

# **SOLAR UNTERSTÜTZTE NAHWÄRMEVERSORGUNG: LANGZEITERFAHRUNGEN DER ANLAGE IN FRIEDRICHSHAFEN**

D. Bauer<sup>1)</sup>, W. Heidemann<sup>1)</sup>, H. Müller-Steinhagen<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup> Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
Tel.: +49-(0)711-685-69445, Fax: +49-(0)711-685-63503  
E-mail: [bauer@itw.uni-stuttgart.de](mailto:bauer@itw.uni-stuttgart.de)  
[www.itw.uni-stuttgart.de/sun](http://www.itw.uni-stuttgart.de/sun)

<sup>2)</sup> DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart

## **1 Einleitung**

Im Neubaugebiet Wigganhausen Süd der Stadt Friedrichshafen am Bodensee ging im Jahr 1996 eine der beiden ersten Pilotanlagen im Rahmen des BMFT-Vorhabens ‚Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher‘ in Betrieb. Der Langzeit- Wärmespeicher wurde als Heißwasser-Wärmespeicher mit 12 000 m<sup>3</sup> Wasservolumen realisiert.

Das Nahwärmenetz versorgt zurzeit zwei Bauabschnitte mit Wärme für Heizung und Trinkwarmwasser. Der erste Bauabschnitt umfasst 280 Wohneinheiten mit einer bewohnten Fläche von ca. 21 500 m<sup>2</sup> in vier Gebäudekomplexen sowie einen Kindergarten mit ca. 1 500 m<sup>2</sup> Nutzfläche. Seit Februar 2002 werden nacheinander Häuser des zweiten Bauabschnitts fertig gestellt und an die Wärmeversorgung angeschlossen. Im ersten Bauabschnitt sind 2 701 m<sup>2</sup> Kollektorfläche (Flachkollektoren) und im zweiten Bauabschnitt 1 350 m<sup>2</sup> installiert. Betreiber der Anlage sind die Stadtwerke Friedrichshafen. Eine detaillierte Beschreibung der solar unterstützten Nahwärmeversorgung in Friedrichshafen findet sich in [1].

Die wissenschaftliche Begleitung der Anlage durch das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart findet im Rahmen des Energieforschungsprogramms Solarthermie2000plus [2] des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) statt und beinhaltet ein kontinuierliches und detailliertes Monitoring der Anlage seit deren Inbetriebnahme. Dies ermöglicht die genaue Analyse von Regelstrategien und deren Auswirkungen. Weiterhin können die Funktion des Heißwasser-Wärmespeichers, der Kollektorfelder, des Nahwärmenetzes sowie zusätzlicher Anlagenkomponenten wie z.B. Wärmeübertrager exakt nachvollzogen werden. Im Folgenden werden die durch das Monitoring gewonnenen Betriebsergebnisse und Erfahrungen dargestellt.

## 2 Wärmebilanz

Tabelle 1 zeigt die Wärmebilanzen des Systems für die elf Betriebsjahre von 1997 bis 2007 im Überblick. Der jährliche Wärmebedarf des Nahwärmenetzes betrug in den ersten sechs Betriebsjahren zwischen 2 033 MWh und 2 423 MWh. Nach Anschluss des zweiten Bauabschnitts an das System beträgt nun die Wärmeabnahme der beiden Bauabschnitte gemeinsam etwas mehr als 3 000 MWh. Der solare Deckungsanteil betrug zwischen 21% (1997/1999) und 33% (2007). Die von den Solarkollektoren gelieferte Wärme erreichte 2007 mit 1 400 MWh den bisherigen Höchstwert. Davon konnten 172 MWh ohne Zwischenspeicherung im Langzeit-Wärmespeicher direkt genutzt werden. Die bilanzierten Wärmeverluste von saisonalem Wärmespeicher und Heizzentrale lagen in den ersten sechs Betriebsjahren bei ca. 340 MWh/a. Nach Anschluss von weiteren 1 350 m<sup>2</sup> großen Kollektorfeldern des zweiten Bauabschnitts und damit einem höheren Temperaturniveau des Speichers stiegen die bilanzierten Wärmeverluste auf bis zu 482 MWh/a im Jahr 2007.

Tabelle1: Wärmebilanz der solar unterstützten Nahwärmeversorgung  
Friedrichshafen

	Einheit	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m <sup>2</sup>	1290	1305	1211	1271	1292	1306
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	1080	946	880	944	892	989
je m <sup>2</sup> Kollektorfläche	kWh/m <sup>2</sup>	400	350	326	349	330	366
Einspeisung Solarwärme ins Netz	MWh	475	620	478	611	566	652
je m <sup>2</sup> Kollektorfläche	kWh/m <sup>2</sup>	176	230	177	226	210	241
Speicherverluste	MWh	357	325	359	360	322	333
Wärmemenge Gesamt ins Netz	MWh	2262	2245	2278	2033	2173	2423
Netzverluste (1. BA)	%	7.2%	8.8%	7.1%	3.8%	4.8%	6.0%
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	1788	1623	1768	1426	1604	1773
Solarer Deckungsanteil	%	21%	28%	21%	30%	26%	27%

	Einheit	2003	2004	2005	2006	2007
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m <sup>2</sup>	1473	1323	1338	1326	1358
Wärmelieferung der Kollektoren	MWh	941*	808*	1179	1200	1400
je m <sup>2</sup> Kollektorfläche	kWh/m <sup>2</sup>	348*	299*	291	296	346
Einspeisung Solarwärme ins Netz	MWh	886**	743**	764	803	962
je m <sup>2</sup> Kollektorfläche	kWh/m <sup>2</sup>	-	-	189	198	238
Speicherverluste	MWh	-	-	386	421	482
Wärmemenge Gesamt ins Netz	MWh	3325	3013	3205	3017	2942
Netzverluste (1. BA)	%	7.7%	8.8%	-	7.3%	5.1%
Wärmelieferung durch Gaskessel	MWh	2210	2270	2440	2310	1982
Solarer Deckungsanteil	%	27%	25%	24%	26%	33%

\* nur Bauabschnitt 1; Bauabschnitt 2 nicht erfasst

\*\* Bauabschnitt 1 + Bauabschnitt 2

Für den ersten Bauabschnitt wurde im Vorfeld durch Simulationen ein solarer Deckungsanteil von 43% berechnet. Dieser Wert konnte aus mehreren Gründen bisher nicht erreicht werden. Der Wärmebedarf der Gebäude des ersten Bauabschnitts ist geringfügig höher als erwartet. Weiterhin sind die ursprünglich

angestrebten Netzurücklauftemperaturen von unter 40°C (volumenstromgewichtetes Jahresmittel) bisher deutlich überschritten worden. Im Jahr 2006 betrug der volumenstromgewichtete Jahresmittelwert der Netzurücklauftemperatur des ersten Bauabschnitts 56,6°C. Die Wärmeverluste des Langzeit-Wärmespeichers liegen deutlich über den berechneten Werten von 220 MWh/a. Die monatliche Wärmebilanz für das Jahr 2007 ist in Abbildung 1 dargestellt.

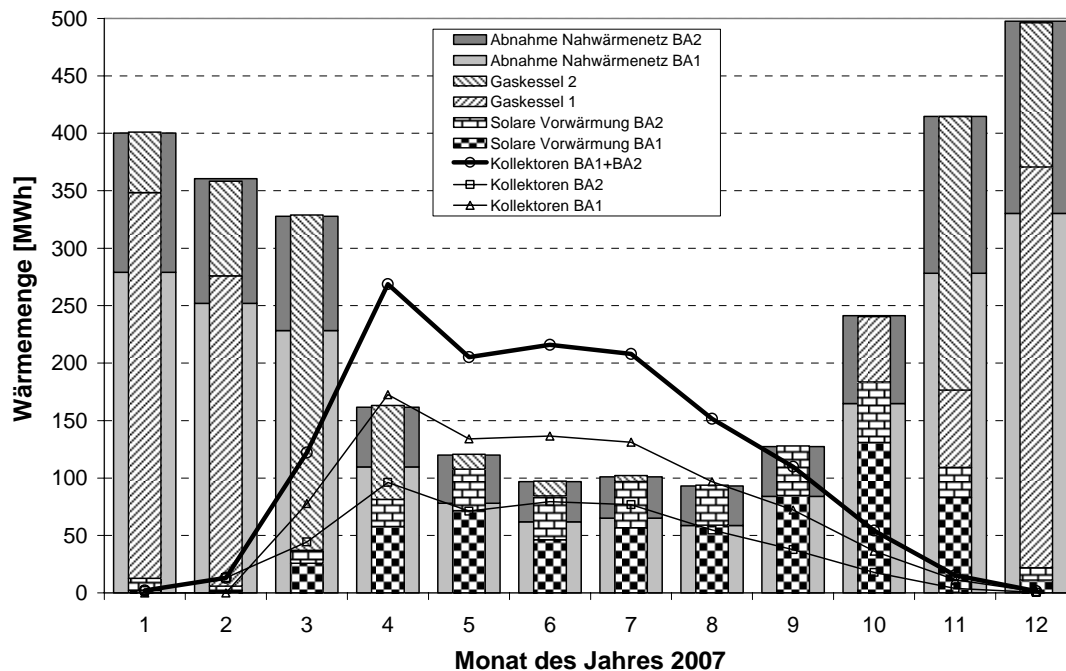


Abbildung 1: Monatliche Wärmebilanz des Jahres 2007

### 3 Kollektorfelder

Der spezifische solare Bruttowärmeertrag der Kollektorfelder betrug im Jahr 2007 345 kWh/(m<sup>2</sup>a), entsprechend einem Nutzungsgrad der Kollektorfelder von 25,4%. Er konnte damit gegenüber den Vorjahren aufgrund gesunkener Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes signifikant gesteigert werden. Die spezifischen solaren Bruttowärmeerträge des ersten Bauabschnitts liegen mit 333 kWh/(m<sup>2</sup>a) etwas unter denen der neueren Kollektoren des zweiten Bauabschnitts (369 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Grund dafür ist zum Einen eine Zunahme der Feuchtigkeit in den Kollektoren des ersten Bauabschnitts, welche zu häufig beschlagenen Kollektorscheiben führt (Abbildung 2).

Ein weiterer Grund für die niedrigeren spezifischen solaren Bruttowärmeerträge der Kollektorfelder des ersten Bauabschnitts ist der von Fouling (Verschmutzung) betroffene Solarwärmeübertrager. Die Ursache für das Fouling wird bei Ablagerungen aus organischem Material und Kupfer vermutet, welche durch Stagnation der noch nicht befüllten Kollektorfelder in der Bauphase verursacht

wurden. Derselbe Wärmeübertrager wurde bereits im August 2002 aufgrund von Fouling durch den aktuell installierten Wärmeübertrager ersetzt. Nach weniger als zehn Monaten hatte sich der neue Wärmeübertrager wieder zugesetzt. Eine Spülung des Wärmeübertragers im Sommer 2006 blieb ohne Erfolg. Das Wärmeübertragungsvermögen des Solarwärmeübertragers des ersten Bauabschnitts ist durch das Fouling um 50% gesunken und liegt damit unterhalb des Übertragungsvermögens des Wärmeübertragers des zweiten Bauabschnitts. Aufgrund der doppelt so großen Kollektorfläche im ersten Bauabschnitt liegt die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz am dortigen Solarwärmeübertrager mit knapp sieben Kelvin deutlich über der des zweiten Bauabschnitts und steht damit einer effizienten Kollektorbetriebsweise entgegen.



Abbildung 2: Beschlagene Kollektorfelder im 1. BA (oben) und freie Kollektorfelder im 2. BA (unten); 8. Januar 2008, 12:00 Uhr

#### 4 Langzeit-Wärmespeicher

Der Langzeit-Wärmespeicher dient dazu, die Diskrepanz zwischen hohem Solarstrahlungsangebot und damit hohen Wärmegewinnen der Kollektoren im Sommer und dem zeitlich versetzten Wärmebedarf des Nahwärmenetzes im Winter auszugleichen. In Abbildung 3 sind die Wärmemengen der Be- und Entladung für das Jahr 2007 aufgeführt.

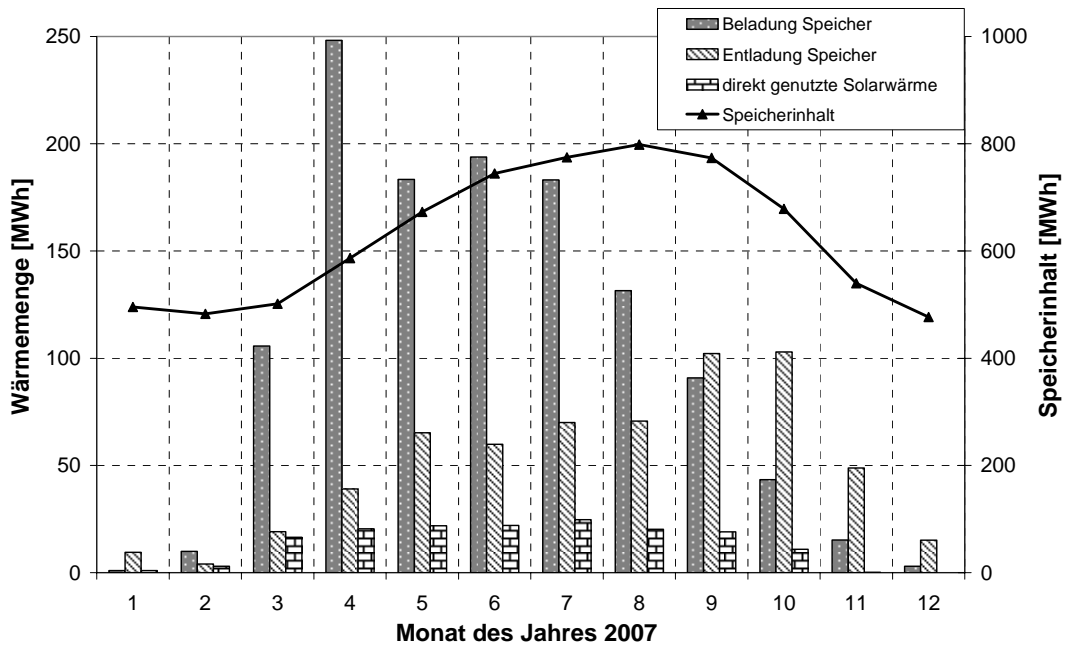


Abbildung 3: Wärmemengen des Langzeitwärmespeichers

Abbildung 4 zeigt den Temperaturverlauf im Speicher am Boden, in mittlerer Höhe und oben über alle Betriebsjahre. Weiterhin sind die Temperaturen im Erdreich unterhalb des Speichers sowie seitlich des Speichers dargestellt.

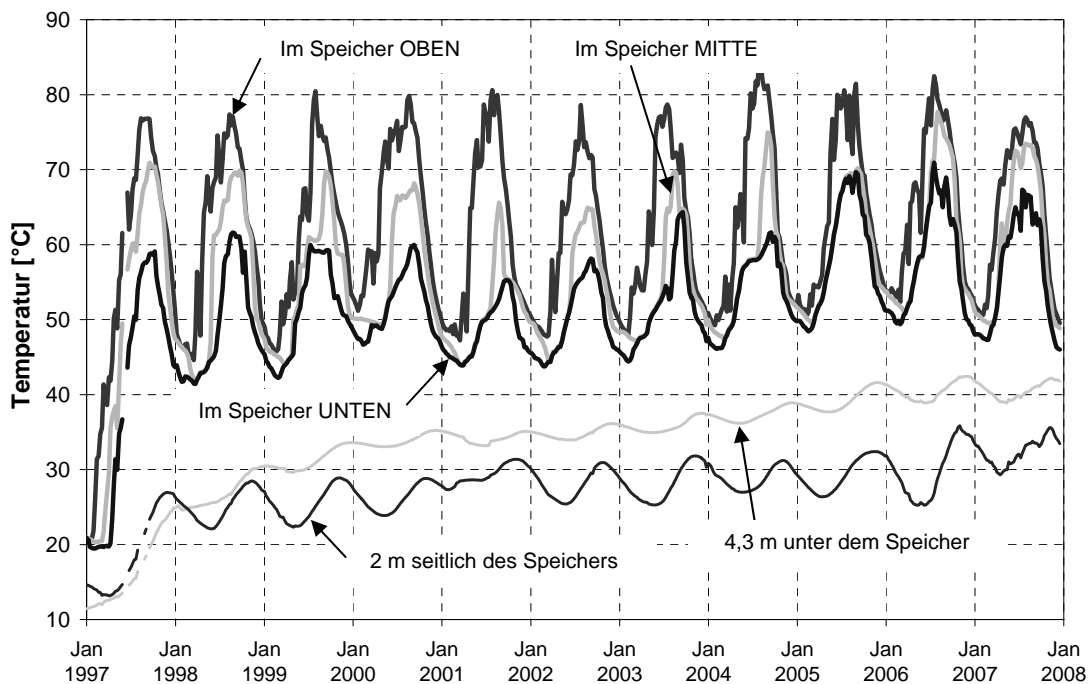


Abbildung 4: Temperaturverlauf des Langzeitwärmespeichers über alle Betriebsjahre. Während sich die Temperatur unterhalb des Speichers seit 2005 stabilisiert hat, steigt die Erdreichtemperatur seitlich des Speichers trotz sinkender

Speichertemperaturen seit 2006 weiterhin an. Zusammen mit den bilanzierten Wärmeverlusten des Speichers (s. Tabelle1) ist dies ein Indiz für eine abnehmende Wirksamkeit der Speicherdämmung. So stieg die temperaturbereinigte Wärmeverlustrate des Speichers (Speichermitteltemperatur gegenüber Außentemperatur) von ca. 7,5 MWh/(K\*a) in den Jahren 1999 bis 2005 auf 9,5 MWh/(K\*a) im Jahr 2007. Als Grund für die abnehmende Wirksamkeit der Speicherdämmung wird eine partielle Durchfeuchtung der Mineralfaser-Dämmung vermutet [3]. Dies könnte durch zunehmendes Eindringen von Regen- und Grundwasser durch die zur Außenabdichtung verwendete PVC-Folie geschehen, welche mittlerweile möglicherweise durch Versprödung und durch von Nagern verursachte Löcher undicht geworden ist.

## 5 Fazit

Das detaillierte Monitoring seit mittlerweile mehr als elf Jahren hat gezeigt, dass schon die erste Generation der solar unterstützten Nahwärmesysteme mit saisonaler Wärmespeicherung funktioniert, wenn auch nicht mit der von aktuellen Anlagen erreichten Effizienz. Ein wesentlicher Grund dafür ist die Sensitivität der Anlagen auf zu hohe Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes. Nicht optimal wärmegeämmte Speicher verursachen durch das daraus resultierende höhere Temperaturniveau große Wärmeverluste und Kollektorfelder arbeiten mit schlechteren Wirkungsgraden. Die nachträgliche Installation einer Wärmepumpe zur Tiefentladung des Wärmespeichers kann die Abhängigkeit von den Netzzücklauf-temperaturen deutlich reduzieren und die Gesamteffizienz der Anlage steigern.

## Literatur

- [1] 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
- [2] [www.solarthermie2000plus.de](http://www.solarthermie2000plus.de)
- [3] F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Berechnung der Wärmeverluste erdvergrabener Wärmespeicher, 18. OTTI-Symposium thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2008

*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 dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.*