

Großanlage mit Vakuum-Röhrenkollektoren

Eine Leistungsbestimmung

Thorsten Urbaneck, Ulrich Schirmer

Technische Universität Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik
Projektgruppe SOLARTHERMIE, 09107 Chemnitz
Tel.: 0371/531-2463 und -2546, Fax: -2349
E-Mail: thorsten.urbaneck@mb3.tu-chemnitz.de
ulrich.schirmer@hrz.tu-chemnitz.de
<http://www.solarthermie2000.de>
<http://www.tu-chemnitz.de/mbv/SolTherm>

Einleitung

Im Mittelpunkt des Posters steht das 535,5 m² große Kollektorfeld, welches Bestandteil des solaren Nahwärmesystems im Chemnitzer „solarisPark“ ist. Dieses wiederum entstand innerhalb des Forschungs- und Demonstrationsprogrammes SOLARTHERMIE 2000, Teilprogramm 3. Im Ergebnis der meßtechnischen Überwachung sollen folgende Punkte analysiert werden:

- Leistung der Vakuum-Röhrenkollektoren bzw. des Kollektorfeldes im Anlagenbetrieb
- Ursachen für eine mögliche Minderung der Leistungsfähigkeit
- Leistungsbestimmung eines Feldes und der Vergleichsmaßstab

Das Kollektorfeld

Ein Teilfeld befindet sich auf einem Bürogebäudedach (Abkürzung B11) und ein zweites Teilfeld ist als Parkplatzüberdachung ausgeführt.

	Kollektorfeld B11	Kollektorfeld Parkdeck
Absorberfläche	385,5 m ²	150 m ²
verwendeter Kollektortyp	vorwiegend Seido 2-16 z.T. Seido 2-4 , Seido 2-8	Seido 2-16
Anzahl der Kollektoren in Reihe	vorwiegend 4	5
spezifischer Soll-Volumenstrom des Feldes	15,8 l/(m ² *h)	17,6 l/(m ² *h)

Zur Anwendung kam der Vakuum-Röhrenkollektor Seido von Sunda Solartechnik GmbH mit direkter Durchströmung des Absorbers. Die Glasröhren liegen parallel zur Befestigungsebene und sind leicht aus der idealen Südausrichtung nach Osten gedreht. Die Absorberbleche haben eine Neigung von 35° zur Horizontalen. Die Verschaltung der Stränge erfolgte nach Tichelmann, wobei dieses nicht unbedingt notwendig ist, weil bei der vorgestellten Verschaltung relativ hohe Druckverluste im Strang entstehen. Gleichzeitig ist mit den hohen Durchströmungsraten ein guter Wärmeübergang im Kollektor sichergestellt. An einigen Stellen auf dem Dach des Gebäudes mußten kleinere Module aus Platzgründen eingesetzt werden. Dieses stellt einen Kompromiß zugunsten der hier notwendigen Flächenauslastung dar.

Leistungsbestimmung

Schon seit längerer Zeit findet eine interessante fachliche Auseinandersetzung über stationäre und instationäre Kollektortestverfahren sowie über Kenngrößen zur Bewertung statt [1], [2], [3]. Diese unter idealen Bedingungen bestimmten Kenngrößen werden unter anderem in der dynamischen Anlagensimulation und in der Planung verwendet. In diesem Fall wurden mit TRNSYS unter anderem die Kollektorfelder und der Kollektorkreislauf optimiert. Aus diesem Grund werden folgende Fragestellungen in Verbindung mit der Testproblematik als äußerst wichtig angesehen:

- Erreicht der Kollektor im realen Einsatz seine Leistungsfähigkeit entsprechend des Kollektortestes ?
- Waren die verwendeten Parameter im Simulationsprogramm richtig ?

Bei der meßtechnischen Langzeitüberwachung wird das weitgehend anerkannte stationäre Meßverfahren entsprechend der DIN V 4757, Teil 4 [4] als geeignet angesehen, weil eine direkte Bestimmung des Wirkungsgrades ohne Simulationsmodell möglich ist. Andererseits ist die Übernahme der Testmethode notwendig, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zur nicht normierten Feldvermessung sicherzustellen. Für stationäre Verhältnisse wird der Kollektorwirkungsgrad wie folgt definiert:

$$\eta_{\text{Koll}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Koll}}}{\dot{Q}_{\text{Strahlung}}} = \frac{\dot{m}_{\text{Koll}} c_{p,\text{Koll}} (T_{\text{Koll,aus}} - T_{\text{Koll,ein}})}{A_{\text{Koll}} G} \quad (1)$$

Die Energietransportvorgänge am Kollektor sind komplex und werden deshalb vereinfacht in Abhängigkeit der mittleren Kollektortemperatur, der Umgebungstemperatur und der Einstrahlung dargestellt und beschreiben den effektiven Verlust.

$$\eta_{\text{Koll}} = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_{\text{Umg}}}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_{\text{Umg}})^2}{G} \quad (2) \quad \text{mit } T_m = \frac{(T_{\text{Koll,aus}} + T_{\text{Koll,ein}})}{2}$$

Die Koeffizienten aus dem Kollektortest (Gleichung 2) werden als Sollparameter zum Vergleich mit den Meßergebnissen aus der Feldvermessung herangezogen. Die Koeffizienten in der Tabelle sind die Ergebnisse des Institutes für Solartechnik SPF (Hochschule Rapperswil), die nach eigener Meßvorschrift arbeiten. Diese erfüllt die Anforderungen der DIN V 4757 Teil 4, die wiederum dem oben genannten Ansatz zur Wirkungsgradbestimmung entspricht.

$$\eta_{\text{Feld,Soll}} = \eta_{\text{Koll}} \quad (3) \quad \text{mit } T_m = \frac{(T_{\text{Feld,aus}} + T_{\text{Feld,ein}})}{2}$$

Kollektorparameter	Koeffizienten aus Kollektortest
η_0	0,813
a_1	2,19
a_2	-0,001

Kollektorparameter aus dem Kollektortest des bauähnlichen Kollektors Seido 2-6 [5]

Weiterhin ist die Absorberfläche, die ebenfalls im Testbericht angegeben ist, für die Berechnung zu verwenden, weil sich die Parameter darauf beziehen. Wird dieses nicht beachtet, kommt es zu einer scheinbaren Veränderung des Konversionsfaktors. Die tatsächlichen instationären Verhältnisse im Kollektorfeldbetrieb weichen von den idealen Annahmen für stationäre Bedingungen des oben genannten Absatzes ab. Bei idealer Südausrichtung und Einstrahlung, die an dieser Stelle für die Erläuterung

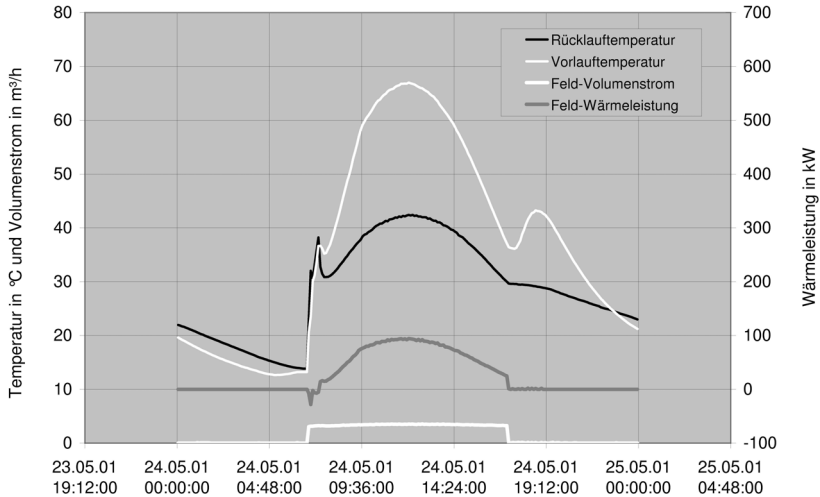


Abbildung 1: Meßergebnisse (diskrete Werte) für das Teilfeld Parkdeck ,Testtag 24.05.2001

vorausgesetzt werden, steigen bis 12 Uhr die Einstrahlung und damit auch die Eintrittstemperatur, Ausgangstemperatur und die mittlere Kollektortemperatur. Nach 12 Uhr stellen sich umgekehrte Verhältnisse ein (Abb. 1). Weiterhin hat die Außentemperatur Einfluß auf den Ertrag. Weil jedes Kollektorfeld eine thermische Kapazität besitzt, findet vor 12 Uhr eine Speicherung und nach 12 Uhr eine Entladung in Abhängigkeit des jeweiligen Kollektoraufbaues statt. Diese Einflüsse sollen minimiert werden. Aus diesem Grund werden Testtage ausgewählt, bei denen ganztags ein wolkenloser und klarer Himmel zu beobachten war.

Zur Anwendung kommen sowohl eine diskrete Messung in der Form von Stichproben im Intervall von 6 Minuten ohne Mittelwertbildung als auch eine integrale Bestimmung aller Wärmemengen basierend auf einem Intervall von zwei Sekunden zur Integration der Wärme über jeweils eine Stunde. Letztere Methode ist mit einem programmierten Wärmemengenzähler vergleichbar.

Dichte und spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums haben ebenfalls auf die Bestimmung der Kollektorfeldleistung einen erheblichen Einfluß. Deshalb wird hier die Temperaturabhängigkeit beachtet.

$$\dot{Q}_{\text{Feld}} = \rho_{\text{Glykol-Wasser}} \dot{V}_{\text{Feld}} c_{p,\text{Glykol-Wasser}} (T_{\text{Feld,aus}} - T_{\text{Feld,ein}}) \quad (4)$$

mit $\rho_{\text{Glykol-Wasser}} = f(c_{\text{Glykol}}, T)$, $c_{p,\text{Glykol-Wasser}} = f(c_{\text{Glykol}}, T)$

$$\eta_{\text{Feld,Ist,diskret}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Feld}}}{G * A_{\text{Feld}}} \quad (5)$$

$$\eta_{\text{Feld,Ist,integral}} = \frac{\int \dot{Q}_{\text{Feld}} dt}{A_{\text{Feld}} \int G dt} \quad (6)$$

Anhand eines ausgewählten Tages, der den aufgestellten Forderungen entspricht, sollen die Meßergebnisse für beide Teilfelder erläutert werden.

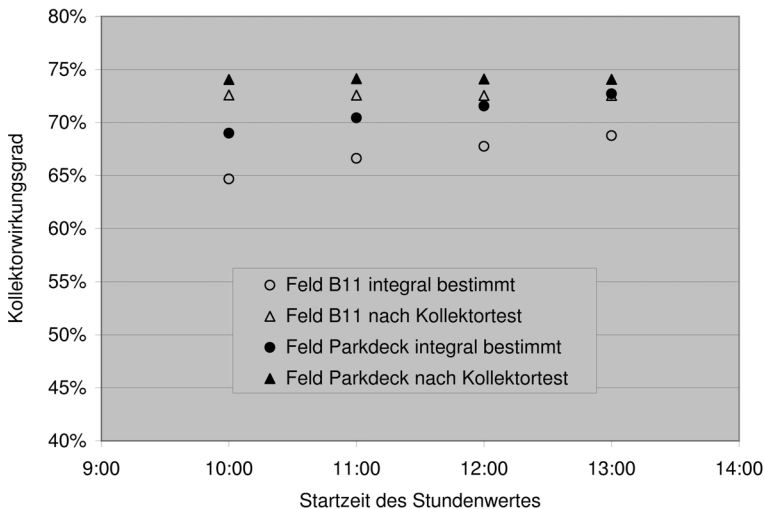


Abbildung 2: Wirkungsgrade für das Teilfeld B11 und Parkdeck, Testtag 24.05.2001

Abbildung 2 zeigt sowohl kleine als auch große Unterschiede zwischen den nahezu konstanten Soll-Werten und den integral bestimmten Wirkungsgraden. Dabei sind aus 10 diskreten Meßwerten für eine Stunde, der Wirkungsgradfunktion sowie den Koeffizienten des Kollektortestes die Sollwerte berechnet und Mittelwerte für die jeweilige Stunde gebildet worden (Gleichung 3). Weiterhin ist der Verlauf zwischen Soll- und Ist-Wert zwischen beiden Feldern verschieden, so daß ein Ergebnis nicht direkt ablesbar ist und die Betrachtung erweitert werden muß.

Gesucht wird der Zustand des Kollektorfeldes, in dem minimale Änderungen bei gleichzeitig hoher Einstrahlung vorherrschen, um die Bedingungen des stationären Ansatzes weitgehend zu erfüllen. Eine Darstellung der Wirkungsgrade und der Temperaturdifferenz am Kollektorfeld über der mittleren Kollektortemperatur als Maß für den Zustand des Feldes scheint dafür geeignet.

Mit steigendem Mittelwert nähert sich vormittags der diskret bestimmte Wirkungsgrad seinem Soll-Wert von unten an. Nachmittags steigen die diskreten Wirkungsgrade und liegen zum Teil über den Soll-Werten. Dieses Verhalten beschreibt die kapazitive Eigenschaft des Kollektorfeldes.

Weiterhin zeigt auch die Temperaturdifferenz geringfügig unterschiedliche Werte in Abhängigkeit der mittleren Kollektortemperatur. Steigt die zugeführte Strahlungsenergie, kommt es im Vergleich zu stationären Verhältnissen zu einer Erhöhung der Temperaturdifferenz am Kollektorfeld. Nachmittags bei sinkender Strahlung treten umgekehrte Verhältnisse ein.

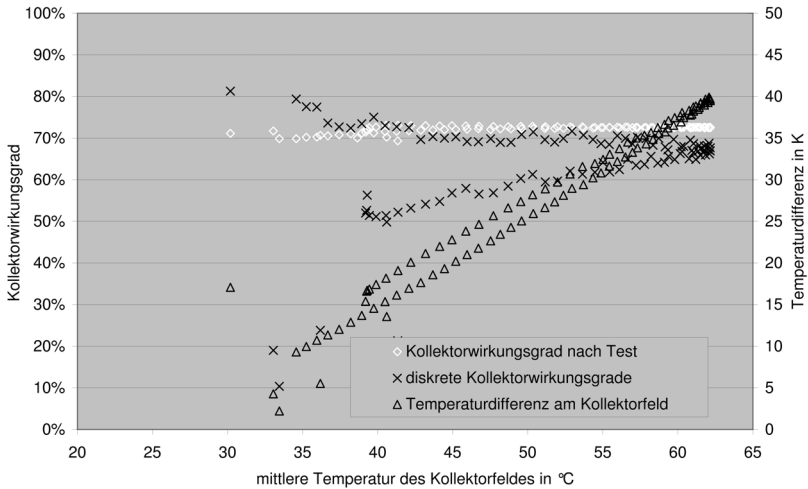


Abbildung 3: diskrete Werte für Kollektorfeld B11, Testtag 24.05.2001

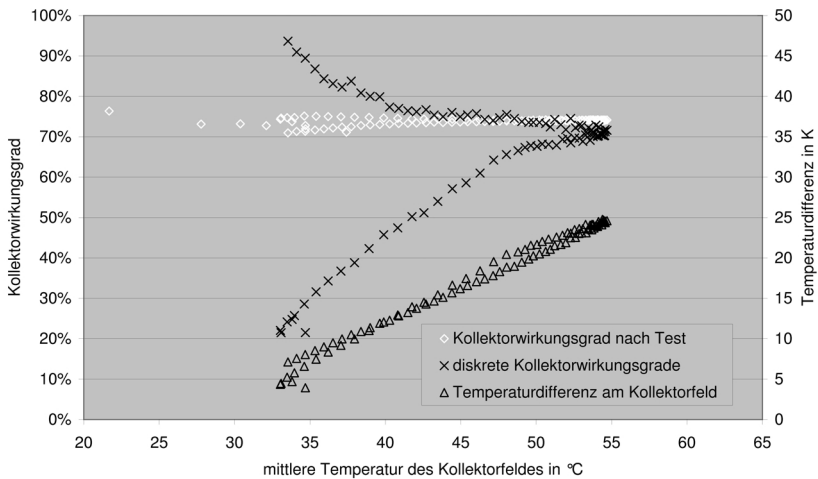


Abbildung 4: diskrete Werte für Kollektorfeld Parkdeck, Testtag 24.05.2001

Abb.3 und 4 bringen den Vergleich zwischen diskreten Soll- und Ist-Werten und damit eine Hilfe zur Bestimmung von Zeitbereichen mit annähernd stationären Verhältnissen (hier die 12. und 13. Stunde - nach DIN V 4757 Teil 4 von 10 bis 14 Uhr!).

	Testtag	19.06.00	12.05.01	24.05.01	28.07.01
	Konzentration Glykol	ca. 24 Vol.-%	24 Vol.-%	24 Vol.-%	14 Vol.-%
	Eigenverschattung	ohne	beginnend	ohne	ohne
	Entlüftung				intensiver
Teilfeld B11	Soll-Wert, Mittelwert	77,7 %	70,4 %	72,6 %	75,0 %
	Ist-Wert, integral bestimmt	73,7 %	64,1 %	67,2 %	70,3 %
	Differenz zum Soll-Wert	4,0 %	6,4 %	5,4 %	4,7 %
	relative Abweichung vom Soll-Wert	5,1 %	9,0 %	7,4 %	6,3 %
	Ist-Wert, diskret bestimmt	73,7 %	64,0 %	67,1 %	70,1 %
	Differenz zum Soll-Wert	4,0 %	6,4 %	5,4 %	4,9 %
	relative Abweichung vom Soll-Wert	5,1 %	9,1 %	7,5 %	6,6 %
	mittl. Temp.-differenz zur Umgebung	16 K	52 K	41 K	28 K
Teilfeld Parkdeck	Soll-Wert, Mittelwert	78,8 %	71,9 %	74,1 %	76,4 %
	Ist-Wert, integral bestimmt	75,8 %	68,2 %	71,0 %	72,5 %
	Differenz zum Soll-Wert	3,0 %	3,8 %	3,1 %	3,8 %
	relative Abweichung vom Soll-Wert	3,9 %	5,2 %	4,2 %	5,0 %
	Ist-Wert, diskret bestimmt	75,7 %	68,0 %	70,9 %	72,3 %
	Differenz zum Soll-Wert	3,1 %	3,9 %	3,2 %	4,1 %
	relative Abweichung vom Soll-Wert	3,9 %	5,5 %	4,4 %	5,4 %
	Temperaturdifferenz	11 K	45 K	34 K	22 K

Die Durchlaufzeit des Wärmeträgerfluids vom Feldeingangs- zum Feldeingangs-Temperaturfühler beträgt bei beiden Kollektorfeldern ca. 6 min, so daß die diskreten Meßwerte, die im Intervall von 6 min aufgezeichnet werden, direkt für die Beurteilung der Änderung von Strahlung und Kollektorrücklauf Temperatur verwendet werden können. Die Änderungen beider Meßgrößen pro Meßintervall liegen unter 1,3 % und im Mittel bei 0,5 %. Die Wahl des Bilanzzeitraumes von 11 bis 13 Uhr hat den doppelten Vorteil, daß die beschriebenen kapazitiven Effekte kompensiert werden und auch der Strahlungseinfallswinkel optimal ist.

Ursachen für bleibende Unsicherheiten

Eine weitergehende Klärung der Ursachen für den ermittelten Minderertrag bzw. die Differenzen zwischen Soll- und Ist-Wert wird als schwierig eingeschätzt. Folgende Ursachen sollten dennoch qualitativ beachtet werden:

- real schlechteres Isolationsvermögen der Mineralwolle-Rohrisolation der Kollektorfeldverrohrung, höherer Verrohrungsanteil bei Teilfeld B11
- bei steigender Temperaturdifferenz zwischen Kollektorfeld bzw. der Verrohrung und Umgebung steigen die Verluste im Feld
- nicht ausreichende Entlüftung und damit ungenügende Durchströmung

- Meßfehler (Sensorfehler, Randbedingungen vor Ort)
- einige Absorber weichen von der geplanten Ausrichtung von 35° ab
- Unsicherheiten beim Kollektortest, vor allem Unterschiede bei den Verfahren [6]
- unterschiedliche Verrohrung im Feld B11 führt zu unterschiedlichen Durchflüssen in den Strängen und unterschiedlichen Temperaturdifferenzen zur Umgebung bzw. unterschiedlichen Verlusten
- Qualitätsschwankungen in der Kollektorproduktion

Fazit

Die Kollektoren bzw. die Felder erbringen die erwartete Leistung. Dabei ist zu beachten, daß unter Testbedingungen maximale Erträge erzielt werden, die hier als höchst mögliche Leistung zugrunde gelegt wurde. Man kann davon ausgehen, daß heute Vakuum-Röhren-Kollektorfelder mit einer relativen Abweichung von 4 bis 5 % vom idealen Testergebnis betrieben werden können. Das Kollektorfeld Parkdeck wird als repräsentativ eingeschätzt, weil sich die Temperaturfühler an idealen Positionen befinden und das Kollektorfeld regelmäßig aufgebaut ist. Die beschriebenen Ursachen für Mindererträge treffen mehr für das Teilfeld B11 zu.

Dennoch sollte es ohne hohen Aufwand möglich sein, die letzten Reserven, die bei großen Feldern einer Wärmeleistung von einigen Kilowatt entsprechen, herauszuholen [7]. Dieses Vorhaben zeigt, daß große Felder mit Vakuum-Röhrenkollektoren realisierbar sind und eine Alternative zur mehr verbreiteten Flachkollektortechnik darstellen.

Dank

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des BMBF/BMWi unter dem Förderkennzeichen 0329606 G/F/O/P gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Besonderer Dank gilt auch dem Projektträger Jülich (PTJ) für die Unterstützung des Vorhabens.

Quellen

- [1] Meyer, J.: Weiter stationär. Sonne Wind & Wärme (2001) H. 2, S. 16-17
- [2] Meyer, J.: Aufwändiges Messen und Simulieren. Sonne Wind & Wärme (2000) H. 5, S. 22-26
- [3] Fischer, S.; Hahne, E: Bei jedem Wetter kann gemessen werden. Sonnenenergie & Wärmetechnik (1998) H. 5, S. 24-28
- [4] DIN V 4757-4, Teil 4: Sonnenkollektoren, Bestimmung von Wirkungsgrad, Wärmekapazität und Druckabfall, November 1995
- [5] Testbericht Kollektortest Nr. 181: Prüf- und Forschungsstelle Technikum Rapperswill, Update 01.96
- [6] Sillmann, R.; Rockendorf, G.: Meß- und verfahrenstechnische Unsicherheiten bei Leistungsprüfungen an Sonnenkollektoren, Staffelstein: Elfte Symposium "Thermische Solarenergie" (2001), Tagungsband S. 256-262
- [7] Urbaneck, T.; Schirmer, U.: Solar unterstütztes Nahwärmesystem im Chemnitz "solarisPark - Erste Betriebserfahrungen. Staffelstein: Elfte Symposium "Thermische Solarenergie" (2001), Tagungsband S. 432-438