

Teil 1: 785 m<sup>2</sup> Flachkollektoren und 343 m<sup>2</sup> SOLARWALL Luftkollektoren

# Solare Nahwärme Göttingen

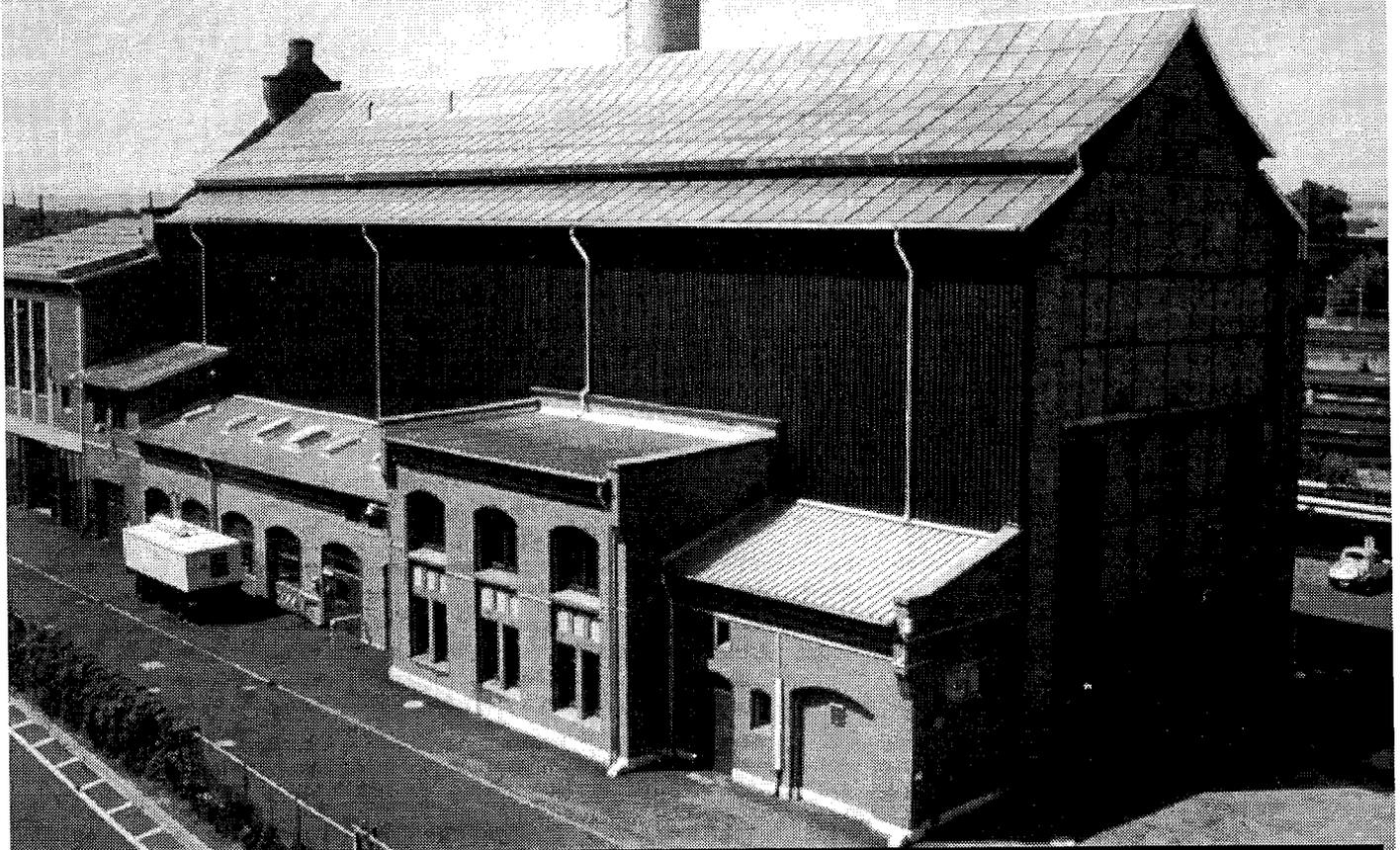


Abb. 1: Das Heizkraftwerk der Stadtwerke Göttingen AG nach der Installation einer Flach- und einer Luftkollektoranlage Fotos: ISFH

Die Einspeisung von Solarwärme aus großen solarthermischen Kollektoranlagen in bestehende Nah- und Fernwärmenetze bietet ein großes Potential zur Einsparung fossiler Energieträger, vorausgesetzt die Rahmenbedingungen ermöglichen hohe Solarerträge und somit günstige solare Wärmepreise. Auch Solar-Luftkollektoren können in existierende Heiz- bzw. Heizkraftwerke integriert und für die Vorwärmung der Verbrennungsluft eingesetzt werden. Die Stadtwerke Göttingen AG betreiben seit dem Frühjahr 1993 beide Systemvarianten, die im Rahmen eines bisher einzigartigen Pilotprojekts auf dem Dach und in der Fassade ihres Heizkraftwerks integriert wurden. In einem dreiteiligen Artikel berichten die beteiligten Forschungsinstitute *Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH)* und das *Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart (ITW)* über die Technik der Flach- und Luftkollektoranlagen sowie die Erfahrungen aus über drei Jahren Betriebszeit.

Die Nutzung der Sonnenenergie aus großen Flachkollektoranlagen erfuhr in den 80er Jahren vor allem in Ländern wie Schweden und Dänemark einen großen Aufschwung. In Deutschland dagegen rückte diese Thematik erst zum Ende der Dekade mehr in den Mittelpunkt.

Die Einsetzung des Förderprogramms „Solare Nahwärme Konzepte“ seitens des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) ermöglichte erstmalig die detaillierte Untersuchung solarer Nahwärme-

systeme. Anhand konkreter Demonstrationsanlagen sollte die Funktionsfähigkeit großer Solarsysteme sowie ihre Einbindung in zentrale Wärmeversorgungsanlagen überprüft werden.

Für die Stadtwerke Göttingen AG war eine anstehende Dach- und Fassadensanierung des Heizkraftwerks in Göttingen im Jahr 1991 der Auslöser, über Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie in ihrem Versorgungsbereich nachzudenken. Hieraus entstand in Zusammenarbeit mit der Projektpartnern ISFH und ITW ein bisher einzigartiges Forschungs-

vorhaben, in dem gleich zwei unterschiedliche Solarsysteme in die Wärmeversorgungsanlage der Göttinger Stadtwerke integriert wurden.

Aufgrund der finanziellen Unterstützung durch das Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Verkehr des Landes Niedersachsen erfolgte Ende 1992 die Installation der Anlagen. Parallel dazu startete das, vom BMBF im Rahmen der „Solaren Nahwärme Konzepte“ geförderte, wissenschaftlich-technische Begleitprogramm.

Das Hauptziel des Forschungsvorhabens besteht in der technischen und wirtschaftlichen Verbesserung großflächiger Solaranlagen durch den Einsatz hocheffizienter, dachintegrierter Flachkollektoren sowie in der Demonstration der technischen Machbarkeit der Einbindung einer großen thermischen Solaranlage in ein bestehendes Nahwärmeverversorgungssystem.

Vorteile ergeben sich bei dieser Anlagenkombination aufgrund der geringen Investitionskosten. Diese sind bedingt durch die einfache Systemtechnik, reduzierte Betriebskosten sowie einen hohen

Kollektorfeld	Kollektorfläche [m <sup>2</sup> ]	Neigungswinkel [°]	Azimuthwinkel [°]	Anzahl der Module
Ost	455	32	- 58	56
Süd	168	17	- 58	28
West	162	17	122	28
<b>Gesamt</b>	<b>785</b>			<b>122</b>

Tab. 1: Technische Daten der drei Flachkollektorfelder

Ertrag (unter der Prämisse günstiger Betriebsbedingungen wie gleichbleibend niedriger Kollektorbetriebstemperaturen).

Die detaillierte Vermessung der Solaranlagen diente insbesondere zur Untersuchung des Betriebsverhaltens und zur energetischen Ertragsanalyse der Systeme.

### Die Flachkollektoranlage

Die auf dem Dach des Heizkraftwerks installierte Flachkollektoranlage erstreckt sich auf drei verschiedene Teilflächen mit unterschiedlicher Neigung und Ausrichtung (siehe Tab. 1). Die eingesetzten hocheffizienten Kollektormodule sind mit einer 50 µm starken Hostafonfolie, die durch eine spezielle Dehn- und Spanntechnik zwischen Absorber und Glasabdeckung fixiert ist, als Konvektionsbremse ausgestattet. Mit Federn gespannte Drahtseile sorgen für einen optimalen Abstand zwischen Absorber und Folie.

Das größte Kollektorfeld besteht aus neun Reihen mit in Serie verschalteten Modulen. Die beiden kleinen Felder werden jeweils in vier Reihen parallel durchströmt. Die Verrohrung beruht nicht auf dem „Prinzip nach Tichelmann“, da entsprechend der Auslegung des Systems die einzelnen Kollektorreihen einen etwa zehnmal größeren Druckverlust im Verhältnis zu den Verteilungsrohrleitungen aufweisen. Absperrventile in den einzelnen Kollektorreihen ermöglichen weiterhin eine nachträgliche Einregulierung der Volumenströme.

Die drei Kollektorkreisläufe werden von einer Wasser/Propylen-Mischung im Verhältnis 67 % zu 33 % durchströmt und sind ebenfalls parallel verschaltet. Jeder Einzelkreis verfügt über eine separate Pumpe, um eine optimale Durchflußrate von 50 kg/m<sup>2</sup>h zu gewährleisten.

Entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausrichtung und Neigung erfolgt der Betrieb der Teilkreise durch individuelle Temperaturdifferenzsteuerungen. Die Kollektorkreisumpen gehen in Betrieb, sobald die in einem bestimmten Modul der einzelnen Felder gemessene Absorbertemperatur 5 K oberhalb der Netzrücklauf-temperatur liegt. Als Ausschaltbedingung gilt einheitlich für die drei Kreise das Unterschreiten einer Differenz von 1 K zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur.

Aufgrund der relativ hohen Wärmekapazität der Kollektorfelder und der Verteilnetze verfügen die Regler über eine spezielle Zeitfunktion, mit der eine Umschaltverzögerung zwischen Einschalt- und Ausschaltkriterium auf bis zu 10 Minuten eingestellt werden kann. Daraus resultiert nach dem Einschalten der Pumpen ein bis zu zehnminütiger Dauerbetrieb, bevor die Ausschaltbedingung abgefragt wird.

Durch diese Zeitfunktion kann ein gleichmäßiges und kontinuierliches Aufheizen der Kollektorkreise und somit eine Minimierung der Takthäufigkeit der Kreislaufpumpen gewährleistet werden.

Die durch die drei Kollektorfelder gewonnene Sonnenenergie wird mittels eines Wärmeüberträgers mit einer nominalen Leistung von 600 kW bei einer Temperaturdifferenz  $\Delta T$  von 12 K in den Rücklauf des Nahwärmenetzes eingespeist (siehe Abb. 2).

### Voruntersuchungen

In der Vorentwurfsphase des Projekts war die Einbindung der Solaranlage in ein Teilnetz mit einer jährlichen Wärmelast von 8.500 MWh, entsprechend etwa 10 % der gesamten Netzlast, vorgesehen. Zur Erzielung möglichst hoher Solarerträge sollte dieser Teilversorgungsbereich auf Netzrücklauf-temperaturen  $t_{NR}$  von etwa 40 °C abgesenkt werden.

$t_{NR}$	°C	60	50	40
$Q_{Sol}$	kWh/m <sup>2</sup> a	263	311	365

Tab. 2: Ergebnisse der Simulationsrechnungen ISFH/TRNSYS

$t_{NR}$  = Netzrücklauf-temperatur

$Q_{Sol}$  = spezifischer Kollektor-ertrag

Auf dieser Grundlage erfolgten erste Systemuntersuchungen mit den Programmen ISFH und TRNSYS, basierend auf den Wetterdaten des Testreferenzjahres Hannover. Die Simulationsrechnungen lieferten in Abhängigkeit der Rücklauf-temperatur die in Tab. 2 dargestellten Ergebnisse. In Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung der drei Kollektorfelder ergaben sich spezifische Kollektor-erträge von 288 bis 389 kWh/m<sup>2</sup>a. Über eine Jahresperiode resultierte für die Gesamtanlage im Mittel ein Wert von 365 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die Ergebnisse in der Tabelle verdeutlichen bereits den Einfluß der Netzrücklauf-temperatur auf den Ertrag der Anlage, der bei Werten um 10 bzw. 20 K über den geforderten Netztemperaturen zu Einbußen von 15 bzw. 28 % führt.

Während der konkreten Planungsphase zeigte sich aber, daß in den Sommermonaten die Wärmelast in dem Teilnetz zu klein ist, um die gesamte von der Kollektoranlage gelieferte Wärme aufzunehmen. Daher entschloß man sich, die Einkopplung der Flachkollektoranlage an das gesamte Wärmenetz vorzunehmen.

Aufgrund des einfachen Systemkonzepts bei der solaren Nahwärmeeinspeisung und der weitgehenden Ausnutzung der Kostendegressionseffekte von Großanlagen konnten spezifische Kosten für die installierte Kollektoranlage von 640,- DM/m<sup>2</sup> erzielt werden. Dies entspricht einem Solareinspeisepreis von

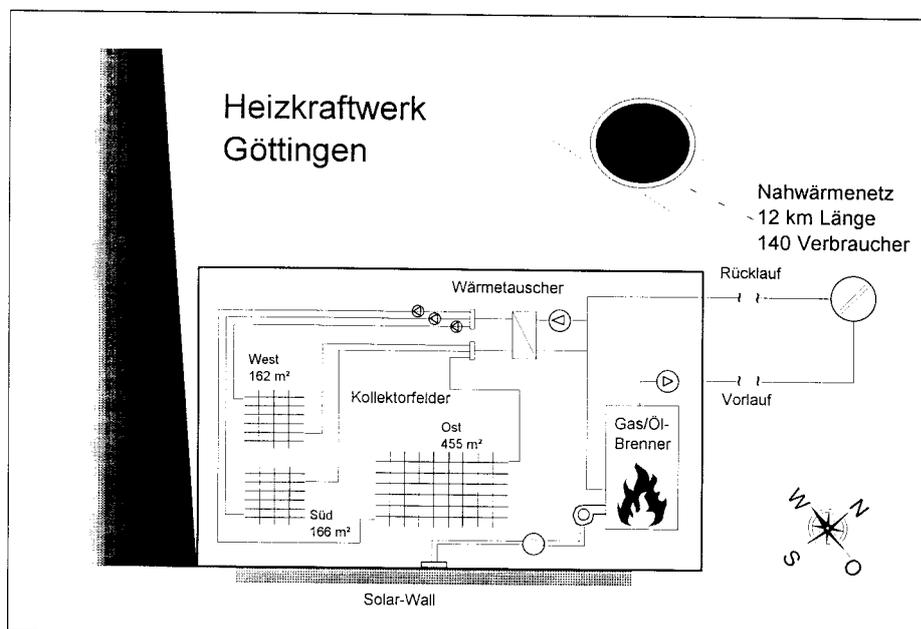


Abb. 2: Vereinfachtes Schema der Einbindung der beiden Solaranlagen in das Heizkraftwerk der Stadtwerke Göttingen AG



Abb. 3: Montage der Kollektormodule auf dem Süd- und Westdach des Göttinger Heizkraftwerks

Glasabdeckung	verschmutzt	gereinigt	neu
Konversionsfaktor	0,66	0,73	0,74

Tab. 3: Ergebnisse des stationären Indoor-Tests mit unterschiedlichen Glasabdeckungen

21 Pf/kWh, wenn ein Zinssatz von 8 %, eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und ein Anteil von 1,5 % der Installationskosten für Betriebs- und Wartungskosten angenommen wird.

### Betriebserfahrungen

Die Installationsarbeiten der beiden Solarsysteme im Heizkraftwerk in Göttingen erfolgten zwischen September 1992 und März 1993, so daß Ende März 1993 die offizielle Inbetriebnahme der Anlagen durchgeführt werden konnte. Seit dieser Zeit konnte bis zum heutigen Tag ein automatischer Betrieb der Kollektorsysteme ohne nennenswerte Probleme gewährleistet werden.

Die visuelle Überwachung der Kollektoren während der gesamten Betriebszeit offenbarte keine erkennbaren, die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen Alterungserscheinungen.

Lediglich einige Stahlseile in den Modulen waren beschädigt, ohne daß allerdings ein Aufliegen der Folie auf den Absorber eintrat.

Die Hostaflonfolie zeigte keine nennenswerte Degradation, Deformation oder Dehnung, was für die Einbindetechnik des Kollektorherstellers spricht. Die meßtechnische Untersuchung eines Folienstücks nach etwa 2,5 Betriebsjahren ergab eine Differenz in der Lichtdurchlässigkeit von deutlich unter 1 % – eine zu vernachlässigende Verschlechterung der optischen Eigenschaften.

Als auffällig erwies sich die während der Betriebszeit zunehmende Verschmutzung der Kollektorglasabdeckungen, die aufgrund der klebrigen Konsistenz nicht vom Regen abgetragen wurde. Neben der manuellen Reinigung des Südkollektorfelds zur Untersuchung des Einflusses der Verschmutzung wurde eine Wirkungsgradmessung an einem 2,5 m<sup>2</sup> Modul mit verschmutzten Scheiben unter dem Sonnensimulator des ISFH durchgeführt. Die Werte für den Konversionsfaktor belegen die Minderung der Transmission der Glasabdeckungen (Tab. 3).

Zwar steht eine detaillierte chemische Analyse der Verschmutzung noch aus, allerdings scheinen die Ablagerungen weniger vom Heizkraftwerk selber, als vielmehr vom innerstädtischen Pkw-Verkehr und von den Dieselloks des nahegelegenen Hauptbahnhofs herzurühren.

Es sei aber bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Ertragseinbußen aufgrund der Verschmutzung deutlich geringer ausfallen im Vergleich zu den Mindererträgen, die durch die hohen Netzurücklauftemperaturen verursacht werden.

Nach den bisherigen Erfahrungen läßt sich außerdem festhalten, daß ein konkreter Wartungsaufwand für den Betreiber der Anlagen bisher nicht bestand. Dies spricht deutlich für dieses einfache Anlagenkonzept.

### Meßtechnische Überwachung

Die meßtechnische Überwachung der Anlage beinhaltet neben den meteorologischen Größen wie Solarstrahlung, Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit alle für die energetische Bilanzierung notwendigen Temperaturen und Volumenströme.

Weitere Temperatursensoren dienen der Funktionskontrolle, so daß von insgesamt 65 Sensoren Meßwerte in 10-Sekunden-Abständen erfaßt und in 5- bzw. 10-Minuten-Mittelwerten abgespeichert werden. Ein am ISFH entwickeltes Meßdatenerfassungsprogramm gewährleistet einen automatischen und kontinuierlichen Betrieb der Anlage.

Neben der Möglichkeit zur Datenfernübertragung per Modem können die Meßdaten auch Online geprüft werden.

### Input/Output-Überwachung

Seit Herbst 1994 besteht auch die Möglichkeit, eine Ertragskontrolle nach dem

Routine zum Anzeigen der ' Input / Output - Controller ' - Daten						
Zusammenfassung						
Verfügbare Datenbasis:			60 Tage			
Analysesequenz umfaßt die letzten			10 Tage			
Feld	Start	Stop	Q112.M [kWh/m <sup>2</sup> d]	Q112.R [kWh/m <sup>2</sup> d]	Abweich [%]	erl. Tage
Feld 1	21.06.	30.06.	1.396	1.363	2.36	10
Feld 2	21.06.	30.06.	1.508	1.443	4.31	10
Feld 3	21.06.	30.06.	1.605	1.551	3.36	10

Änderung der Analysensequenzlänge? . . . . Geheimzahl !  
weiter ? . . . . eine Taste ! / zurück ? . . . . ESC !  
Anzeige aller Tage ( Feld 1 . . 3 ) . . . . 1, 2 oder 3 !  
Q112.R Kollektorsertrag, erwartet ( Regression )  
Q112.M Kollektorsertrag, gemessen

Abb. 4: Kontrollanzeige der Input/output-Überwachung in der Meßwertersfassungsanlage im Heizkraftwerk

Input/Output-Verfahren direkt am Rechner durchzuführen. Auf der Basis einer täglichen Input/Output-Regression wird der tägliche Kollektorertrag berechnet und kann direkt mit dem gemessenen verglichen werden.

Als bestimmende Parameter gehen die gemessene tägliche Einstrahlungssumme sowie die Kollektorbetriebstemperatur und -betriebsdauer in die Kalkulation ein.

Für den Betreiber der Anlage bietet die Online-Anzeige ein Kontrollbild, das die Überprüfung der letzten zehn Tage als Mittelwert anzeigt (siehe Abb. 4).

Gleichzeitig ermöglicht es die Ansicht der letzten 60 Tage in Form von Tagesdaten. Anhand der Daten für die Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Wert kann somit direkt die Funktion der Kollektorfelder geprüft werden.

Die bisherigen Erfahrungen mit der Input/Output-Überwachung der drei Kollektorfelder unterstreichen die gute Eignung des Verfahrens für eine einfache und schnelle Überprüfung des Betriebsverhaltens und der Ertragsanalyse der Anlage. Sowohl für den Betreiber des Systems als auch für die Kollektorfirma bedeutet die Integration eine große Vereinfachung zur Anlagenüberwachung.

### Energetische Systemanalyse

Die energetische Untersuchung der Flachkollektoranlage beinhaltet im wesentlichen den Nachweis der Leistungsfähigkeit der Kollektormodule sowie die Bilanzierung der über den Betriebszeitraum erzielten Solarerträge. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Input/Output-Analyse der einzelnen Kollektorfelder.

Aufgrund der Vielzahl der durchgeführten Analysen werden hier exemplarisch nur einige Resultate vorgestellt. Detaillierte Informationen können dem Abschlußbericht zu dem Projekt entnommen werden.

Anhand der in Abb. 5 dargestellten Meßwerte des stündlichen Kollektorfeld-Wirkungsgrads für das Südkollektorfeld in den Julimonaten der Jahre 1993 bis 95 zeigen sich verschiedene Charakteristika der Anlagen in Göttingen:

- Ein Vergleich der in-situ gemessenen Wirkungsgradwerte liefert eine relativ gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den Indoor-Testuntersuchungen an einem 2,5 m<sup>2</sup> großen Kollektormodul gleicher Bauart.
- Der Bereich der überwiegend aufgetretenen Betriebskoeffizienten zwischen 0,06 und 0,08 K<sup>2</sup>/W entspricht bei hohen Einstrahlungswerten einer Kollektorbetriebstemperatur von etwa 50 K oberhalb der Umgebungstemperatur. Dies deutet einerseits bereits auf

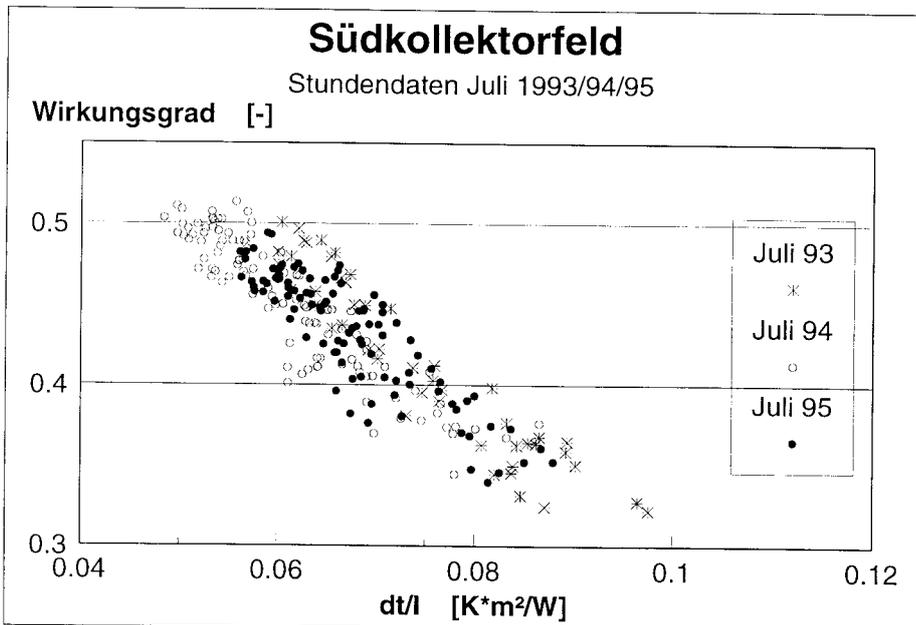


Abb. 5: Vergleich stündlicher Kollektorwirkungsgrad-Meßwerte des Monats Juli in den Jahren 1993, 1994 und 1995 für das Südkollektorfeld

die Problematik der hohen Netzzücklauftemperaturen hin, rechtfertigt allerdings andererseits den Einsatz von Kollektormodulen mit integrierter Folie als Konvektionsbremse.

- Die bereits angesprochene Verschmutzung der Kollektorglasabdeckungen spiegelt sich ebenfalls in den stündlichen Daten des Wirkungsgrads wider. Die Daten aus dem Jahr 1993 liegen deutlich über den Werten aus dem Folgejahr, während 1995, bedingt durch die Reinigung der Scheiben, fast wieder die Daten des ersten Betriebsjahres erreicht werden.
- Die Streuung der unter dem aktuellen Wettergeschehen gemessenen, dynamischen Wirkungsgradwerte konnte durch die Berücksichtigung der Kollektorkapazität inklusive der langen Rohrleitungen und des Wärmeträgermediums auf ein Minimum reduziert werden.

Die sehr detaillierten meßtechnischen Untersuchungen der Flachkollektoranlage haben letztendlich die hohe Effizienz der eingesetzten Kollektormodule bestätigt. Insbesondere, wenn man die aufgrund der hohen Netzzücklauftemperaturen schwierigen Betriebsbedingungen berücksichtigt.

Rainer Tepe, Klaus Vanoli

Im zweiten Teil des Berichts werden in der nächsten Ausgabe der SONNENENERGIE weitere Untersuchungsergebnisse der Flachkollektoranlage präsentiert sowie die Problematik der hohen Netzzücklauftemperaturen im konventionellen Wärmeversorgungssystem und die Konzepte zur Anlagenoptimierung näher beleuchtet.

Über die Autoren:

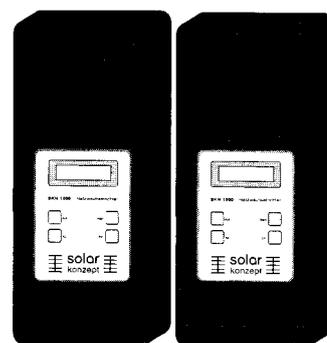
Dr.-Ing. Klaus Vanoli ist Leiter der Arbeitsgruppe „Thermische Systeme“ der Abteilung „Systemtechnik von Solarenergieanlagen“ am ISFH. Dipl.-Ing. Rainer Tepe ist Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe und verantwortlich für das Göttinger Projekt.

## SKN 1000 ! NEU ! String-Kaskade

SKN 1010/1020: 1,0 / 1,7 kW

LCD-Display, RS 232 / 485  
Bedienkomfort, Datenlogger  
trafolos, effizient,  $\eta > 96\%$   
VDEW-und CE-Konformität

anreihbar: 17 cm Breite/Gerät



**solar konzept**

Friedrich-Ebert-Str. 23 51429 Bergisch Gladbach  
Tel.: 02204-84 40 40 Fax: 02204-84 40 44