

Erste Messergebnisse der solar unterstützten Nahwärmeversorgung in Crailsheim

R. Marx¹⁾, J. Nußbicker-Lux¹⁾, D. Bauer¹⁾, W. Heidemann¹⁾, H. Müller-Steinhagen^{1),2)}

¹⁾ Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik

Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

Tel.: 0711 / 685 63536, Fax: 0711 / 685 63503

E-Mail: marx@itw.uni-stuttgart.de

Internet: www.itw.uni-stuttgart.de

²⁾ DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik

Einleitung

In Crailsheim wird ein ehemaliges Kasernengelände genutzt, um das Neubaugebiet Hirtenwiesen 2 mit einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung (SuN) mit saisonaler Wärmespeicherung zu realisieren. Mit einer Kollektorfläche von 10000 m² und einem Erdsonden-Wärmespeicher von 39000 m³ sowie dem Einsatz von zwei Wärmepumpen mit einer Leistung von je 530 kW_{th} soll die möglichst wirtschaftliche CO₂-Einsparung von 50% gegenüber dem Baustandard erreicht werden.

Anlagenbeschreibung

Das Neubaugebiet wird in zwei Bauabschnitten errichtet, wovon der erste Bauabschnitt ein Gymnasium mit Sporthalle sowie Wohngebäude mit 259 Wohneinheiten umfasst. Der Wärmebedarf des ersten Bauabschnitts wird nach Fertigstellung der Wohngebäude ca. 4100 MWh/a betragen. Im zweiten Bauabschnitt sollen dann weitere 210 Wohneinheiten entstehen. Die Nahwärmeversorgung ist aufgrund der großen Entfernung zwischen den Kollektorflächen in zwei Anlagenteile untergliedert, die mit einer 300 m langen Leitung verbunden sind. Der erste Anlagenteil umfasst einen 100 m³ Pufferspeicher, 2492 m² (1745 kW_{th}) Kollektorfläche und eine Heizzentrale. Der zweite Anlagenteil wird vorwiegend saisonal betrieben und besteht aus einem 39000 m³ Erdsonden-Wärmespeicher, einem 480 m³ Pufferspeicher, einer Heizzentrale sowie Kollektorflächen. Derzeit sind 3213 m² Kollektorfläche auf dem Wall Ost installiert. Im zweiten Anlagenteil sollen zunächst etwa 5000 m² Kollektorfläche (Wall Ost und West) installiert werden, die vorwiegend der Beladung des Erdsonden-Wärmespeichers dienen. Der Pufferspeicher ist notwendig, da die maximale Kollektorleistung deutlich über der Beladeleistung des Erdsonden-Wärmespeichers liegt. Im zweiten Anlagenteil ist die Installation von zwei elektromotorisch angetriebenen Wärmepumpen mit einer Leistung von je 530 kW_{th}

vorgesehen. Die Wärmepumpen, die zwischen den beiden Pufferspeichern integriert werden sollen, dienen der effizienten Entladung des Erdsonden-Wärmespeichers. Die Nachheizung der auf einen solaren Deckungsanteil von 50% (am Gesamtwärmebedarf) ausgelegten Nahwärmeversorgung erfolgt mit Fernwärme. Im Bild 1 ist das vereinfachte Anlagenschema der SuN Crailsheim dargestellt. Eine genaue Beschreibung der Anlagenkomponenten ist in [2] enthalten.

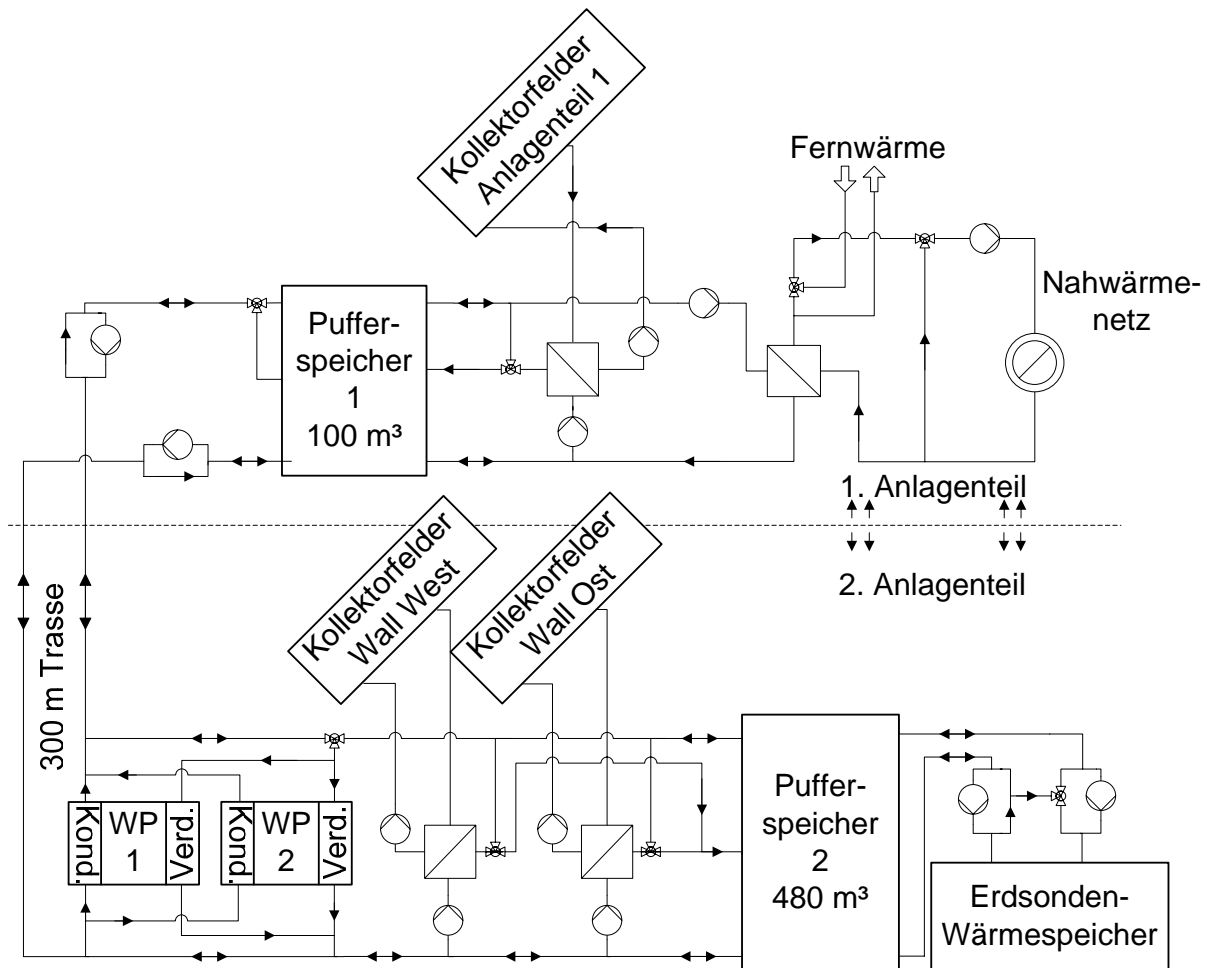


Bild 1: Vereinfachtes Anlagenschema der solar unterstützten Nahwärmeversorgung

Messdatenerfassung und -auswertung

Es werden Temperaturen (Pt100) und Volumenströme (Ultraschall bzw. Flügelrad im Glykolkreis) gemessen, z. B. in den Rohrleitungen in den Heizzentralen, innerhalb und außerhalb der Pufferspeicher, im Erdsonden-Wärmespeicher, an ausgewählten Kollektorfeldern und an den Wärmepumpen. Wärmestrom-Messplatten werden genutzt, um die Wärmeverluste der Wärmespeicher zu untersuchen. Außerdem wurden Wärmemengenzähler installiert, deren Daten über einen M-Bus an einen zentralen Rechner übertragen werden. Die Messdatenerfassung erfolgte nicht mit einem eigenständigen System, sondern wurde mit der Anlagenregelung (SPS)

gekoppelt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Ausfallzeiten der Messdatenerfassung erheblich sind: zum einen kann nur der Betreiber (bzw. dessen Beauftragter) das Messsystem neu starten und zum anderen war die Datenaufzeichnung während der Programmierungsarbeiten über längere Zeiträume ganz oder teilweise unvollständig. Eine besonders hohe Ausfallhäufigkeit war bei den über den M-Bus übertragenen Daten zu verzeichnen, sodass eine detaillierte Messdatenauswertung für die Zeiträume, in denen der M-Bus ausgefallen war, nicht möglich ist.

Wärmebilanzen

In Tabelle 1 sind die Wärmebilanzen der solar unterstützten Nahwärmeversorgung für die Jahre 2006 bis 2008 aufgeführt. Der spezifische solare Bruttowärmeertrag der Kollektorfelder des ersten Anlagenteils betrug im Jahr 2008 570 MWh und war damit geringfügig höher als in den Vorjahren. Der Wärmeverbrauch im Netz ist von 2022 MWh (2006) auf 2990 MWh (2008) angestiegen, liegt aber immer noch deutlich unter dem prognostizierten Wärmebedarf für den ersten Bauabschnitt von 4100 MWh. Zur Stagnationsvermeidung der Kollektorfelder wurden im Jahr 2006 65 MWh solar erzeugter Wärme in den Rücklauf des Netzes Hirtenwiesen 1 eingespeist. Wegen der Zunahme des Wärmebedarfs im Netz Hirtenwiesen 2 und der Errichtung des 480 m³ Pufferspeichers wurde im Jahr 2008 keine Wärme an das Netz Hirtenwiesen 1 geliefert. Der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf ist aufgrund des erhöhten Wärmeverbrauchs im Netz von 20% in den Jahren 2006 und 2007 auf 16% im Jahr 2008 gesunken.

Tabelle : Wärmebilanzen der solar unterstützten Nahwärmeversorgung

		2006	2007	2008
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ²	1307	1330	1305
Wärmelieferung der Kollektoren ¹⁾	MWh	545	566	570
je m ² Kollektorfläche	kWh/m ²	350	363	365
Einspeisung Solarwärme in Hirtenwiesen 2	MWh	408	462	483
Einspeisung Solarwärme in Hirtenwiesen 1 Rücklauf	MWh	65	45	0
Wärmemenge ins Netz Hirtenwiesen 2	MWh	2022	2255	2990
Wärmelieferung durch Fernwärme	MWh	1630	1765	2530
Verluste Speicher und Heizzentrale	MWh	72	59	86
Solarer Deckungsanteil Hirtenwiesen 2	%	20	20	16

¹⁾ Kollektorflächen 1. Anlagenteil

In Bild 2 sind die monatlichen Wärmebilanzen der Nahwärmeversorgung für das Jahr 2008 dargestellt. Der Wärmeverbrauch ist in den Monaten Januar bis März ungefähr gleich hoch, während er am Ende des Jahres aufgrund des Anschlusses von Gebäuden deutlich anstieg.

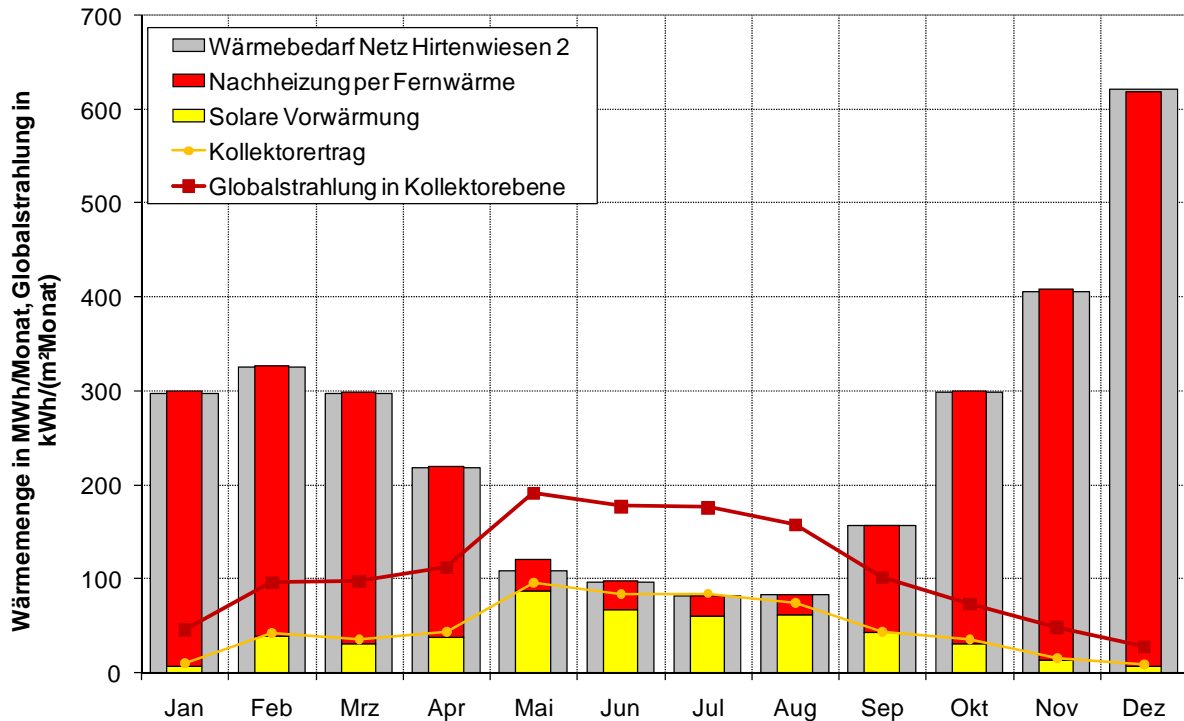


Bild 2: Wärmebilanz der solar unterstützten Nahwärmeversorgung (2008)

Solaranlagen

Für die Kollektorfelder des ersten Anlagenteils zeigt Bild 3 die täglichen Wärmeerträge in Abhängigkeit von der täglichen Globalstrahlungssumme in der Kollektorebene. Durch die Einspeisung solarer Wärme in das Netz Hirtenwiesen 1 wurde Stagnation vermieden. Der Betrieb der Kollektorfelder des ersten Anlagenteils erfolgte in den vergangenen Jahren weitgehend störungsfrei. Die Regressionsgeraden der Jahre 2007 und 2008 sind bei mittleren und höheren täglichen Globalstrahlungssummen, d. h. in den Sommermonaten, nahezu identisch und verlaufen steiler als im Jahr 2006. Grund hierfür ist die gestiegene Wärmeabnahme im Nahwärmenetz und die damit verbundenen geringeren Wärmespeicher- und Kollektortemperaturen.

Für die Kollektorfelder des zweiten Anlagenteils auf dem Wall Ost können noch keine Aussagen getroffen werden, da im Laufe des Jahres 2008 erst ein Kollektorfeld (von 13) in Betrieb genommen werden konnte.

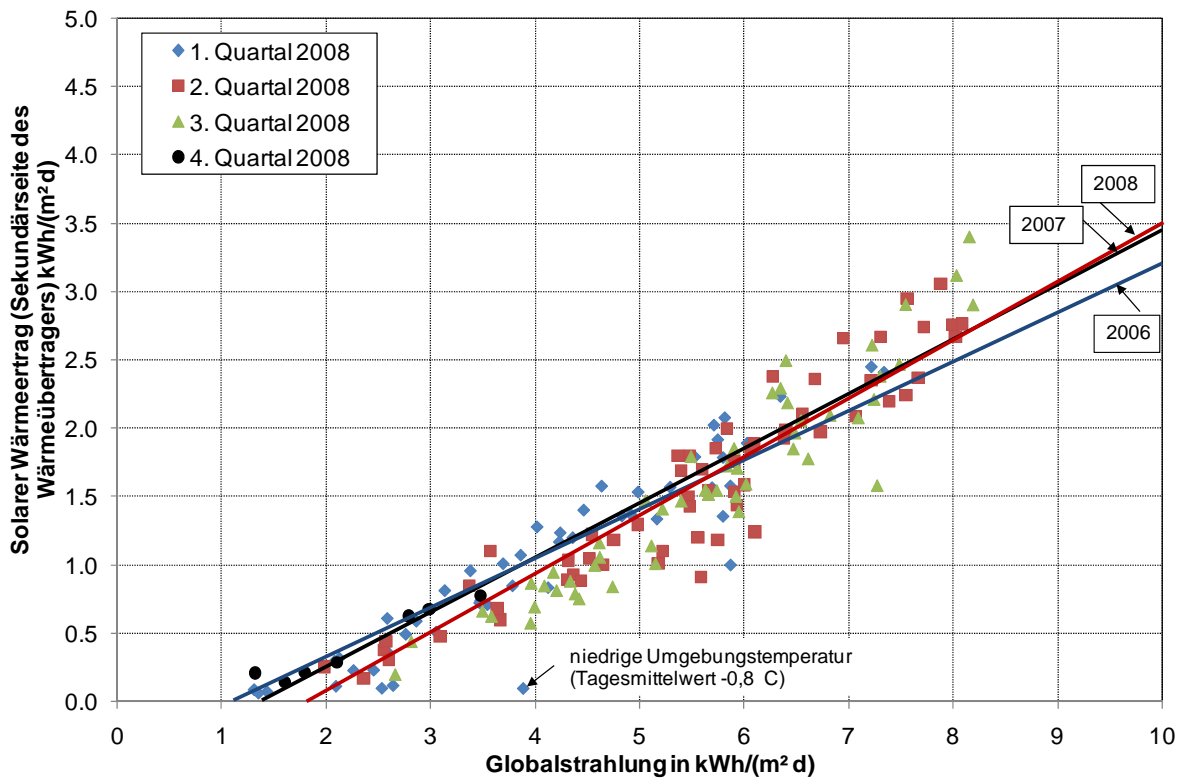


Bild 3: Input-Output-Diagramm der Kollektorfelder des ersten Anlagenteils

Nahwärmenetz

Im Bild 4 sind die Vor- und Rücklauftemperaturen sowie der Volumenstrom des Netzes Hirtenwiesen 2 aufgetragen. Die geplanten Netztemperaturen von 65 / 35°C wurden in den Jahren 2007 mit 74.7 / 41.1°C und 2008 mit 74.5 / 43.6°C noch nicht erreicht. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass eine deutliche Absenkung der Netztemperaturen nach dem Abschluss der Baumaßnahmen und dem Anschluss weiterer Wärmeabnehmer erfolgen wird.

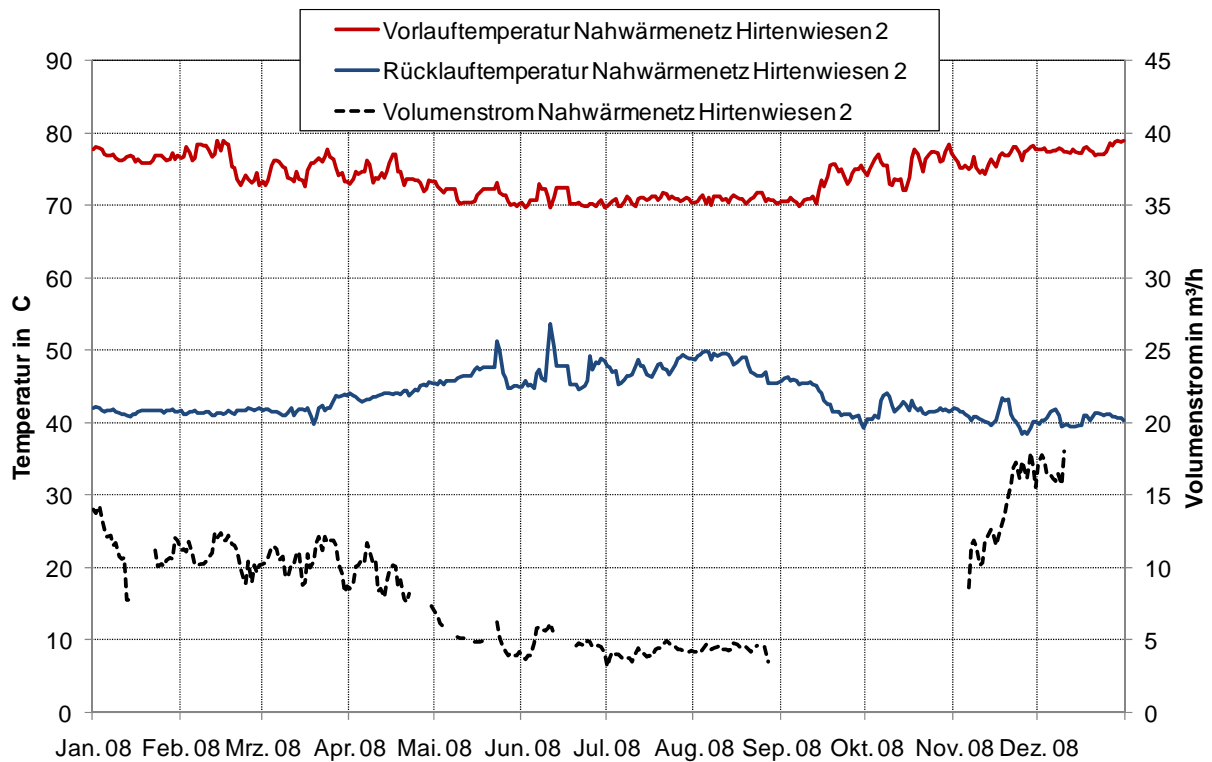


Bild 4: Netztemperaturen und -volumenstrom Hirtenwiesen 2

Pufferspeicher

In Bild 5 sind die Temperaturen im Pufferspeicher 1, der ein Volumen von 100 m³ besitzt und in den ersten Anlagenteil integriert ist, für den 31.08.2008 dargestellt. Während der Pufferspeicher 1 in den ersten Betriebsmonaten bei Maximaltemperaturen von 105°C betrieben wurde, siehe [2], musste die Maximaltemperatur im Jahr 2008 auf unter 100°C abgesenkt werden [4], um Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Schichtung des mit einer Schichtbeladeeinrichtung ausgestatteten Pufferspeichers funktioniert sehr gut, es konnten maximale Temperaturdifferenzen zwischen oberer und unterer Speichertemperatur von 50 K erreicht werden.

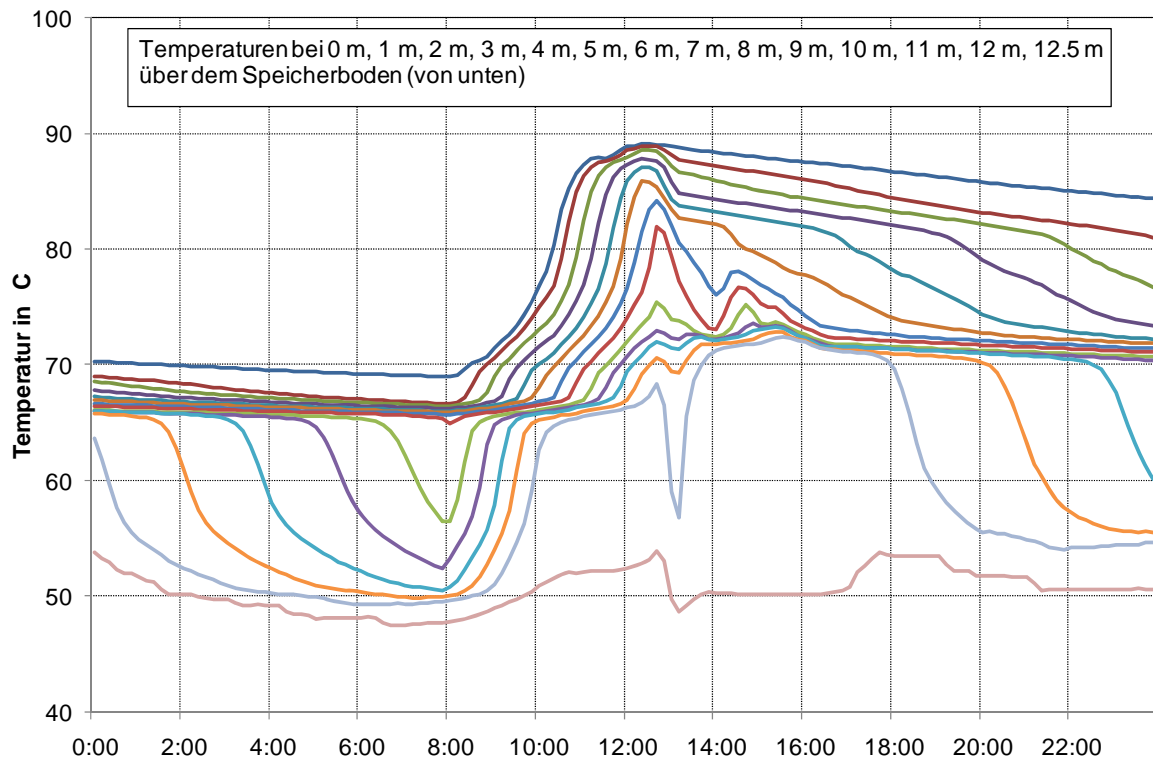


Bild 5: Temperaturen im Pufferspeicher 1 am 31.08.2008

Im Bild 6 sind die Temperaturen im Pufferspeicher 2, der ein Volumen von 480 m³ besitzt und in den saisonal betriebenen zweiten Anlagenteil integriert ist, für den 31.08.2008 dargestellt. Außerdem sind die sekundärseitigen Temperaturen an den Solarwärmeübertragern des ersten (SWT1) und des zweiten Anlagenteils (SWT3) und der sekundärseitige Durchfluss am SWT3 aufgetragen. Der Pufferspeicher 2 soll genutzt werden, um die solare Wärme der Kollektorfelder des zweiten Anlagenteils aufzunehmen und über den ganzen Tag verteilt an den Erdsonden-Wärmespeicher abzugeben. Im Jahr 2008 war der Erdsonden-Wärmespeicher noch nicht in Betrieb und von den Wallkollektorfeldern wurden im Laufe des Jahres 2008 erst 245 m² in Betrieb genommen. Der Pufferspeicher 2 wurde daher genutzt, um überschüssige solare Wärme aus dem ersten Anlagenteil aufzunehmen. Dies ist an der Temperaturerhöhung an den oberen Messpositionen (z. B. Puffer2, oben und 14.25 m) zu erkennen. Die Messposition „Puffer2, 0.25 m“ zeigt an, dass solare Wärme von dem Wallkollektorfeld eingespeichert wurde. Da der Pufferspeicher auf den Anschluss von ca. 5000 m² Kollektorfläche ausgelegt ist, ist die Temperaturerhöhung durch das 245 m² Kollektorfeld sehr gering. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Schichtbeladeeinrichtung gut funktioniert.

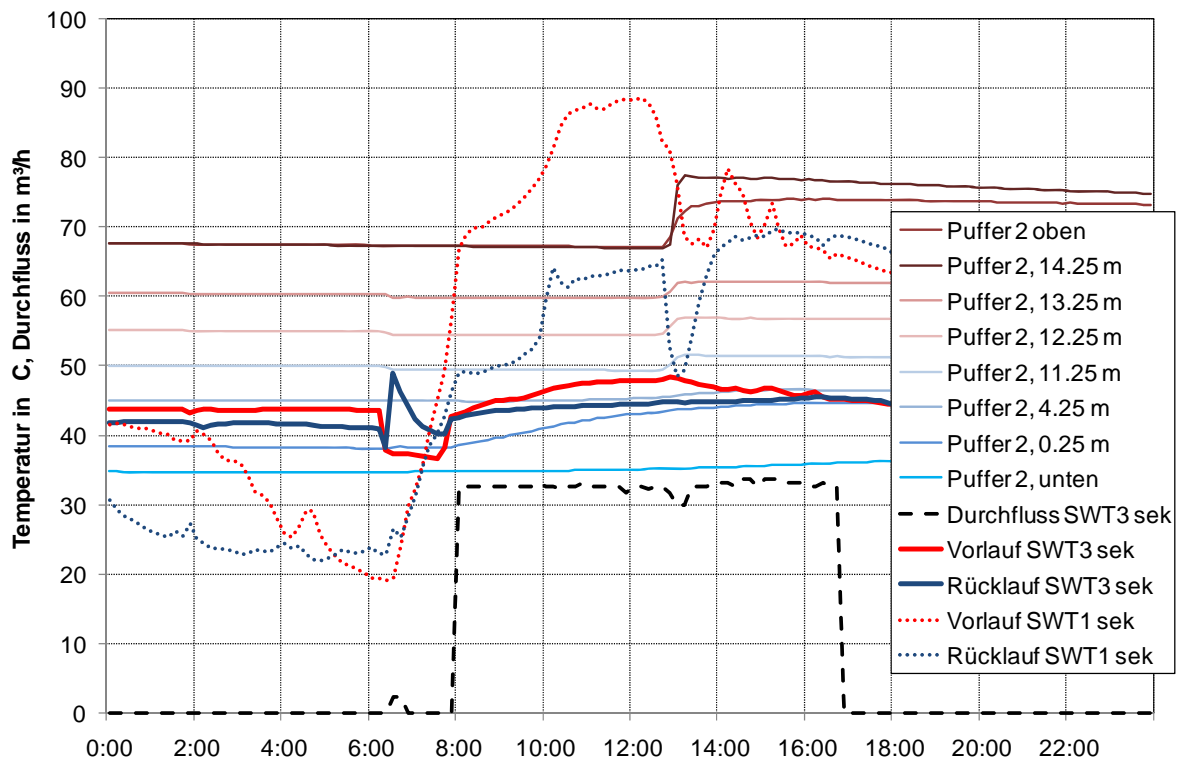


Bild 6: Temperaturen im Pufferspeicher 2 sowie sekundärseitig an den Solarwärmübertragern SWT1 und SWT3 am 31.08.2008

Erdsonden-Wärmespeicher

Der Erdsonden-Wärmespeicher wurde im Laufe des Jahres 2008 gebaut und im August 2008 erstmalig in Betrieb genommen, nachdem im September 2007 die wasserrechtliche Erlaubnis erteilt wurde. Es können daher noch keine Messdaten zum Betrieb des Erdsonden-Wärmespeichers angegeben werden. In Bild 7 ist das mit TRNSYS-Simulationen [6], [7] ermittelte Temperaturprofil dargestellt, das sich nach fünf Jahren Betriebszeit bei maximaler Beladung ergibt. Die Maximaltemperaturen im Erdsonden-Wärmespeicher werden ca. 60°C betragen. Bis in eine Tiefe von 10 m wird die Erdreichtemperatur (außerhalb des Erdsonden-Wärmespeichers) durch die Umgebungstemperatur beeinflusst.

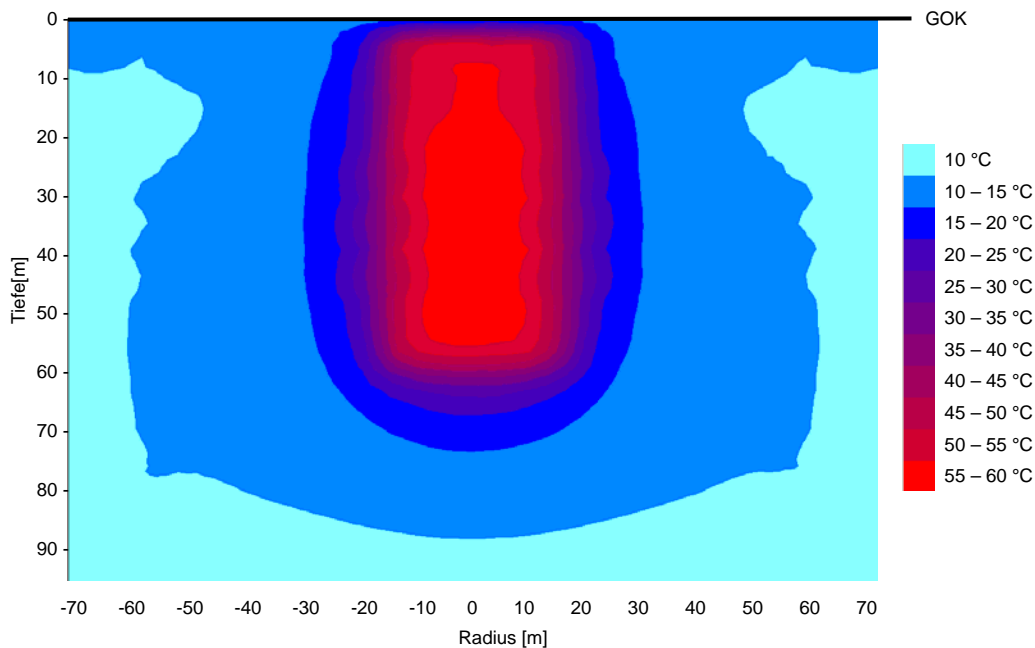


Bild 7: Temperaturprofil des Speichers bei maximaler Beladung (nach 5 Jahren, Ende 3. Quartal); TRNSYS-Simulation, DST-Modell

Zusammenfassung und Ausblick

In den Jahren 2006 und 2007 wurde ein solarer Deckungsanteil von 20% und im Jahr 2008 von 16% erreicht. Der niedrigere solare Deckungsanteil im Jahr 2008 ist auf den gestiegenen Wärmeverbrauch im Nahwärmenetz zurückzuführen. Im Laufe des Jahres 2008 wurde der Erdsonden-Wärmespeicher errichtet und 3213 m² Kollektorfläche auf dem Wall Ost installiert, die jedoch aufgrund technischer Probleme noch nicht endgültig in Betrieb genommen werden konnten. Außerdem müssen die beiden Wärmepumpenmodule installiert werden, um die geplante Funktionalität zu erreichen. Nach der Inbetriebnahme des zweiten Anlagenteils muss zunächst in den ersten Betriebsjahren in den Erdsonden-Wärmespeicher mehr Wärme eingespeichert werden, als entladen werden kann. Es ist daher zu erwarten, dass der solare Deckungsanteil in den kommenden Jahren steigen wird.

Literatur

- [1] J. Nußbicker-Lux, D. Bauer, R. Marx, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Monitoring Results from German Central Solar Heating Plants with Seasonal Thermal Energy Storage, EFFSTOCK 14.-17.06.2009, Stockholm / Schweden
- [2] D. Bauer, W. Heidemann, R. Marx, J. Nußbicker-Lux, F. Ochs, V. Panthalookaran, S. Raab: Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Juni 2005 bis Juli 2008), Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben 0329607J, Stuttgart 2009
- [3] M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, A. Schenke, T. Schmidt: Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Februar 2003 bis Mai 2005), Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben 0329607F, Stuttgart, 2005
- [4] M. Ebel, M. Schopf: Umsetzungserfahrungen Solare Nahwärme Hirtenwiesen 2 in Crailsheim, 18. OTTI Symposium thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2008
- [5] D. Bauer, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Der Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim, 17. OTTI Symposium thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2007
- [6] TRNSYS Version 15.0 – User Manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison und Transsolar, Stuttgart, 2000
- [7] D. Pahud, G. Hellström, L. Mazzarella: Duct Ground Heat Storage Model for TRNSYS (TRNVDST), User Manual, LASSEN-EPFL, Lausanne CH, 1996

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren.