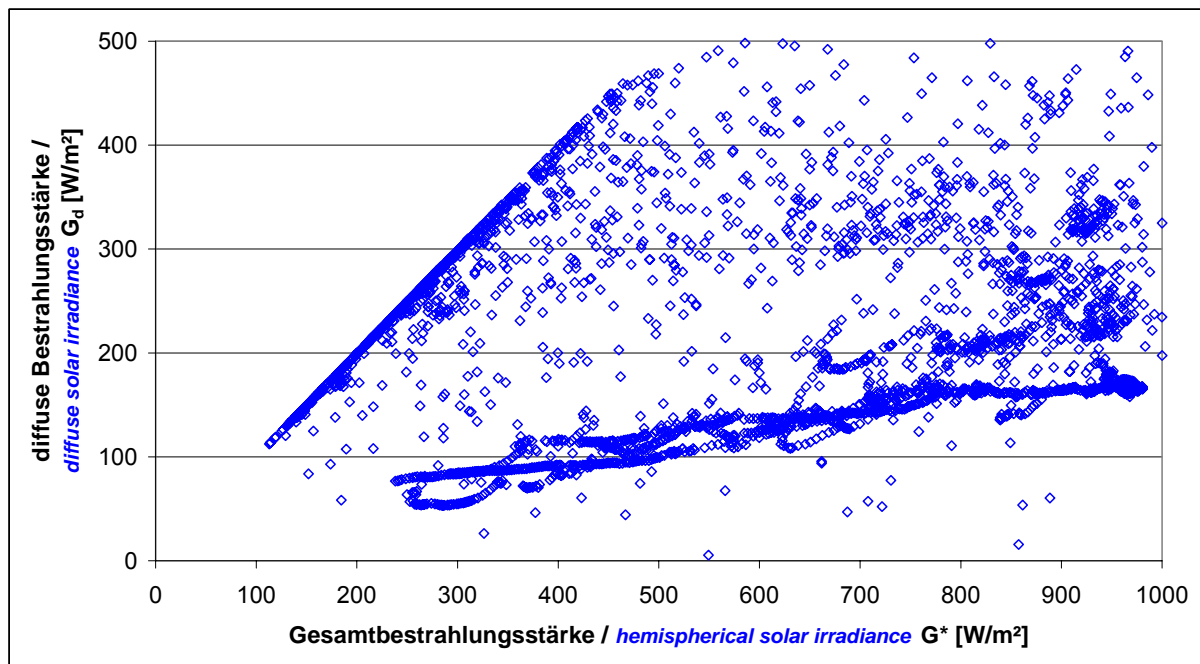


Abbildung B.2: Die diffuse Bestrahlungsstärke über der direkten Bestrahlungsstärke
Figure B.2: diffuse solar irradiance over the total solar irradiance

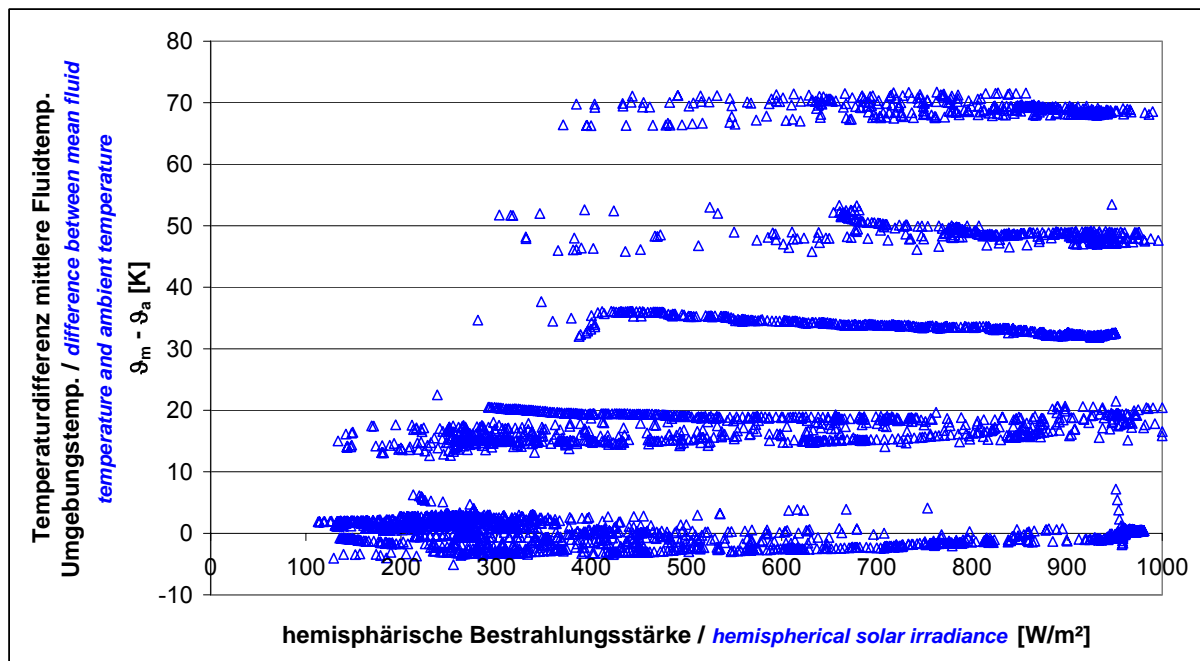


Abbildung B.3: Die Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur über der hemisphärischen Bestrahlungsstärke
Figure B.3: difference between mean fluid temperature and ambient temperature over the hemispherical solar

Anhang C: Nomenklatur

Annex C: Symbols and Units

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	[J/K]	Wärmekapazität / <i>heat capacity</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>
\dot{q}	[W/m ²]	flächenbezogene Kollektorleistung / <i>area based collector performance</i>
\dot{V}	[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>