



**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

PRÜFBERICHT: KTB Nr. 2007-06-k

## Leistungsmessung eines Sonnenkollektors nach EN 12975-2:2006

**für:**

Roto Bauelemente Vertriebs GmbH , Deutschland

**Kollektorbezeichnung:**

SRK 10/20

**Prüfingenieur:**

Dipl.-Ing. (FH) K.Kramer

**Datum:**

6. Dezember 2007

**Adresse:**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg  
Tel.: +49-761-4588-5354; Fax.: +49-761-4588-9354  
E-mail: korbinian.kramer@ise.fraunhofer.de  
Internet: www.kollektortest.de

Akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005



Registriernummer:

DAP-PL-3926.00



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Überblick über die Ergebnisse</b>	<b>4</b>
1.1 Vorbemerkung . . . . .	4
1.2 Ermittelte Leistungsparameter . . . . .	4
1.3 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor - IAM . . . . .	4
1.4 Wärmekapazität des Kollektors . . . . .	4
1.5 Übersicht der Tests und Berechnungen . . . . .	5
1.6 Gesamtergebnis . . . . .	5
<b>2 Prüfstelle</b>	<b>6</b>
<b>3 Auftraggeber, Vertreiber, Hersteller</b>	<b>6</b>
<b>4 Beschreibung der Komponenten</b>	<b>7</b>
4.1 Kollektor . . . . .	7
4.2 Absorber . . . . .	7
4.3 Wärmedämmung und Gehäuse . . . . .	8
4.4 Grenzwerte . . . . .	8
4.5 Einbauweise . . . . .	8
4.6 Foto und Schnittzeichnung des Kollektors . . . . .	9
<b>5 Leistungsparameter des Kollektors</b>	<b>10</b>
5.1 Prüfverfahren . . . . .	10
5.2 Beschreibung der Berechnung . . . . .	10
5.3 Leistungsparameter . . . . .	11
5.4 Energieertrag pro Kollektormodul . . . . .	12
<b>6 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM</b>	<b>13</b>
<b>7 Wärmekapazität des Sonnenkollektors</b>	<b>14</b>
<b>8 Kollektoridentifikation/Dokumentation</b>	<b>14</b>
<b>9 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors</b>	<b>15</b>
<b>10 Anmerkung zum Prüfbericht</b>	<b>15</b>



<b>A</b>	<b>Absorberzeichnung</b>	<b>16</b>
<b>B</b>	<b>Wirkungsgradkennlinie und Messdaten zur Leistungsbestimmung</b>	<b>17</b>
B.1	Messdaten der Wirkungsgradkennlinie . . . . .	17
B.2	Wirkungsgradkurve . . . . .	18
B.3	Wirkungsgradkurve für die ermittelten Koeffizienten und für eine angenommene Bestrahlungsstärke von $800 \text{ W/m}^2$ , bezogen auf die Aperturfläche $1.947 \text{ m}^2$ . . . . .	19

## 1 Überblick über die Ergebnisse

### 1.1 Vorbemerkung

Die Leistungsprüfung wurde nach EN 12975 durchgeführt. Es wurden alle Kriterien für den Mindestertragsnachweis (Zertifikat über 525 kWh/m<sup>2</sup>a) für die deutsche Förderung erreicht. Der Mindestertragsnachweis wurde für den Kollektor SRK 10/20 erstellt.

### 1.2 Ermittelte Leistungsparameter

Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen:

Aperturfläche von 1.947 m<sup>2</sup>: Absorberfläche von 1.907 m<sup>2</sup>:

$$\eta_{0a} = 0.769$$

$$\eta_{0A} = 0.785$$

$$a_{1a} = 3.940 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{1A} = 4.023 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{2a} = 0.0098 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

$$a_{2A} = 0.0100 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

Energieertrag pro Kollektormodul [W]:

$t_m - t_a$ [K]	400 [W/m <sup>2</sup> ]	700 [W/m <sup>2</sup> ]	1000 [W/m <sup>2</sup> ]
10	520	969	1419
30	352	801	1250
50	168	617	1066

### 1.3 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor - IAM

$\theta$ :	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K_\theta$ :	<b>1.00</b>	1.00	1.00	0.99	0.98	<b>0.94</b>	0.87	0.73	0.47	0.00

Tabelle 1: Gemessene (**fett**) und berechnete IAM-Daten für SRK 10/20

### 1.4 Wärmekapazität des Kollektors

Die Kollektorkapazität beträgt:

$$8.76 \text{ kJ/K}$$

Die flächenbezogene Kollektorkapazität pro Quadratmeter ist somit:

$$4.50 \text{ kJ/K m}^2$$



## 1.5 Übersicht der Tests und Berechnungen

Prüfung	Datum	Ergebnis
Anlieferungsdatum:	02.02.07	
Ermittlung der Leistungsparameter	08.02.07	durchgeführt
Ermittlung des IAM	12.03.07	durchgeführt
Ermittlung der Wärmekapazität	berechnet	durchgeführt

## 1.6 Gesamtergebnis

Der Kollektor hat alle Prüfungen bestanden. Während der Messung war eine Verwölbung des Absorberblechs zu beobachten. Dies wurde dem Auftraggeber mitgeteilt.



## 2 Prüfstelle

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS) des Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg  
Tel.: +49-761-4588-5139 oder -5141; Fax.: +49-761-4588-9139  
E-mail: korbinian.kramer@ise.fraunhofer.de; rommel@ise.fraunhofer.de  
Internet: <http://www.kollektortest.de>

## 3 Auftraggeber, Vertreiber, Hersteller

Auftraggeber:	Roto Bauelemente Vertriebs GmbH Herr Klöpfer Wilhelm-Frank- Str. 38 - 40 , 97980 Bad Mergentheim Tel: +49 (0) 7931-5490-0 Fax: +49 (0) 7931-5490-54 E-mail: <a href="mailto:info@sun-master.at">info@sun-master.at</a>
Vertreiber:	siehe Auftraggeber
Hersteller:	SunMaster Lauterbacher Strasse 7 4560 Kirchdorf a. d. Krems Tel: +43 (0) 7582-602 12 Fax: +43 (0) 7582-602 60 E-mail: <a href="mailto:info@sun-master.at">info@sun-master.at</a>

## 4 Beschreibung der Komponenten

### 4.1 Kollektor

	(HA): Herstellerangabe
Typ:	Flachkollektor mit Holzrahmen und Mäanderabsorber
Bezeichnung:	SRK 10/20
Seriennummer:	keine Angabe
Baujahr:	2007
Anzahl an Testkollektoren:	2
Kollektor Referenznummer 1:	2 KT 11 002 012007 (Leistung)
Kollektor Referenznummer 2:	2 KT 11 003 012007 (Funktion)
Bruttofläche:	2.030 m * 1.049 m = 2.130 m <sup>2</sup>
Aperturfläche: (Lichteinfallfläche)	0.992 m * 1.963 m = 1.947 m <sup>2</sup>
Absorberfläche:	0.985 m * 1.936 m = 1.907 m <sup>2</sup> (HA)
Werkstoff der Abdeckung:	ESG (HA)
Anzahl der Abdeckungen:	1
Transmission der Abdeckung:	88 % ± 2 % (HA)
Dicke der Abdeckung:	3.2 mm (HA)
Gewicht leer:	41 kg
Füllmenge:	1.17 l (HA)
Wärmeträgermedium:	Frostschutz-Wasser-Gemisch (HA)

### 4.2 Absorber

Werkstoff des Absorberblechs:	Aluminium (HA)
Dicke des Absorberblechs:	0.5 mm (HA)
Oberflächenbehandlung:	Alanod; mirotherm (HA)
Absorptionsgrad $\alpha$ :	94 % ± 2% (HA)
Emissionsgrad $\varepsilon$ :	5 % ± 2% (HA)
Werkstoff der Absorberrohre:	Kupfer (HA)
Verschaltung der Absorberrohre:	Mäander (HA)
Anzahl der Absorberrohre:	1 (HA)
Rohrdurchmesser:	12 mm (HA)
Wandstärke:	0.5 mm (HA)
Rohrabstand:	165 mm (HA)

#### 4.3 Wärmedämmung und Gehäuse

Kollektorabmessungen	
Höhe, Breite, Tiefe:	2.030 m, 1.049 m, 0.089 m
Dicke der Wärmedämmung	
hinten:	20 mm Steinwolle + 10 mm MDF (HA)
Dicke der Wärmedämmung an den Seiten:	20 mm Steinwolle (HA)
Dämmstoff:	Steinwolle, MDF (HA)
Gehäusewerkstoff:	Holz (HA)
Dichtungsmaterial:	EPDM (HA)

#### 4.4 Grenzwerte

Maximaler Betriebsdruck:	1000 kPa (HA)
Nennbetriebsdruck:	350 kPa (HA)
Maximale Betriebstemperatur:	keine Angabe
Maximale Stillstandtemperatur:	184.5 °C
Maximale Wind-/Schneelast:	3.0 kPa
Empfohlener Anstellwinkel:	22°- 90°
Nenndurchfluss:	200 l/m <sup>2</sup> h bei 10 m <sup>2</sup> in Reihe (HA)

#### 4.5 Einbauweise

Flachdach - auf Dacheindeckung:	nein (HA)
Schrägdach - auf Dacheindeckung:	nein (HA)
Schrägdach - in Dacheindeckung integriert:	ja (HA)
Freie Aufstellung	nein (HA)
Fassade:	nein (HA)

#### 4.6 Foto und Schnittzeichnung des Kollektors

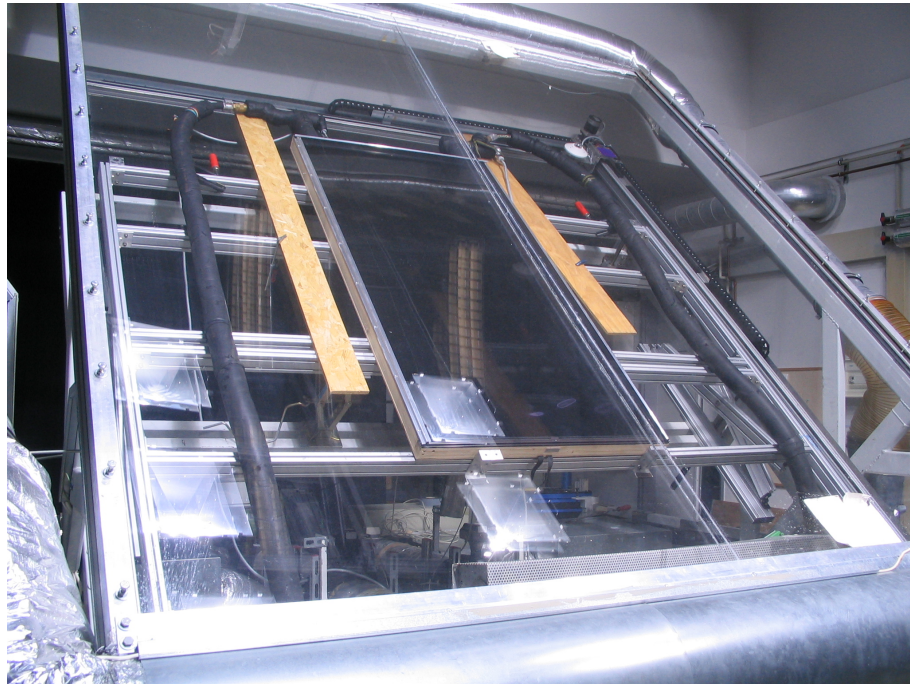


Abbildung 1: Foto des Kollektors SRK 10/20

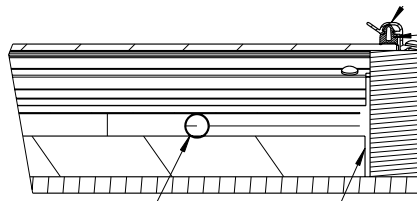


Abbildung 2: Schnittzeichnung des Kollektors SRK 10/20

## 5 Leistungsparameter des Kollektors

### 5.1 Prüfverfahren

Innenprüfstand mit Solarsimulator,  
quasistationäre Messung nach EN 12975-2:2006 Thermische Solaranlagen und  
ihre Bauteile-Kollektoren-Teil 2: Prüfverfahren

### 5.2 Beschreibung der Berechnung

Die funktionale Abhängigkeit des Wirkungsgrades von den meteorologischen und den systemtechnischen Betriebsgrößen kann durch folgende mathematische Beziehung dargestellt werden:

$$\eta_{(G,(t_m-t_a))} = \eta_0 - a_{1a} \frac{t_m - t_a}{G} - a_{2a} \frac{(t_m - t_a)^2}{G} \quad (1)$$

(bezogen auf Aperturfläche)

mit:

$$t_m = \frac{t_e + t_{in}}{2}$$

wobei:  $G$  = globale Bestrahlungsstärke ( $W/m^2$ )  
 $t_{in}$  = Kollektor Eintrittstemperatur ( $^{\circ}C$ )  
 $t_e$  = Kollektor Austrittstemperatur ( $^{\circ}C$ )  
 $t_a$  = Umgebungslufttemperatur ( $^{\circ}C$ )

Die Koeffizienten  $\eta_0$ ,  $a_{1a}$  und  $a_{2a}$  haben folgende Bedeutung:

$\eta_0$ : Wirkungsgrad ohne thermische Verluste, d.h. bei mittlerer Wärmeträgertemperatur gleich Umgebungslufttemperatur, also

$$t_m = t_a$$

Die Koeffizienten  $a_{1a}$  und  $a_{2a}$  beschreiben den Wärmeverlust des Kollektors. Die auf die Aperturfläche bezogenen thermischen Gesamtverluste des Kollektors werden durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$a_{1a} + a_{2a} * (t_m - t_a)$$

### 5.3 Leistungsparameter

Testmethode:	Innenprüfstand mit Solarsimulator quasistationäre Messung
Kollektoranstellwinkel:	45°
Mittlere Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Art des Wärmeträgers:	Wasser
Zeitpunkt der Messung:	Januar 2007
Mittlere Durchströmung:	137 kg/h
Mittlere Einstrahlung $G$ :	939 W/m <sup>2</sup>

Ergebniss: Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen

Aperturfläche von 1.947 m <sup>2</sup> :	Absorberfläche von 1.907 m <sup>2</sup> :
$\eta_{0a} = 0.769$	$\eta_{0A} = 0.785$
$a_{1a} = 3.940 \text{ W/m}^2\text{K}$	$a_{1A} = 4.023 \text{ W/m}^2\text{K}$
$a_{2a} = 0.0098 \text{ W/m}^2\text{K}^2$	$a_{2A} = 0.0100 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

Die Berechnung der Standardabweichung wurde gemäß ENV 13025:1999 (GUM) durchgeführt. Basierend auf dieser Berechnung beträgt die Standardunsicherheit (k=2) der ermittelten Wirkungsgrade 0,02. (zum Beispiel  $T_m - T_a = 0; \eta = 0.769 \pm 0,02$ ) Die angegebene Unsicherheit ist eine erweiterte Unsicherheit, die auf einer Standardunsicherheit von 0.01 multipliziert mit einem Erweiterungsfaktor k=2 basiert, was ein Vertrauensniveau von ca. 95 % ergibt.(EAL-G23, 08/96 Rev01)

## 5.4 Energieertrag pro Kollektormodul

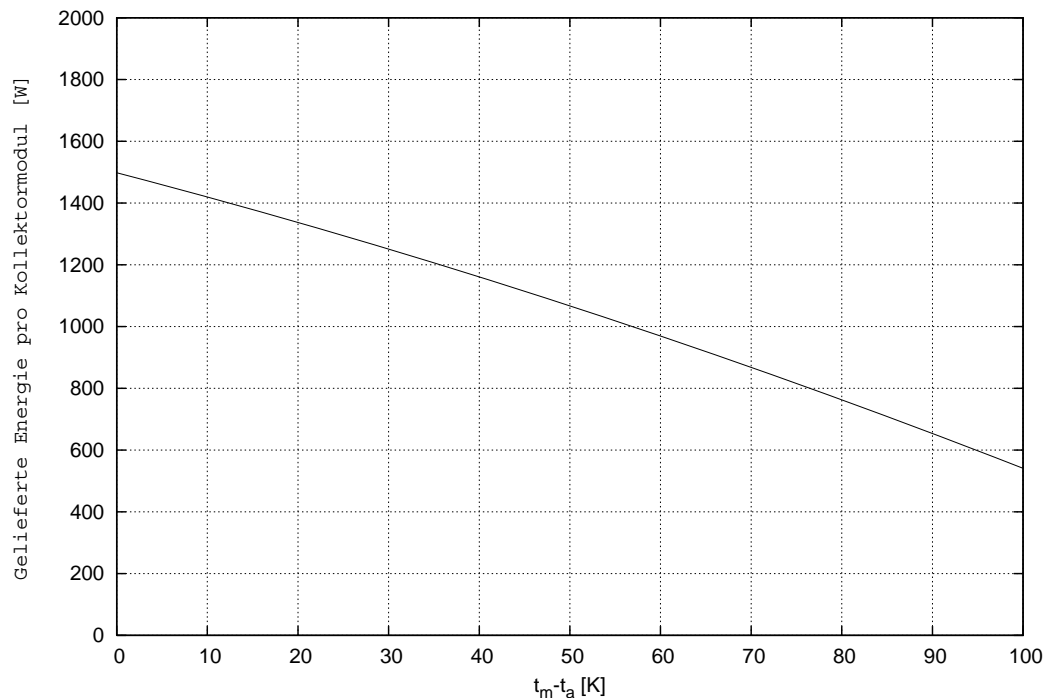


Abbildung 3: Energieertrag des Kollektormodul SRK 10/20 , bezogen auf eine Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$

Energieertrag des Kollektormoduls SRK 10/20 [W]:

$t_m - t_a$ [K]	400 [ $\text{W/m}^2$ ]	700 [ $\text{W/m}^2$ ]	1000 [ $\text{W/m}^2$ ]
10	520	969	1419
30	352	801	1250
50	168	617	1066

## 6 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM

Der Einstrahlwinkelkorrekturfaktor (eng. Incidence Angle Modifier, IAM) ist ein Korrekturfaktor, der die Abhängigkeit des Leistungsverhaltens eines Kollektors vom Einfallswinkel der Strahlung ausdrückt.

Für Flachkollektoren wird der IAM als punktsymmetrisch angenommen. Das bedeutet, es ergibt sich nur eine Abhängigkeit ( $K_\theta$ ) des Leistungsverhaltens vom Winkel zwischen der einfallenden Strahlung und der Normalen zur Kollektorebene.

Testmethode: Innenprüfstand mit SolarSimulator  
quasistationär

Kollektorausrichtung: fest

Der IAM wurde für den Winkel  $\theta = 50^\circ$  gemessen. Alle anderen Winkel zur Bestimmung des IAM, wie sie in Tabelle 2 angegeben sind wurden nach Ambrosetti <sup>1</sup>(Gleichung 2) berechnet.

$$K_\theta = 1 - \left[ \tan \frac{\theta}{2} \right]^r \quad (2)$$

$\theta$ :	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K_\theta$ :	<b>1.00</b>	1.00	1.00	0.99	0.98	<b>0.94</b>	0.87	0.73	0.47	0.00

Tabelle 2: Gemessene (**fett**) und berechnete IAM-Daten für SRK 10/20

<sup>1</sup>P.Ambrosetti. Das neue Bruttowärmeertragsmodell für verglaste Sonnenkollektoren, Teil 1 Grundlagen. EIR, Wurenlingen 1983

## 7 Wärmekapazität des Sonnenkollektors

Die Wärmekapazität des Sonnenkollektors wurde nach Kapitel 6.1.6.2 von EN 12975-2:2006 berechnet. Als Wärmeträgermedium wurde ein Wasser/Glykolegemisch im Verhältnis von 2/1 bei 50°C zugrundegelegt.

Die effektive Kollektorkapazität beträgt:

8.76 kJ/K

Die spezifische effektive Kollektorkapazität pro Quadratmeter ist somit:

4.50 kJ/K m<sup>2</sup>

## 8 Kollektoridentifikation/Dokumentation

Zur Prüfung lagen nicht alle notwendigen Dokumente nach EN 12975-1 Kapitel 7 vor (Details siehe Auflistung).

- Zeichnungssatz und Datenblatt
- Kollektortypenschild
- Installationsanleitung (lag nicht vor)
- Materialliste



## 9 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Die Messungen wurden im Zeitraum Januar 2007 bis März 2007 durchgeführt.

## 10 Anmerkung zum Prüfbericht

Die im Prüfbericht dargestellten Prüfergebnisse beziehen sich auf den Testkollektor. Eine auszugsweise Vervielfältigung oder Kopie des Prüfberichts ist nicht gestattet.

Prüfbericht: KTB Nr. 2007-06-k

Freiburg, 6. Dezember 2007

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dipl.-Phys. M. Rommel  
Leiter des Prüfzentrums für  
Thermische Solaranlagen

Dipl.-Ing. (FH) K.Kramer  
Prüfingenieur



## B Wirkungsgradkennlinie und Messdaten zur Leistungsbestimmung

### B.1 Messdaten der Wirkungsgradkennlinie

m	$t_{in}$	$t_e$	$t_e - t_{in}$	$t_m$	$t_a$	$t_m - t_a$	$(t_m - t_a)/G$	$\eta_{aa}$
[kg/h]	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	[K]	[Km <sup>2</sup> /W]	[-]
134.4	25.01	34.07	9.06	29.54	30.08	-0.54	-0.0006	0.773
134.4	24.97	34.03	9.05	29.50	30.06	-0.56	-0.0006	0.772
134.5	24.94	33.99	9.05	29.47	30.06	-0.59	-0.0006	0.773
134.5	24.90	33.94	9.04	29.42	29.93	-0.51	-0.0005	0.772
133.2	25.14	34.14	8.99	29.64	27.83	1.81	0.0019	0.761
133.2	25.14	34.14	9.00	29.64	27.81	1.83	0.0019	0.761
133.2	25.15	34.14	9.00	29.65	27.87	1.77	0.0019	0.761
133.2	25.15	34.15	9.00	29.65	27.93	1.73	0.0018	0.761
143.5	58.20	65.06	6.85	61.63	29.59	32.04	0.0341	0.625
143.5	58.20	65.06	6.86	61.63	29.60	32.04	0.0341	0.625
143.4	58.20	65.06	6.86	61.63	29.60	32.03	0.0341	0.625
143.3	58.20	65.06	6.86	61.63	29.65	31.99	0.0341	0.625
138.5	81.81	87.57	5.76	84.69	30.15	54.54	0.0581	0.509
138.5	81.82	87.58	5.76	84.70	30.12	54.58	0.0581	0.509
138.6	81.83	87.59	5.76	84.71	30.23	54.47	0.0580	0.509
138.6	81.83	87.59	5.77	84.71	30.25	54.46	0.0580	0.510
135.3	105.25	109.69	4.44	107.47	30.59	76.89	0.0819	0.385
135.3	105.27	109.72	4.45	107.50	30.51	76.99	0.0820	0.386
135.4	105.27	109.71	4.44	107.49	30.57	76.92	0.0819	0.385
135.3	105.28	109.72	4.44	107.50	30.61	76.89	0.0819	0.385

Tabelle 3: Daten der am Innenprüfstand ermittelten Wirkungsgradpunkte

## B.2 Wirkungsgradkurve

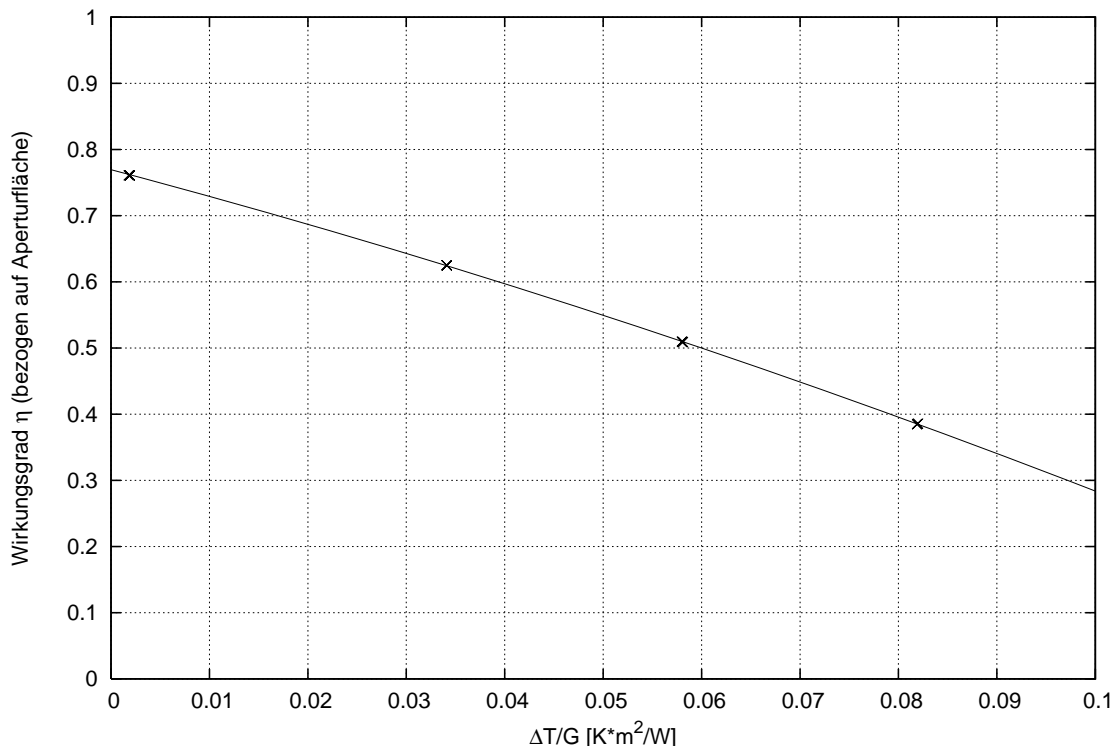


Abbildung 5: Wirkungsgradkurve mit den Messpunkten, bezogen auf die Aperturfläche 1.947 m<sup>2</sup>

Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen:

Aperturfläche von 1.947 m<sup>2</sup>:      Absorberfläche von 1.907 m<sup>2</sup>:

$$\eta_{0a} = 0.769$$

$$\eta_{0A} = 0.785$$

$$a_{1a} = 3.940 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{1A} = 4.023 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{2a} = 0.0098 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

$$a_{2A} = 0.0100 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

B.3 Wirkungsgradkurve für die ermittelten Koeffizienten und für eine angenommene Bestrahlungsstärke von  $800 \text{ W/m}^2$ , bezogen auf die Aperturfläche  $1.947 \text{ m}^2$

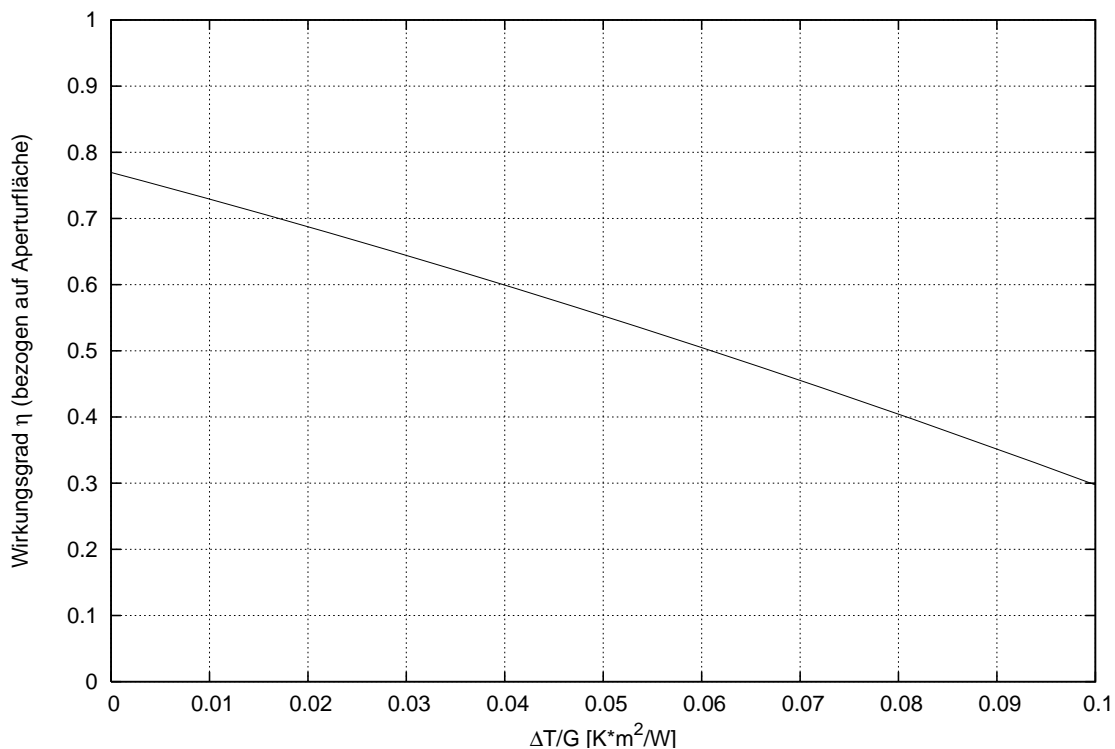


Abbildung 6: Wirkungsgradkurve normiert auf  $800 \text{ W/m}^2$ , bezogen auf die Aperturfläche  $1.947 \text{ m}^2$

Ergebnis:

Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen:

Aperturfläche:

$$\eta_{0.05a} = 0.552$$

Absorberfläche:

$$\eta_{0.05A} = 0.564$$

$\eta_{0.05Ap}$  gibt den auf die Aperturfläche bezogenen Wirkungsgrad des Kollektors bei beispielsweise folgenden Bedingungen an:  
 einer Einstrahlung von  $800 \text{ W/m}^2$ ,  
 einer Umgebungslufttemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und  
 einer mittleren Kollektorbetriebstemperatur von  $60^\circ\text{C}$ .