



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.: 06COL517

Test Report No.: 06COL517

Stuttgart, den 20. November 2006

Stuttgart, November 20th, 2006

Auftraggeber:

client:

Ritter Solar GmbH & Co. KG
Kuchenäcker 1
72135 Dettenhausen

Hersteller:

manufacturer:

Ritter Solar GmbH & Co. KG

Typ:

brand name:

OEM - 21

Herstelljahr:

year of production:

2006

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

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

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

Hersteller <i>Manufacturer</i>	Ritter Solar GmbH & Co. KG Kuchenäcker 1 72135 Dettenhausen
Ansprechpartner: <i>contact person:</i>	Jörg Albrecht Tel.: +49-(7157)5359-166 Fax: +49-(7157)5359-19 email: j.albrecht@rittersolar.de
Typ: <i>type:</i>	OEM - 21 <i>OEM - 21</i>
Seriennummer: <i>serial no.:</i>	S2100003 <i>S2100003</i>
Serienprodukt oder Prototyp: <i>serial product or prototype:</i>	Serienprodukt <i>serial product</i>
Herstelljahr: <i>year of production:</i>	2006 <i>2006</i>

Bezugsflächen <i>Dimensions of collector unit</i>	von Prüflabor bestimmt <i>determined by test laboratory</i>
Bruttofläche: <i>gross area:</i>	2.32 m ² <i>2.32 m²</i>
Aperturfläche: <i>aperture area:</i>	1.33 m ² <i>1.33 m²</i>
Absorberfläche: <i>absorber area:</i>	1.09 m ² <i>1.09 m²</i>

Kollektor/Gehäuse <i>Technical figures</i>	
Bauart: <i>collector type:</i>	Vakuumpöröhrenkollektor <i>vacuum tube collector</i>
Länge: <i>length:</i>	1604 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1604 mm (determined by test laboratory)</i>
Breite: <i>width:</i>	1447 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>1447 mm (determined by test laboratory)</i>
Höhe: <i>height:</i>	90 mm (von Prüflabor bestimmt) <i>90 mm (determined by test laboratory)</i>
Material: <i>material:</i>	Aluminium <i>aluminium</i>
Gewicht: <i>weight:</i>	51 kg <i>51 kg</i>
Dichtungsmaterialien: <i>sealing material:</i>	Klemmringverschraubung <i>clamp collar connection</i>
Einbauweise: <i>collector mounting:</i>	Aufdach- und Flachdachmontage <i>on roof and flat roof mounting</i>

Absorber

Absorber

Material: <i>material:</i>	Borosilicatglas <i>borosilicate glass</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	1.6 mm <i>1.6 mm</i>
Oberflächenbehandlung: <i>surface treatment:</i>	selektiv beschichtet, AlN-Schicht <i>selective coating, AlN-coating</i>
Absorptionsgrad: <i>absorptance:</i>	> 93.5 % <i>> 93.5 %</i>
Emissionsgrad: <i>emittance:</i>	≤ 6 % <i>≤ 6 %</i>
Wärmeträgerinhalt: <i>heat transfer fluid content:</i>	2.5 l <i>2.5 l</i>
Durchströmungsform: <i>flow pattern:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Abmessungen Absorberrohre: <i>dimension absorber tubes:</i>	8 x 0.7 mm <i>8 x 0.7 mm</i>
Anzahl Absorberrohre: <i>no. of absorber tubes:</i>	21 U-Rohre <i>21 U-tubes</i>
Abstand der Absorberrohre: <i>distance between absorber tubes:</i>	66 mm <i>66 mm</i>
Abmessungen Sammlerrohr: <i>dimension of the header:</i>	15 x 1 mm <i>15 x 1 mm</i>
Anzahl Anschlüsse: <i>no. of connections:</i>	2 <i>2</i>
Ausführung Anschlüsse: <i>realisation of connections:</i>	Klemmringverschraubung <i>clamp collar connection</i>

Transparente Abdeckung

Transparent cover:

Anzahl: <i>number:</i>	1 <i>1</i>
Material: <i>material:</i>	Borosilikatglas <i>borosilicate glass</i>
Hersteller: <i>manufacturer:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Produktbezeichnung: <i>brand name:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Transmissionsgrad: <i>transmittance:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	1.6 mm <i>1.6 mm</i>

Wärmedämmung

Thermal insulation:

Material: <i>material:</i>	Absorber: Vakuum, Sammler: Steinwolle Formteile <i>absorber: vacuum, header: stone wool mouldings</i>
Wärmeleitfähigkeit: <i>thermal conductivity:</i>	0.035 W/(mK) <i>0.035 W/(mK)</i>
Wärmekapazität: <i>heat capacity:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Dichte: <i>density:</i>	keine Angabe <i>not specified</i>
Dicke: <i>thickness:</i>	20 mm <i>20 mm</i>

Grenzdaten

Limitations:

Stillstandstemperatur: <i>stagnation temperature:</i>	220 °C (von Prüflabor bestimmt) <i>220 °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>	Tyfocor LS <i>Tyfocor LS</i>
Nenndurchfluss pro Kollektor: <i>nominal flow rate per collector:</i>	79.8 kg/h <i>79.8 kg/h</i>

Feststellung des Kollektors

Collector identification:

Zeichnungssatz: <i>construction characteristics:</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Roehrenkollektor OEM 21 - Zeichnungsnr. OEM-1021 - Datum: 28.07.06▪ Kasten Deckelprofil OEM 21 - Zeichnungsnr. OEM-2112 - Datum: 08.05.06▪ Kasten Grundprofil OEM 21 - Zeichnungsnr. OEM-2111 - Datum: 08.05.06▪ Kupferregister - Zeichnungsnr. OEM-5190 - Datum: 28.07.06 ▪ <i>Roehrenkollektor OEM 21 - drawing no. OEM-1021 - date: 28.07.06</i>▪ <i>Kasten Deckelprofil OEM 21 - drawing no. OEM-2112 - date: 08.05.06</i>▪ <i>Kasten Grundprofil OEM 21 - drawing no. OEM-2111 - date: 08.05.06</i>▪ <i>Kupferregister - drawing no. OEM-5190 - date: 28.07.06</i>
Datenblätter: <i>technical data sheets:</i>	ITW Datenblatt Kollektor <i>ITW data sheet collector</i> OEM-1021 Stückliste Röhrenkollektor OEM 21 <i>OEM-1021 list of material tube collector OEM 21</i>
Kennzeichnung: <i>collector label:</i>	Das Typenschild ist gut sichtbar und haltbar angebracht und enthält alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7.2 geforderten Angaben. <i>The collector label is fixed visible and durable on the collector frame and includes all, according to EN 12975-1:2006 chapter 7.2 required information.</i>

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
- 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 OEM - 21.

The test report is valid for the collector type OEM - 21 described above.

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: 29.08.2006

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 12975-2:2006, 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: 20.10.2006

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	1073	27

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

4 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: 25.08.2006

Date:

Volumenstrom <i>flow rate</i> [l/(m ² min)]	Fluidtemperatur <i>temperature</i> [°C]	Prüfdauer <i>test duration</i> [h]
7.5	20	4

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

5 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: 19.08.-09.10.2006 52 Tage
Duration of exposure: 52 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]
815	31	662	34

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

6 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: 01.09.2006

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]
7.5	< 25	895	20.8

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 01.09.2006

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]
7.5	< 25	935	21

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

7 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: 20.10.2006
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]
2.4	< 25	874	25

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

2. Prüfung: 20.10.2006
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]
2.4	< 25	893	27

Ergebnis: kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1
Conclusion: no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1

8 Mechanische Belastung

Mechanical load test

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: 07.11.2006
Date:

Die Kollektorabdeckung wurde bis zu einem Druck von 3200 Pa belastet.
The collector cover was charged with a max. pressure of 3200 Pa.

Ergebnis: Bis zu einem Druck von 3000 Pa kein größerer Fehler nach EN 12975-1:2006, Kapitel 5.3.1. Bei einer Belastung von 3200 Pa Bruch von mehreren Glasröhren.
Conclusion: Up to a pressure of 3000 Pa no major failure acc. to EN 12975-2:2006, chapter 5.3.1. At the pressure of 3200 Pa failure of several glass tubes occurred.

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: 20.10.2006
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]
1073	231	27

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

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

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

zu $\vartheta_{stg} = 220^\circ\text{C}$
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: 10.11.2006
Date:

Ergebnis: Die optische Begutachtung des Kollektors ergab keine Auffälligkeiten oder Abnormalitäten.
Conclusion: The optical expertise of the collector did not show 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". Die Zuverlässigkeitsprüfungen erfolgten an einem baugleichen Kollektor OEM 21 mit der Seriennummer S2100002.

The test of the collector was performed according to EN 12975-2:2006 „thermal solar systems and components – solar collectors – part 2: test methods“. The reliability tests were carried out at a collector OEM 21, identical in construction, with the serial no. S2100002.

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. Beregnungsprüfung <i>Rain penetration</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. 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 220 °C.

The stagnation temperature at an irradiance of 1000 W/m² and at an ambient temperature of 30°C reaches 220 °C.

11.3 Feststellung des Kollektors

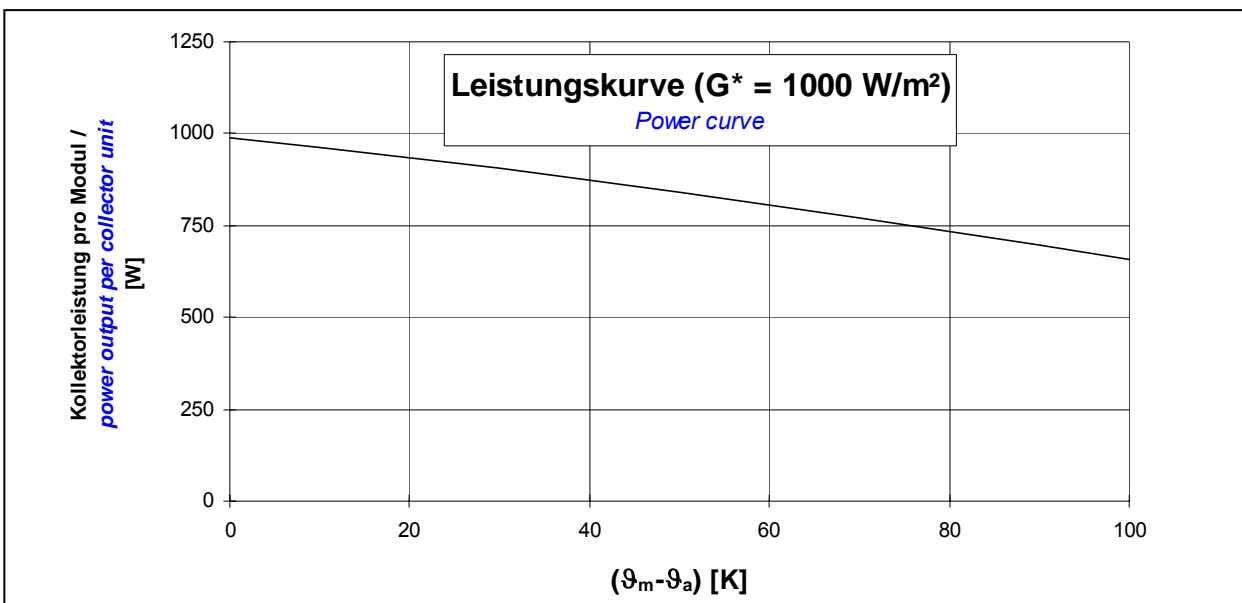
Collector identification

Eine Installationsanweisung fehlt. Sie sollte alle nach EN 12975-1:2006 Kapitel 7 geforderten Angaben (vgl. 1 Allgemeine Angaben) enthalten.

The installer instruction manual is missing. It should contain 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: <i>Determination of power per collector unit:</i>		$\dot{Q} = A \cdot G^* \left(\eta_0 - a_1 \frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)}{G^*} - a_2 \frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)^2}{G^*} \right)$
Konversionsfaktor η_0 [-] <i>conversion factor</i>		0.745
Wärmedurchgangskoeffizient a_1 [W/(m ² K)] <i>heat transfer coefficient</i>		2.007
temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a_2 [W/(m ² K ²)] <i>temperature depending heat transfer coefficient</i>		0.005
Einfallswinkel-Korrekturfaktor $K_\theta(50^\circ)$ [-] <i>incidence angle modifier</i>		s. Seite 14/ <i>see page 14</i>
flächenbezogene Wärmekapazität c [kJ/(m ² K)] <i>area related heat capacity</i>		19.450
Volumenstrom [l/(m ² h)] <i>volume flowrate</i>		60
Aperturfläche pro Kollektormodul A [m ²] <i>aperture area per collector unit</i>		1.33
Peakleistung [W _{peak}] ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) pro Kollektormodul <i>peak power [W_{peak}] ($G^* = 1000 \text{ W/m}^2, (\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$) per collector unit:</i>		991



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	396	694	991
10	369	666	963
30	310	608	905
50	246	544	841

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 Prüfung des Kollektors 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. Als Wärmeträger wurde Wasser verwendet. Der Einfallswinkelkorrekturfaktor wurde im Außentest bestimmt.

The indoor test of the collector was carried out under steady state 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 incidence angle modifier was determined in an outdoor test.

Eingang Prüfling: <i>Arrival of test sample:</i>	18.08.2006
Prüfzeitraum: <i>Test duration:</i>	19.08. – 10.11.2006
Prüfer: <i>Test engineer:</i>	Dipl.-Ing. S. Fischer / M. Wild

Stuttgart, den 20. November 2006



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>			
$\eta_0 = 0.745$			$a_1 = 2.007 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			$c = 19.450 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$			
			$a_2 = 0.005 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$						
Einfallswinkel-Korrekturfaktoren <i>Incidence angle modifier</i>									
		θ	0	20	40	50	60	70	90
$K_{\theta d} = 1.12$	$K_{\theta b}(\theta_i)$		1.00	1.00	0.97	0.94	0.87	0.73	0.00
	$K_{\theta b}(\theta_t)$		1.00	1.05	1.29	1.54	1.54	1.37	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	649	780	857
4	600	706	764
5	546	619	662
6	493	540	575

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: 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: Nomenklatur

Annex B: 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>