

# Solarunterstützte-CO<sub>2</sub>-neutrale Nahwärmeversorgung in Holzgerlingen

## Betriebserfahrungen und Anlagen-Optimierungen

Eva Scheck, Elmar Bollin, Klaus Huber, Daniel Jödicke  
Hochschule Offenburg  
Badstraße 24, 77652 Offenburg  
Tel.: 0781 205 362, 0781 205 336  
eva.scheck@fh-offenburg.de; klaus.huber@fh-offenburg.de  
[www.fh-offenburg.de/mv/st2000](http://www.fh-offenburg.de/mv/st2000)

### Zusammenfassung

Für die solarunterstützte CO<sub>2</sub>-neutrale Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets Hülben in Holzgerlingen wurden Holzpelletskessel mit einer 249m<sup>2</sup>-großen Solaranlage kombiniert. Im ersten Intensivmessjahr vom 01.03.2007 bis 29.02.2008 wurde eine Gesamt-Wärmeabgabe ins Nahwärmenetz von 920.606 kWh gemessen, wobei der solare Anteil bei 84.033 kWh lag. Es wurden ein Systemnutzungsgrad von 23,8 % und ein solarer Deckungsanteil von 9,5% gemessen. Die vom Lieferanten abgegebene Energiegarantie wurde in der ersten Intensivmessphase nicht erreicht.



**Bild 1:** Ansicht des Kollektorfeldes auf dem Kinderhaus

Seit der Inbetriebnahme der Wärmeversorgung wurden zahlreiche Optimierungsmaßnahmen an der Solaranlage und dem Gesamtsystem realisiert, die im folgenden Beitrag und auf dem Poster ausführlich beschrieben werden.

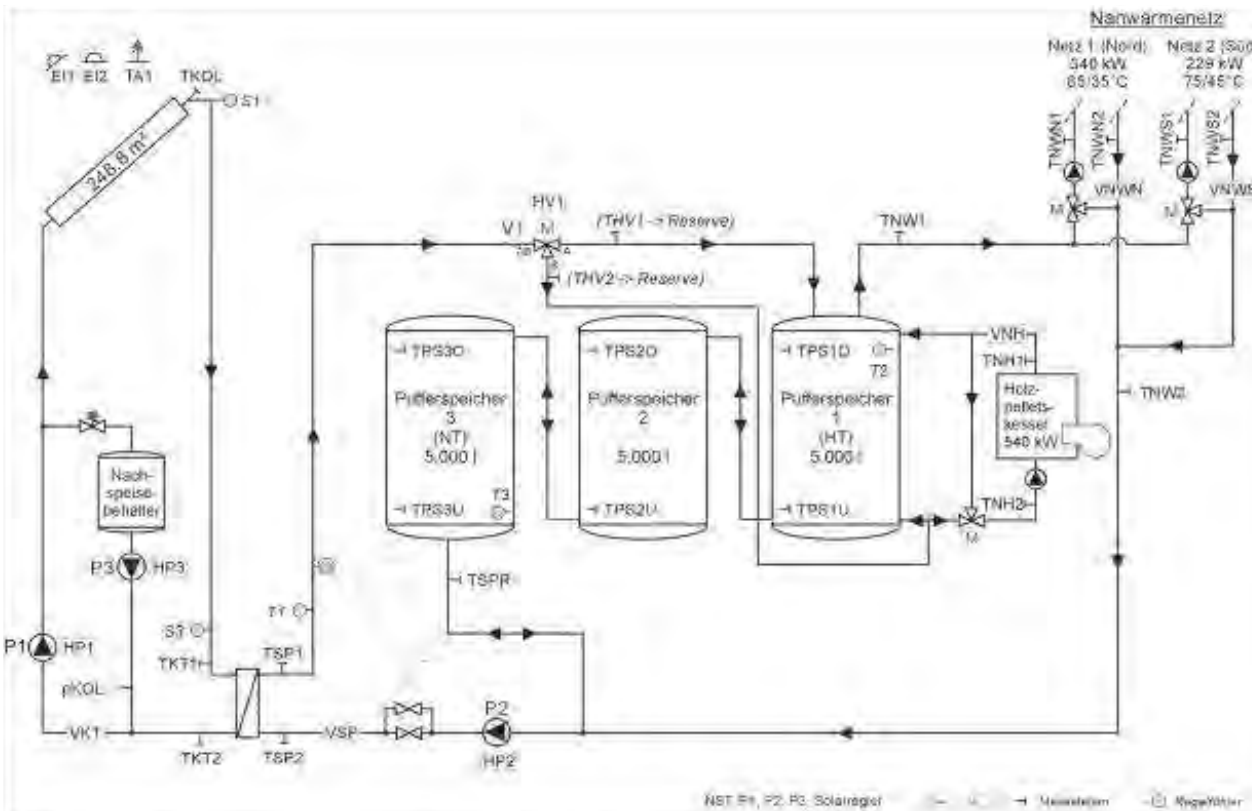
Die Solaranlage im Baugebiet Hülben wurde aus den Mitteln des BMU im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie2000plus unter dem Förderkennzeichen 0329604C zu 48,8% gefördert.

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Bundesforschungsprojektes Solarthermie-2000plus betreut die Forschungsgruppe Nachhaltige Energietechnik der Hochschule Offenburg seit Anfang 2005 die thermische Solaranlage im Baugebiet Hülben in Holzgerlingen.

Im Neubaugebiet Holzgerlingen werden 44 Einfamilienhäuser, 36 Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern und ein Kindergarten mit einer Gesamtwohnfläche bzw. -nutzfläche von 9.600 m<sup>2</sup> versorgt.

## 2 Anlagenbeschreibung



**Bild 2:** Prinzipschaltbild Solaranlage Nahwärme Holzgerlingen mit Messstellen

Für die CO<sub>2</sub>-neutrale Wärmeversorgung wird in einer Heizzentrale ein Holzpelletskessel (540 kW) in Kombination mit einer thermischen Solaranlage (249 m<sup>2</sup>) und drei Pufferspeichern (je 5.000 Liter Inhalt) eingesetzt. Ein weiterer Holzpelletskessel (229 kW) speist von einer zweiten Heizzentrale ins Nahwärmenetz ein.

Die Solaranlage wurde so ausgelegt, dass sie im Sommer den gesamten Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung sowie die Netzverluste abdecken kann und somit der Pelletskessel mit 220 kW Heizleistung im Sommer außer Betrieb ist. Die 248,8 m<sup>2</sup> große Flachkollektoranlage ist auf dem Flachdach des Kindergartens aufgeständert. Die Ausrichtung des Kollektorfeldes weicht um 8° nach Westen von der Südrichtung ab. Die Neigung zur Horizontalen beträgt 30°. Jeweils zwei Kollektoren sind in Reihe geschaltet. Die erzeugte Solarwärme wird über eine erdverlegte Leitung vom Kollektorfeld in die Heizzentrale transportiert und über einen Wärmeübertrager in die Pufferspeicher eingespeist.

In der Heizzentrale, die 60 m vom Kindergarten entfernt ist, sind der Holzpelletskessel, die drei in Reihe geschalteten Pufferspeicher sowie die Wärmeübertrager untergebracht. Um unerwünschtes Takten des Holzpelletskessels zu vermeiden, ist der Kessel an den Pufferspeicher 1 angeschlossen. Die Verteilung der erzeugten Wärme erfolgt von der Heizzentrale über ein Nahwärmenetz.

Das Nahwärmenetz besteht aus zwei Teilnetzen (Nord und Süd). Das südliche Teilnetz ist für eine Leistung von 229 kW bei 70 °C Vorlauf und 40 °C Rücklauf-temperatur ausgelegt. Das nördliche Teilnetz ist für eine Leistung von 340 kW bei 65 °C Vorlauf und 35 °C Rücklauf ausgelegt. Über ans N ahwärmenetz angeschlossene Wärmeübergabestationen werden die Gebäude mit Wärme für die Gebäudeheizung und die Trinkwassererwärmung versorgt. Die Wärmeversorgung des Baugebietes Hülben wird vom Contracting-Unternehmen Immotherm GmbH betrieben.

### **3 Betriebserfahrungen und Optimierungsmaßnahmen**

Mit dem von der Hochschule Offenburg konzipierten und umgesetzten Meßsystem werden an Hand charakteristischer Anlagendaten die Energieströme innerhalb der Solaranlage und über die Systemgrenzen hinweg erfasst.

Durch die Analyse der Messdaten mit hoher zeitlicher Auflösung ist es möglich, das Betriebsverhalten der Solaranlage zu untersuchen und Störungen aufzuzeigen. Während des Messbetriebs werden die Messdaten ständig aufbereitet und z.B. Wochensummen (kWh, Betriebsstunden), Gesamtsummen (kWh, Betriebsstunden) sowie durchschnittliche Nutzungsgrade, Deckungsgrade und Volumenströme ermittelt. Anhand dieser Ergebnisse und Systemkennzahlen wird der Anlagenbetrieb analysiert. Werden Abweichungen von den zu erwartenden Werten festgestellt, so erfolgt eine Fehleranalyse, auf deren Basis Optimierungsmaßnahmen ausgearbeitet werden.

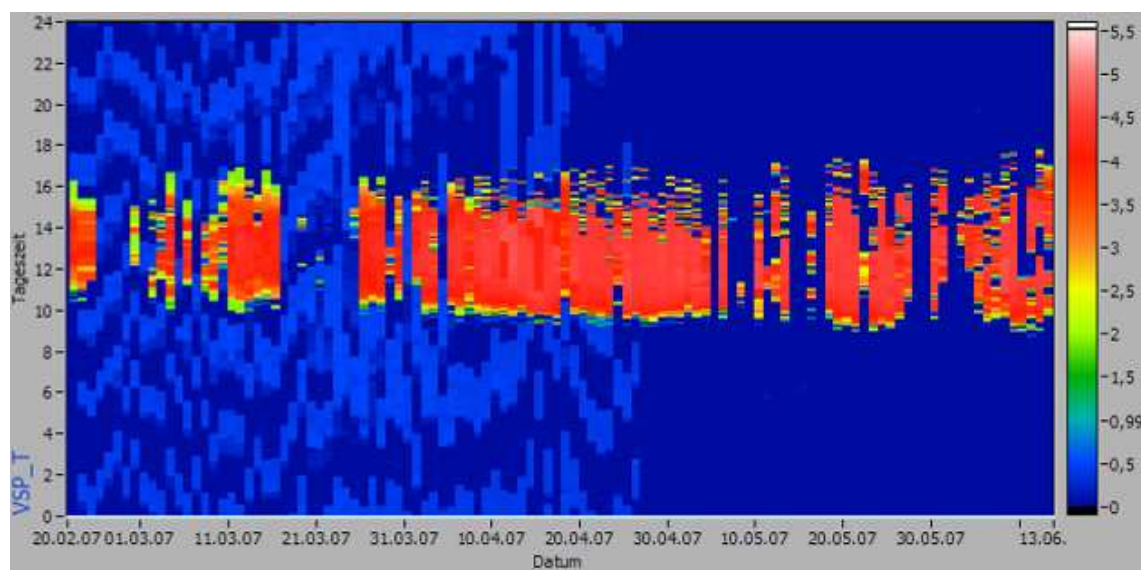
Seit der Inbetriebnahme des Messsystems in Holzgerlingen Ende 2005 wurden aus den Messdaten folgende Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt:

### **Defektes Strangreguliertventil im Speicherladekreis**

Im Speicherladekreis ist ein Strangreguliertventil eingebaut. Damit wird der Volumenstrom am Wärmeübertrager so geregelt, dass möglichst 70 °C warmes Wasser in die Pufferspeicher eingespeist wird. Die Regelung dieses Ventils war defekt und wurde im Frühjahr 2007 ersetzt. Seither funktioniert diese Regelung einwandfrei.

### **Einspeisung in Pufferspeicher**

Während des Probetriebs zeigte sich, dass die Einspeisung der Wärme in die Pufferspeicher nicht optimal war, weshalb diese am 16. August 2006 umgebaut wurden. Vor dem Umbau wurde die Solarwärme entweder in den heißen Pufferspeicher 1 oben oder zwischen Pufferspeicher 2 unten und Pufferspeicher 3 oben eingespeist. Dies erwies sich als nicht geeignet, da sich keine optimale Temperaturschichtung in den Speichern ausbilden konnte. Aus diesem Grund wurde die Einspeisung zwischen Speicher 2 und 3 geschlossen und an Pufferspeicher 1 unten (im Nachheizkreis) angebracht (Bild 2). Mit dieser Maßnahme wurde eine optimale Temperaturschichtung in den Speichern erzielt. Durch die Einspeisung im Nachheizkreis ergaben sich Fehlströmungen im Speicherladekreis von ca. 0,8 m<sup>3</sup>/h bei Betrieb der Pumpe des Nachheizkreises. Dies wurde durch eine Veränderung der Steuerung des Beladeventils behoben.



**Bild 3:** Carpet-Plot des Volumenstroms VSP am Wärmeübertrager sekundärseitig.

Es wird nun so geschaltet, dass es bei Stillstand der Speicherladekreispumpe auf Puffer 1 oben geschaltet ist. In Bild 3 ist der Volumenstrom am Wärmeübertrager sekundärseitig dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass seit der Änderung der Regelung des Beladeventils am 26.04.2007 keine Fehlströmungen mehr auftreten.

### **Undichtigkeiten im Kollektorfeld**

Im Juli 2007 kam es zu Undichtigkeiten im Kollektorfeld. Durch die Wärmeausdehnung der Absorber rieben sich die Wellenschläuche, die zur Verbindung der Kollektoren mit den Sammelrohren angebracht waren, an den Kollektorgehäusen und wurden undicht. Um dies in Zukunft zu vermeiden, wurde ein Stück Rohr angebracht, das aus dem Kollektorgehäuse herausragt und dadurch den direkten Kontakt von Wellenschlauch und Gehäuse verhindert.

Am 17.11.2007 kam es erneut zu einer Undichtigkeit im Kollektorkreis und dadurch zu einem mehrwöchigen Stillstand. Bei einem Kollektor lösten sich die Absorberrohre aus dem Verteilerrohr und verursachten die Undichtigkeit.

### **Verfärbungen an den Absorberblechen der Kollektoren**

An den Absorberblechen wurden teilweise punktuelle, zum Teil großflächige Verfärbungen festgestellt. Die betroffenen Absorberbleche wurden vom Hersteller im Februar 2007 ausgetauscht bzw. bei punktuellen Verfärbungen ausgebessert.

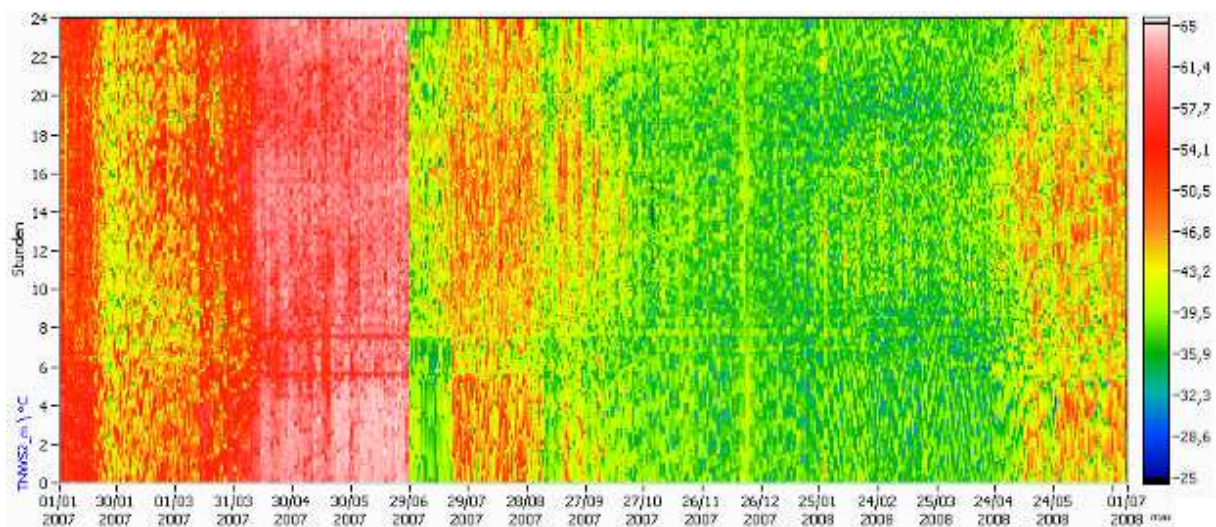
### **Verzögerung des Starts des Intensivmessjahres**

Erst Ende 2006 waren alle Gebäude bezogen, die an die Nahwärmeversorgung angeschlossen werden sollten. Bis zu diesem Zeitpunkt war der für die Berechnung der Energiegarantie vorgegebene Wärmebedarf nicht gegeben. Dementsprechend wurde das Intensivmessjahr erst gestartet, als alle Gebäude angeschlossen und bewohnt waren. Eine weitere Verzögerung ergab sich durch die erwähnten Undichtigkeiten im Kollektorfeld und die Verfärbungen der Absorberbleche. Die Verfärbungen konnten erst Ende Februar 2007 behoben werden, so dass sich der Start des Messjahres auf den 01. März 2007 verschob.

### **Hohe Rücklauftemperaturen**

In beiden Nahwärmenetzen wurden Rücklauftemperaturen gemessen, die deutlich über den Auslegungstemperaturen lagen. Dies hatte zur Folge, dass auch im unteren Bereich der Speicher ein hohes Temperaturniveau herrschte, wodurch der Ertrag der Solaranlage deutlich geringer ausfiel als bei niedrigerer Rücklauf-temperatur. Im südlichen Teil des Nahwärmenetzes konnte als Ursache hierfür ein

zu hoch eingestelltes Thermostatventil an einer Übergabestation mit Speicherladesystem als Ursache festgestellt werden. Da der Thermostat höher als die Netzvorlauftemperatur eingestellt war, konnte die Solltemperatur in dieser Übergabestation nicht erreicht werden, sodass ständig Wärme aus dem Nahwärmenetz angefordert wurde. Die Rücklauftemperatur lag deshalb im Sommer bei bis zu 65 °C. Am 28.06.2007 wurde dieses Problem entdeckt und behoben. In Bild 4 ist dieser Zeitpunkt durch die plötzlich niedrigeren Rücklauftemperaturen von 35 °C – 45 °C deutlich zu erkennen. Im Winter liegt die Rücklauftemperatur noch etwas niedriger.

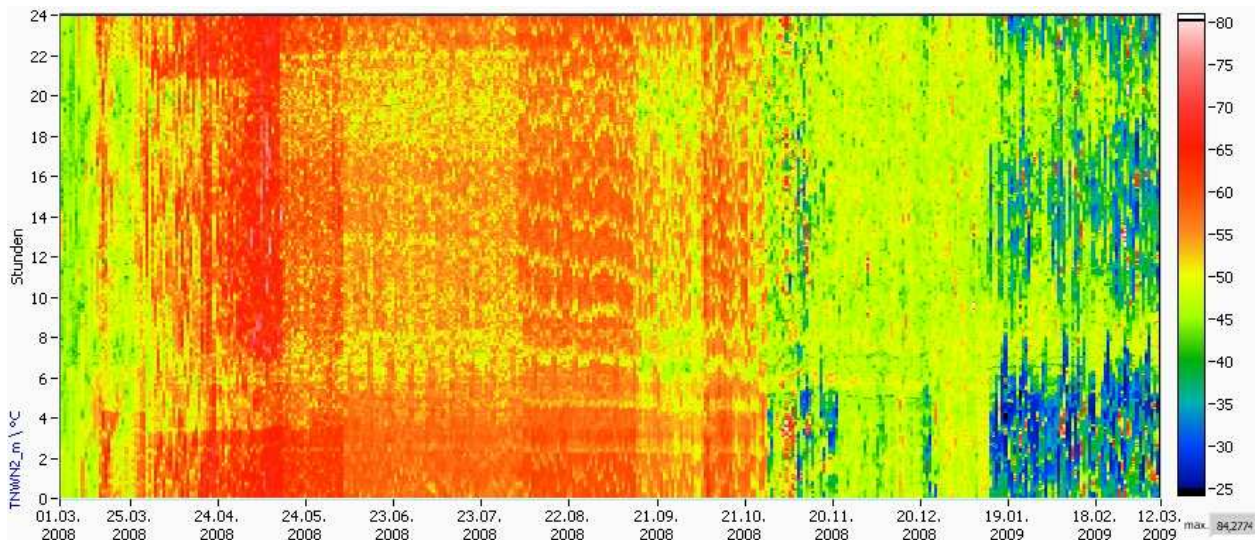


**Bild 4:** Carpet-Plot der Rücklauftemperatur im Nahwärmenetz Süd.

Im nördlichen Teil des Nahwärmenetzes ist in den Messdaten zu erkennen, dass am 09.11. und 29.11.2007 eine plötzliche Verringerung der Rücklauftemperatur aufgetreten ist. Sie reduziert sich insgesamt von 45 °C – 60 °C auf 35 °C – 45 °C (jeweils im Winter). Insgesamt bewegt sich die Rücklauftemperatur im nördlichen Nahwärmenetz auf einem deutlich höheren Temperaturniveau als im südlichen Netz.

Verschiedene im letzten Jahr durchgeführte Maßnahmen wie die Abkopplung der zweiten Heizzentrale im nördlichen Nahwärmenetz, Reparaturen an den Wärmeübergabestationen der Einfamilienhäuser und die Umstellung der Netzpumpe der ersten Heizzentrale (mit kombinierter Solaranlage) auf differenzdruckgeregelten Betrieb haben zu einer Verringerung der Rücklauftemperatur geführt.

Eine deutliche Absenkung der Rücklauftemperatur im nördlichen Netzstrang wurde ebenfalls durch die Reparatur der Vorlauftemperaturregelung erzielt (Bild 5).



**Bild 5:** Carpet-Plot der Rücklauftemperatur im Nahwärmenetz Nord

In Folge der Verringerung der Netzurücklauftemperatur, liegt auch das Temperaturniveau in den Speichern deutlich niedriger, was sich wiederum positiv auf den Anlagennutzungsgrad auswirkt.

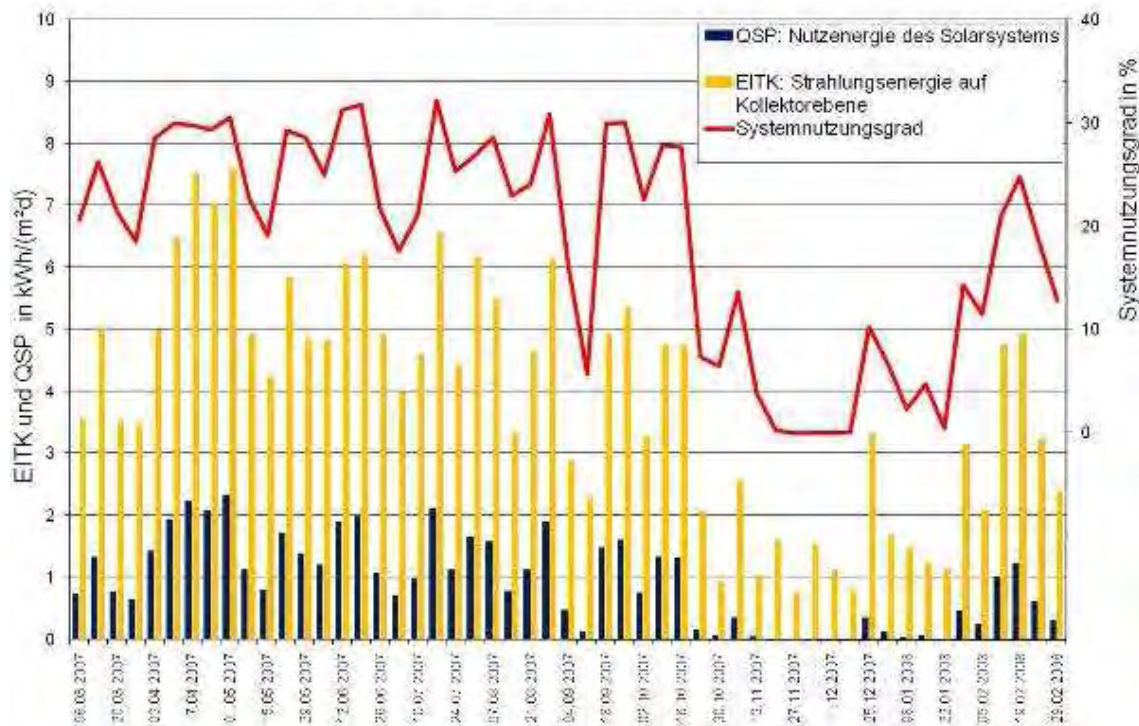
### **Abweichung Kollektortemperatur**

Die Kollektortemperatur (TKOL) ist bei vorhandenem Volumenstrom im Kollektorkreis (VKT) im Tagesmittel um bis zu 10 K niedriger im Vergleich zur Kollektorkreisvorlauftemperatur am Wärmeübertrager (TKT1). Infolgedessen geht die Solaranlage seltener oder später in Betrieb und der solare Ertrag wird geschmälert. Physikalisch ist dies nur möglich, wenn die Kollektoren ungleichmäßig durchströmt werden und der Kollektor, an dem TKOL gemessen wird, deutlich besser durchströmt wird als die anderen. Eine weitere Möglichkeit ist ein schlecht platzierter Kollektorfühler, der eine zu niedrige Temperatur des Kollektorfluids erfasst. Durch Volumenstrommessungen im Kollektorfeld wurde die Durchströmung der einzelnen Teilfelder untersucht und festgestellt, dass die Teilfelder von einem bis zu 20 % unterschiedlichen Volumenstrom durchströmt werden. Es ist geplant, Regulierventile ein zu bauen, mit denen die Volumenströme gleichmäßig eingestellt werden können. Außerdem wurde der Temperaturfühler der Regelung, der bisher in einer Tauchhülse im Vorlauf eines Kollektors eingebaut war, durch einen Fühler am Absorberblech ersetzt.

Seit Verlegung des Kollektorfühlers der Regelung an das Absorberblech schaltet die Kollektorkreispumpe bereits ein, bevor die Schaltdifferenz überschritten ist. Demzufolge wird am Kollektorfühler am Absorberblech eine höhere Temperatur gemessen, als vorher in der Tauchhülse.

## 4 Messergebnisse und Systemkennzahlen

Die mittlere Wärmeabgabe lag während der 1. Intensivmessphase (01.03.2007 - 29.02.2008) bei 2.515 kWh pro Tag. Als Gesamt-Wärmeabgabe wurden in diesem Zeitraum 920.606 kWh gemessen. Der tatsächliche Wärmeverbrauch lag damit um 8% über dem für die Simulation (848.228 kWh) in der Planungsphase angenommenen Wärmeverbrauch.



**Bild 6:** Spezifische Tagesmittelwerte (aus Wochensummen) der Strahlungs- und Nutzenergie und Wochenmittelwerte des Systemnutzungsgrades

Von der Gesamtstrahlung auf die Absorberfläche des Kollektorfeldes (E11) wurden im 1. Intensiv-Messjahr von 352.997 kWh bzw. 1.419 kWh/m<sup>2</sup> insgesamt 84.033 kWh über den Beladewärmeübertrager vom Kollektorkreis an den Pufferspeicher-Beladekreis abgegeben. Prozentual wurde von der eingestrahlt Energie 23,8 % (Systemnutzungsgrad) vom Beladekreis in die Solarspeicher geladen.

Bild 6 zeigt die spezifischen Tagesmittelwerte aus den Wochensummen der Strahlungs- und Nutzenergie sowie den Systemnutzungsgrad. Man sieht, dass der Solarertrag mit Zu- und Abnahme der Einstrahlung steigt und fällt. Ende November und Anfang Dezember fällt der Systemnutzungsgrad auf 0%, da die Solaranlage in diesem Zeitraum außer Betrieb war (siehe Kap. 3 „Undichtigkeit im Kollektorfeld“)



Von besonderem Interesse bei der Auswertung der Messdaten sind die Systemkenndaten: Solarertrag, Nutzungsgrad, Deckungsanteil und solare Nutzwärmekosten. Einen Überblick über die Anlagen- und Systemkenndaten des ersten Intensivmessjahres gibt Tabelle 1.

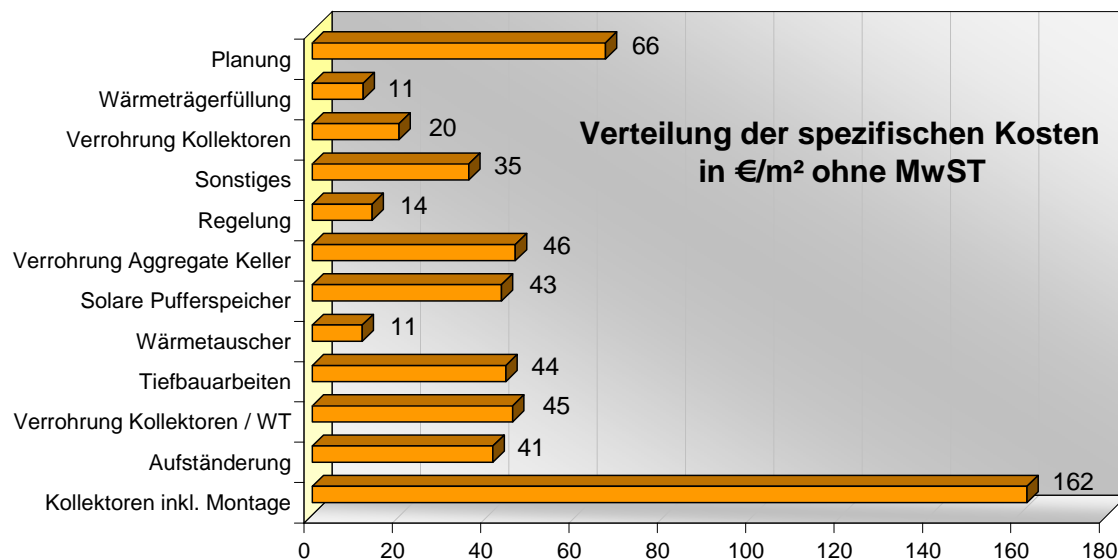
**Tabelle 1:** Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage Nahwärmeversorgung Holzgerlingen für den Zeitraum 01.03.2007 bis 29.02.2008 (1. Intensivmessphase)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.03.07 – 29.02.08	
			Absolut	Spezifisch
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EI1	352.997 kWh	1419 kWh/(m <sup>2</sup> a)
2	Nutzenergie des Solarsystems	QSP	84.033 kWh	338 kWh/(m <sup>2</sup> a)
3	Energie von Nachheizung (Pelletkessel)	QNH	797.652 kWh	
4	Energieabgabe an Nahwärmenetz	QNW	920.606 kWh	2515 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	852 kWh	9,38 Wh/(m <sup>2</sup> d)
6	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	gKB	24,1%	
7	Solarsystemnutzungsgrad	gSB	23,8%	
8		gSN	23,6%	
9	Solarer Deckungsanteil			
10	Gesamtenergie	brutto	dGE_B	9,5%
		netto	dGE_N	9,4%

Laut Messdaten wird mehr Wärme in das Nahwärmenetz eingespeist als von Pelletskessel und Solaranlage erzeugt wird. Da dies physikalisch nicht möglich ist, muss hier ein Messfehler vorliegen. Dieser konnte im Bereich der Wärmemengemessung des Pelletkessels lokalisiert werden. An dieser Stelle besteht zwischen Vor- und Rücklauf häufig eine sehr kleine Temperaturspreizung von unter 3 K. Hierdurch wirkt sich eine Abweichung der eingebauten Temperaturfühler sehr stark aus, sodass im vorliegenden Fall in der Summe weniger Wärme erfasst wurde als vom Kessel an die Speicher geliefert wurde. Durch ein Anheben der Temperaturspreizung (Verringerung des Volumenstroms) konnte dieses Problem mittlerweile gelöst werden.

## 5 Systemkosten und garantierter Energieertrag

Die Angebotskosten der realisierten Solaranlage lagen bei 159.875,34 €. Sie teilen sich wie in Bild 7 dargestellt in die verschiedenen spezifischen Kostenblöcke auf:



**Bild 7:** Verteilung der spezifischen Kosten für die Solaranlage Nahwärmeversorgung Holzgerlingen (nach Vergabe)

Als wichtiger Angebots-Bestandteil wurde vom Installateur der Anlage ein Jahres-Energieertrag für die Solaranlage von 98.088 kWh garantiert. Diese Energiegarantie basiert auf den im Leistungsverzeichnis vorgegebenen Wetter- und Verbrauchsdaten. Mit dem garantierten Ertrag der Solaranlage und den Systemkosten laut Angebot von 159.875,34 € ergaben sich die voraussichtlichen Nutzwärmekosten von 0,142 €/kWh. Mit dem im realen Betrieb gemessenen Jahresertrag von 84.033 kWh und den tatsächlich abgerechneten Systemkosten von 160.241,84 € ergeben sich tatsächliche Nutzwärmekosten von 0,166 €/kWh.

Die folgende Tabelle 2 stellt die angebotenen den abgerechneten Systemkosten gegenüber. Sie zeigt ebenfalls den garantierten Energieertrag neben dem Energieertrag des ersten Intensivmessjahres sowie die dazugehörigen solaren Nutzwärmekosten.

**Tabelle 2:** Garantierter Energieertrag, Systemkosten und solare Nutzwärmekosten für die Solaranlage Nahwärmeversorgung Holzgerlingen.

	Vergabe	Abgerechnet
Investitionskosten Solarsystem (ohne MwSt)	121.323,57 €	117.368,52
Planungskosten (ohne MwSt)	16.500,- €	20.771,- €
Kosten Solarsystem + Planung (inkl. 16% MwSt)	159.875,34 €	160.241,84 €
Spezifische Systemkosten (inkl. Planung und MwSt)	643 €/m <sup>2</sup>	644 €/m <sup>2</sup>
	Garantie	1. Messjahr
Energieertrag aus Solarsystem	98.088 kWh/a 394 kWh/(m <sup>2</sup> a)	86.497 kWh/a 338 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Solare Nutzwärmekosten *	0,142 €/kWh	0,162 €/kWh
* Solare Nutzwärmekosten = (Systemkosten x rel. Annuität) / Solarertrag rel. Annuität = 8,72 %, basierend auf 20 Jahren Anlagenlebensdauer und 6% Kapitalzins.		

Da die tatsächlichen Betriebsbedingungen (Verbrauch, Wetter, Rücklauftemperatur, etc.) nicht mit den für die Auslegung vorgegebenen Standardbedingungen übereinstimmen, wurde der vom Bieter garantierte Energieertrag unter Berücksichtigung der realen Betriebsbedingungen mit Hilfe des Simulationsprogramms TRNSYS korrigiert. Zum Ausgleich von Messtoleranzen und Schwankungen in den Simulationsrechnungen werden die in der Nachrechnung ermittelten korrigierten Werte für Energieertrag und Systemnutzungsgrad zusätzlich um 10% reduziert, d.h. die Garantie gilt als erfüllt, wenn mindestens einer der beiden korrigierten Garantiewerte größer oder gleich 90% der gemessenen Werte ist.

Im ersten Intensiv-Messjahr wurde die Energiegarantie nicht erfüllt. Hauptursache hierfür sind fehlerhafte Kollektorkennwerte des Jahres 2001, die im Vergleich zu den Kennwerten vom Jahr 2008, die von einem anderen Prüfinstitut ermittelt wurden, einen höheren Solarertrag versprechen. Im Angebot für die Solaranlage wurden die Kennwerte von 2001 eingereicht. Unabhängig davon wurden Maßnahmen zur Optimierung der Anlage eingeleitet, die in Kapitel 3 beschrieben sind. Ein weiteres

Garantiemessjahr, das am 01.12.2008 gestartet wurde, soll Aufschluss über den Erfolg der Maßnahmen bringen.



**Bild 8:** Kollektorfeld auf dem Dach des Kindergartens



**Bild 9:** Heizzentrale der Nahwärmeversorgung Holzgerlingen

#### **Weiterführende Literatur:**

- /1/ Späte, F.; Laderer, H. „Solaranlagen; Handbuch der Thermischen Solarenergienutzung“; S 214 ff „Große Solaranlagen“ Huber, K; Bollin E. ; 10. Auflage; 2008