



**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

PRÜFBERICHT: KTB Nr. 2006-30

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

**für:**

BBT Thermotechnik GmbH - Buderus , Deutschland

**Kollektorbezeichnung:**

Logasol SKS 4.0

**Prüfingenieur:**

Dipl.-Ing. (FH) A. Schäfer

**Datum:**

16. November 2006

**Adresse:**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg  
Tel.: +49-761-4588-5354; Fax.: +49-761-4588-9354  
E-mail: arim.schaefer@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>3</b>
1.1 Vorbemerkung . . . . .	3
1.2 Ermittelte Leistungsparameter . . . . .	3
1.3 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor - IAM . . . . .	3
1.4 Durchgeführte Prüfungen . . . . .	3
1.5 Gesamtergebnis . . . . .	3
<b>2 Prüfstelle</b>	<b>4</b>
<b>3 Auftraggeber, Vertreiber, Hersteller</b>	<b>4</b>
<b>4 Beschreibung des Sonnenkollektors</b>	<b>5</b>
4.1 Kollektor . . . . .	5
4.2 Absorber . . . . .	5
4.3 Wärmedämmung und Gehäuse . . . . .	6
4.4 Grenzwerte . . . . .	6
4.5 Einbauweise . . . . .	6
4.6 Foto und Schnittzeichnung des Kollektors . . . . .	7
<b>5 Leistungsparameter des Kollektors</b>	<b>8</b>
5.1 Prüfverfahren . . . . .	8
5.2 Beschreibung der Berechnung . . . . .	8
5.3 Quasistationäre Leistungsparameter bezogen auf Aperturfläche, sowie die mittlere Fluidtemperatur . . . . .	9
5.4 Energieertrag pro Kollektormodul . . . . .	11
<b>6 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM</b>	<b>12</b>
<b>7 Wärmekapazität des Sonnenkollektors</b>	<b>12</b>
<b>8 Kollektoridentifikation/Dokumentation</b>	<b>12</b>
<b>9 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors</b>	<b>13</b>
<b>10 Anmerkung zum Prüfbericht</b>	<b>13</b>
<b>A Absorberskizze</b>	<b>14</b>
<b>B Messdaten zur IAM- und <math>\eta_0</math> Bestimmung</b>	<b>15</b>
<b>C Messdaten zur Bestimmung der Verlustparameter <math>a_1</math> und <math>a_2</math></b>	<b>16</b>

## 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 Logasol SKS 4.0 erstellt.

### 1.2 Ermittelte Leistungsparameter

Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen:

Aperturfläche von 2.090 m<sup>2</sup>:      Absorberfläche von 2.098 m<sup>2</sup>:

$$\eta_{0a} = 0.851$$

$$\eta_{0A} = 0.848$$

$$a_{1a} = 4.036 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{1A} = 4.021 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{2a} = 0.0108 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

$$a_{2A} = 0.0108 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

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	625	1158	1692
30	438	972	1505
50	233	767	1300

### 1.3 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor - IAM

$$\text{IAM bei } \theta = 50^\circ = 0.950$$

### 1.4 Durchgeführte Prüfungen

Anlieferungsdatum:	11.09.2006	
Prüfung	Datum	Ergebnis
Ermittlung der Leistungsparameter	19.09.-05.10.2006	ermittelt
Ermittlung des IAM	09.10.2006	ermittelt
Ermittlung der Kapazität:	15.11.2006	ermittelt

### 1.5 Gesamtergebnis

Der Kollektor hat alle Prüfungen bestanden. Während der Messung traten keine Besonderheiten auf.



## 2 Prüfstelle

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS) des Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg  
Tel.: +49-761-4588-5354 oder -5141; Fax.: +49-761-4588-9354  
E-mail: arim.schaefer@ise.fraunhofer.de; rommel@ise.fraunhofer.de  
Internet: <http://www.kollektortest.de>

## 3 Auftraggeber, Vertreiber, Hersteller

Auftraggeber:	BBT Solar Diamant Ralf Köbbemann-Rengers Prozessionsweg 10 D-48493 Wettringen Tel: +49 (0) 25 57 93 99-0 Fax: +49 (0) 25 57 93 99 55
Vertreiber:	BBT Thermotechnik GmbH - Buderus Sophienstrasse 30-32 D-35573 Wetzlar
Hersteller:	siehe Auftraggeber

## 4 Beschreibung des Sonnenkollektors

### 4.1 Kollektor

(HA): Herstellerangabe	
Typ:	Doppel-Mäander
Bezeichnung:	Logasol SKS 4.0
Seriennummer:	82999360-00-6219-10330
Baujahr:	2006
Anzahl an Testkollektoren:	1
Kollektor Referenznummer:	2 KT 60 002 092006
Bruttofläche:	2.080 m * 1.155 m = 2.403 m <sup>2</sup>
Aperturfläche:	1.981 m * 1.055 m = 2.090 m <sup>2</sup> (Lichteinfallfläche, ohne Randverbund)
Absorberfläche:	1.983 m * 1.058 m = 2.098 m <sup>2</sup> (HA)
Werkstoff der Abdeckung:	eisenarmes Solarglas (HA)
Anzahl der Abdeckungen:	1
Transmission der Abdeckung:	91.6 % (HA)
Dicke der Abdeckung:	3,2 mm (HA)
Gewicht leer:	46.4 kg
Füllmenge:	1,43 l (HA)
Wärmeträgermedium:	Wasser/Glykol 50/50, bzw. 70/30 in Südeuropa (HA)

### 4.2 Absorber

Werkstoff des Absorberblechs:	Kupfer (HA)
Dicke des Absorberblechs:	0,28 mm (HA)
Oberflächenbehandlung:	Sunselect (HA)
Absorptionsgrad $\alpha$ :	95.5 % (HA)
Emissionsgrad $\varepsilon$ :	5 % (HA)
Werkstoff der Absorberrohre:	Kupfer (HA)
Verschaltung der Absorberrohre:	Doppel-Mäander (HA)
Anzahl der Absorberrohre:	2 (HA)
Rohrdurchmesser:	8 mm (HA)
Wandstärke:	0.4 mm (HA)
Rohrabstand:	92 mm (HA)
Material des Sammelkanals:	Kupfer (HA)
Rohrdurchmesser des Sammelkanals:	8 mm (HA)
Wandstärke des Sammelkanals:	0.7 mm (HA)

#### 4.3 Wärmedämmung und Gehäuse

Kollektorabmessungen	
Höhe, Breite, Tiefe:	2.080 m, 1.155 m, 0.091 m
Dicke der Wärmedämmung hinten:	55 mm (HA)
Dicke der Wärmedämmung an den Seiten:	keilförmig, 38 mm*38 mm*58 mm (HA)
Dämmstoff:	Mineralwolle (HA)
Gehäusewerkstoff:	glasfaser verstärktes Polyester (HA)
Dichtungsmaterial:	2-K-Silikon (HA)

#### 4.4 Grenzwerte

Maximaler Betriebsdruck:	1000 kPa (HA)
Nennbetriebsdruck:	300 kPa (HA)
Maximale Betriebstemperatur:	keine Angabe
Maximale Stillstandtemperatur:	keine Angabe
Maximale Windlast:	keine Angabe
Empfohlener Anstellwinkel:	45°
Nenndurchfluss:	100 l/m <sup>2</sup> h (HA)

#### 4.5 Einbauweise

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

#### 4.6 Foto und Schnittzeichnung des Kollektors



Abbildung 1: Foto des Kollektors Logasol SKS 4.0

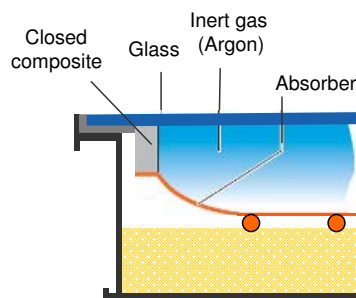


Abbildung 2: Schnittzeichnung des Kollektors Logasol SKS 4.0

## 5 Leistungsparameter des Kollektors

### 5.1 Prüfverfahren

Innenprüfstand mit Solarsimulator und Außenprüfstand mit Nachführeinrichtung (Tracker), 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 Quasistationäre Leistungsparameter bezogen auf Aperturfläche, sowie die mittlere Fluidtemperatur

Dabei wurden die Parameter  $a_1$ ,  $a_2$  der Wirkungsgradkennlinie (WKL) indoor am Solarsimulator ermittelt. Der Konversionsfaktor  $\eta_0$  und der Einstrahlwinkelkorrekturfaktor (IAM) wurden am Außenprüfstand bestimmt.

Randbedingungen für die Bestimmung von  $a_1$ ,  $a_2$ :

Testmethode:	Innenprüfstand mit Solarsimulator, quasistationäre Messung
Kollektoranstellwinkel:	45°
Mittlere Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Art des Wärmeträgers:	Wasser
Mittlere Durchströmung:	160 kg/h
Mittlere Einstrahlung $G$ :	903 W/m <sup>2</sup>

Randbedingungen für die Bestimmung von  $\eta_0$ :

Testmethode:	Außenprüfung, quasistationäre Messung
Breitengrad:	48.0°
Längengrad:	7.8°
Kollektoranstellwinkel:	nachgeführt zwischen 35 und 55°
Kollektorausrichtung:	nachgeführt
Mittlere Einstrahlung :	962 W/m <sup>2</sup>
Mittlere Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Mittlere Durchströmung:	153 kg/h
Art des Wärmeträgers:	Wasser

Ergebniss:

Die ermittelten Parameter beziehen sich auf die folgenden Flächen:

Aperturfläche  
(2.090 m<sup>2</sup>):

$$\eta_{0a} = 0.851$$

$$a_{1a} = 4.036 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{2a} = 0.0108 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

Absorberfläche  
(2.098 m<sup>2</sup>):

$$\eta_{0A} = 0.848$$

$$a_{1A} = 4.021 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_{2A} = 0.0108 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

Die Berechnung der Standardabweichung wurde gemäß ENV 13025 (GUM) durchgeführt. Basierend auf dieser Berechnung beträgt die Unsicherheit der Wirkungsgradpunkte über den gesamten gemessenen Temperaturbereich weniger als 2%-Punkte ( $\eta_{0a} = 0.851 \pm 0.02$ ). Erfahrungsgemäß ist jedoch die Unsicherheit der Testanlagen nur in der Größenordnung von **+/- 1%-Punkten**. Die Standardabweichung der Wärmeverlustparametern, die sich aus der Regression der Fit-Kurve durch die Messpunkte ergeben beträgt:

$$a_{1a} = 4.036 \pm 0.0904 \text{ und } a_{2a} = 0.0108 \pm 0.00119 .$$

## 5.4 Energieertrag pro Kollektormodul

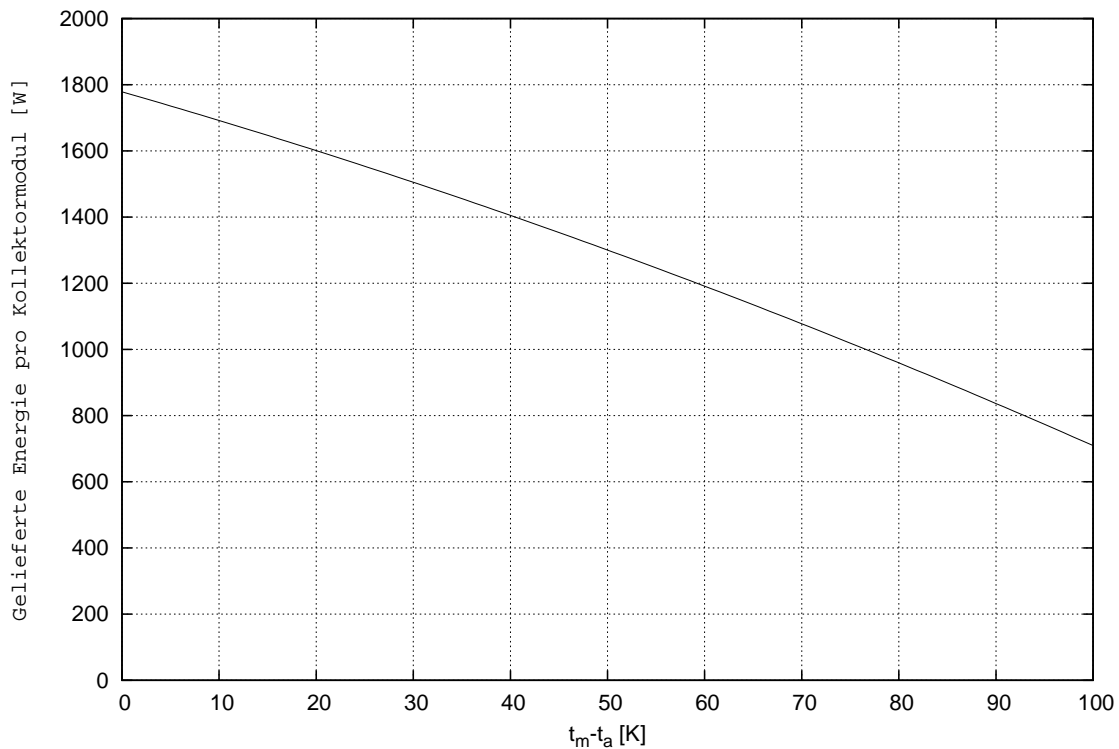


Abbildung 3: Energieertrag pro Kollektormodul, bezogen auf eine Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$

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	625	1158	1692
30	438	972	1505
50	233	767	1300

## 6 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM

Der IAM wurde auf der Nachführeinrichtung (Freiluftteststand) des PZTS unter quasistationären Bedingungen gemessen.

Testmethode:	Außenprüfung
longitudinal:	quasistationär
Breitengrad:	48.0°
Längengrad:	7.8°
Kollektoranstellwinkel:	nachgeführt
Kollektorausrichtung:	nachgeführt

$$\text{IAM bei } \theta = 50^\circ = 0.950$$

## 7 Wärmekapazität des Sonnenkollektors

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

Die Kollektorkapazität beträgt:

10.08 kJ/K

Die flächenbezogene Kollektorkapazität pro Quadratmeter ist somit:

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

## 8 Kollektoridentifikation/Dokumentation

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

- Zeichnungssatz und Datenblatt
- Kollekortypenschild
- Installationsanleitung
- Materialliste



## 9 Prüfvorkommnisse und Betriebsverhalten des Kollektors

Die Messungen wurden von September bis Oktober durchgeführt.

Keine besonderen Vorkommnisse während den Messungen.

## 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. 2006-30

Freiburg, 16. November 2006

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

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

Dipl.-Ing. (FH) A. Schäfer  
Prüfingenieur

## A Absorberskizze

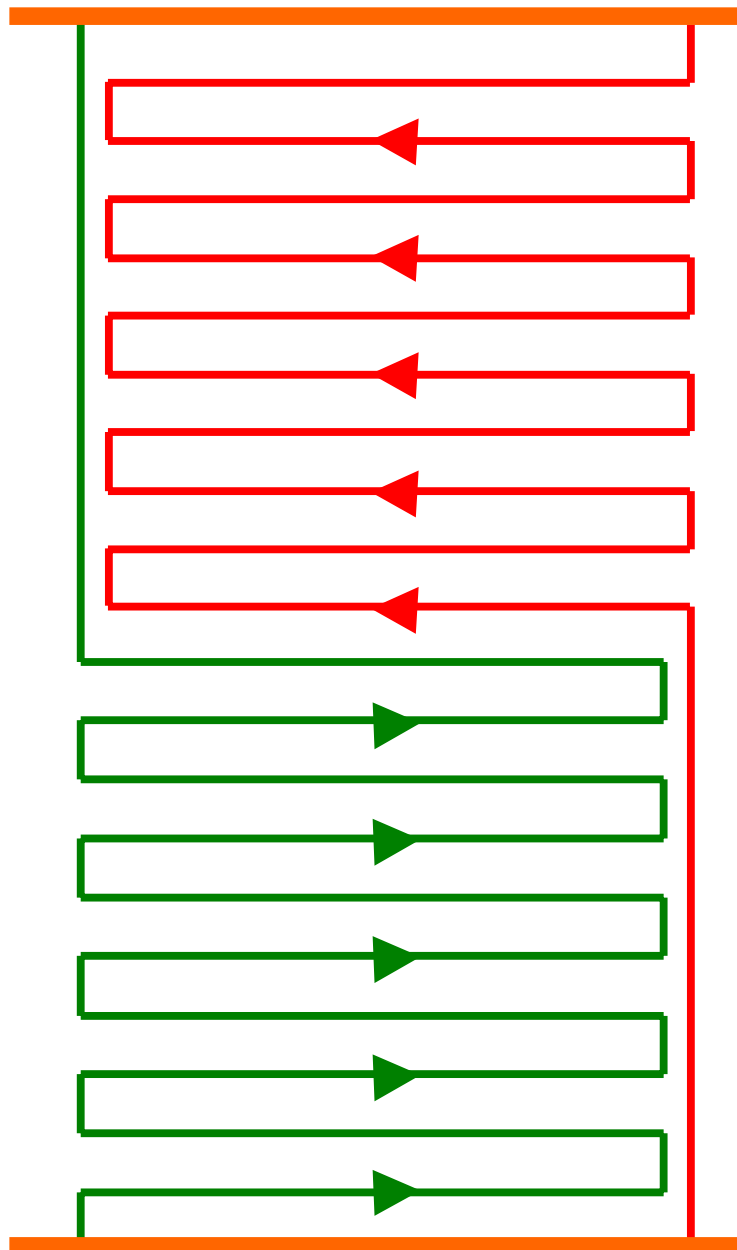


Abbildung 4: Zeichnung des Absorber Layouts zu Logasol SKS 4.0

## B Messdaten zur IAM- und $\eta_0$ Bestimmung

Tabelle 1 zeigt die ermittelten Wirkungsgradpunkte des Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM (Außenprüfung, nachgeführt). Zur Bestimmung des IAM wurden die bestimmten Wirkungsgrade (letzte Spalte) mit den Verlustkoeffizienten des Kollektors  $a_{1a} = 4.036 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $a_{2a} = 0.0108 \text{ W/m}^2\text{K}^2$  auf  $(t_m - t_a)/G = 0$  extrapoliert. Dies ist notwendig, um Einflüsse, die durch die Betriebstemperatur entstehen (Wirkungsgradkennlinie), auszuschließen. Die Messung erfolgte aus Osten und Westen.

$G$ [W/m <sup>2</sup> ]	$G_d/G$ [-]	$m$ [kg/h]	$t_{in}$ [°C]	$t_e$ [°C]	$t_e - t_{in}$ [K]	$t_m$ [°C]	$t_a$ [°C]	$t_m - t_a$ [K]	$(t_m - t_a)/G$ [Km <sup>2</sup> /W]	$\eta_a$ [-]
0°										
961	0.09	153.7	16.18	25.74	9.56	20.96	20.57	0.39	0.0004	0.850
957	0.08	153.4	16.19	25.73	9.54	20.96	20.86	0.10	0.0001	0.850
962	0.09	153.4	16.20	25.80	9.60	21.00	21.18	-0.18	-0.0002	0.851
963	0.09	153.1	16.22	25.85	9.64	21.04	21.27	-0.23	-0.0002	0.852
969	0.09	152.9	16.23	25.95	9.72	21.09	21.65	-0.56	-0.0006	0.853
965	0.09	153.0	16.24	25.92	9.68	21.08	21.70	-0.62	-0.0006	0.854
50°Osten										
560	0.27	149.1	16.04	21.46	5.42	18.75	18.44	0.32	0.0006	0.802
575	0.29	149.3	16.07	21.63	5.56	18.85	18.78	0.06	0.0001	0.802
539	0.32	149.2	16.09	21.38	5.29	18.74	18.95	-0.21	-0.0004	0.814
50°Westen										
455	0.36	150.2	19.06	23.50	4.43	21.28	21.42	-0.14	-0.0003	0.814
453	0.32	147.6	19.07	23.55	4.48	21.31	21.68	-0.37	-0.0008	0.812
463	0.30	147.3	19.08	23.66	4.58	21.37	21.37	0.00	0.0000	0.810

Tabelle 1: Messdaten der Leistungspunkte zur IAM Bestimmung

C Messdaten zur Bestimmung der Verlustparameter  $a_1$  und  $a_2$

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]	[-]
158.8	106.09	110.64	4.55	108.36	29.84	78.53	0.0870	0.449
158.8	106.10	110.66	4.56	108.38	30.06	78.32	0.0867	0.450
158.6	106.10	110.66	4.56	108.38	30.13	78.25	0.0867	0.450
158.6	106.11	110.67	4.57	108.39	30.24	78.15	0.0865	0.450
158.5	82.40	88.43	6.04	85.41	30.44	54.98	0.0609	0.591
158.6	82.38	88.40	6.03	85.39	30.53	54.86	0.0608	0.591
157.5	82.37	88.45	6.08	85.41	30.61	54.80	0.0607	0.592
157.5	82.37	88.44	6.07	85.41	30.51	54.90	0.0608	0.591
160.2	68.15	74.93	6.78	71.54	30.61	40.93	0.0453	0.670
160.3	68.13	74.90	6.77	71.52	30.48	41.03	0.0454	0.669
160.2	68.12	74.89	6.77	71.50	30.49	41.01	0.0454	0.669
160.4	68.11	74.88	6.77	71.50	30.61	40.89	0.0453	0.670
161.0	49.02	56.78	7.75	52.90	30.58	22.32	0.0247	0.768
161.1	49.01	56.76	7.75	52.88	30.50	22.38	0.0248	0.768
161.1	49.00	56.75	7.75	52.88	30.43	22.45	0.0249	0.768
161.1	49.00	56.74	7.75	52.87	30.59	22.28	0.0247	0.768
161.1	27.75	36.49	8.74	32.12	30.62	1.50	0.0017	0.866
161.0	27.75	36.49	8.74	32.12	30.72	1.40	0.0015	0.866
160.8	28.71	37.42	8.71	33.06	30.66	2.41	0.0027	0.862
160.8	28.71	37.42	8.71	33.07	30.64	2.43	0.0027	0.862

Tabelle 2: Daten der ermittelten Wirkungsgradpunkte indoor