

Solarthermie-2000 Teilprogramm 3 - Ergebnisse aus den Pilotanlagen in Friedrichshafen, Neckarsulm und Rostock

T. Schmidt¹⁾, D. Mangold¹⁾, J. Nußbicker²⁾, S. Raab²⁾, H. Müller-Steinhagen¹⁾²⁾³⁾

¹⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT)

Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel. +49-711-685-3299, Fax: +49-711-685-3242

Email: schmidt@swt-stuttgart.de; www.swt-stuttgart.de

²⁾Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart

³⁾DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik

1. Einführung

Das Forschungsprogramm Solarthermie-2000 besteht im Jahr 2003 seit zehn Jahren. Das ursprüngliche Ziel des Teilprogramms 3 war es, in diesem Zeitraum zehn Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit saisonaler Wärmespeicherung zu errichten. Derzeit befinden sich acht solcher Anlagen in Betrieb, zwei weitere sind in Planung. Alle Anlagen werden innerhalb des wissenschaftlich-technischen Begleitprogramms zu Solarthermie-2000 messtechnisch begleitet, um gesicherte Erkenntnisse über den Betrieb und die Erträge der Anlagen zu erhalten.

In diesem Beitrag werden die wichtigsten Betriebsergebnisse der drei von SWT und ITW begleiteten Pilotanlagen in Friedrichshafen, Neckarsulm und Rostock vorgestellt. Ausführlichere Ergebnisdarstellungen können [1, 2] entnommen werden.

2. Friedrichshafen-Wiggenhausen

Ende 1996 ging in Friedrichshafen eine der ersten Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Betrieb. Im ersten Bauabschnitt (BA) wurden 280 Wohneinheiten (WE) und ein Kindergarten versorgt. Die installierte Kollektorfläche betrug 2 700 m², das Volumen des Heißwasser-Wärmespeichers umfasst 12 000 m³. Momentan befindet sich der zweite BA im Bau. Es werden hierbei 111 WE vorwiegend in Einfamilien-Reihenhäusern ergänzt. Die gesamte Kollektorfläche wird nach Fertigstellung ca. 4 300 m² betragen (1. und 2. BA). Tabelle 1 zeigt die gemessenen Wärmebilanzen der bisherigen Betriebsjahre. Im März 2002 wurden die ersten Gebäude des 2. BA an die Wärmeversorgung angeschlossen. Da einige Bauträger ihre Planungen noch nicht beendet haben, ist eine Fertigstellung des zweiten BAs derzeit nicht absehbar.

Der vorausberechnete solare Deckungsanteil nach mehrjährigem Betrieb des 1. BA beträgt 43%. Die Ursachen für die Differenz zu den gemessenen Werten liegen vorwiegend in dem im Vergleich zur Auslegung des Systems deutlich höheren Netz-Rücklauftemperaturen durch unsauber geplante bzw. einregulierte Hydraulik in den angeschlossenen Gebäuden. So betrug die mittlere Netz-Rücklauftemperatur im Jahr 2002 49 °C (volumenstromgewichtet), der Planungswert liegt bei 35 °C. Verschiedene Anstrengungen, die hausinternen hydraulischen Probleme zu lösen, scheiterten leider an der fehlenden Bereitschaft der beteiligten Bauträger.

Während der Betriebsjahre 1998 bis 2001 ließ sich ein Abfall des Wärmeübertragungsvermögens des Solar-Wärmeübertragers beobachten. Ursache hierfür waren Ablagerungen auf der Kollektorseite des Wärmeübertragers, die vorwiegend aus Kupfer und organischen Verbindungen bestanden [3]. Der Wärmeübertrager wurde vom Betreiber im Sommer 2002 getauscht.

Tabelle 1: Wärmebilanz in Friedrichshafen von 1997 bis 2002 (bis Feb. 2002: 1. BA):

	Einheit	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Einstrahlung in Kollektorebene	[kWh/m ²]	1 290	1 305	1 211	1 271	1 292	1 306
Gradtagzahl in der Heizperiode (1.9.-31.5.), G _{t15}	[Kd]	3 687	3 791	3 745	3 461	3 669	3 563
Wärmelieferung der Kollektoren	[MWh]	1 080	946	880	944	892	989
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	400	350	326	349	330	366
Solarwärme ins Netz	[MWh]	475	620	478	611	566	652
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	176	230	177	226	210	241
Speicherverluste aus Bilanz	[MWh]	357	325	359	360	322	333
Gesamt-Wärmemenge ins Netz	[MWh]	2 262	2 245	2 278	2 033	2 173	2 423
Netzverluste (1. BA)	[%]	7.2	8.8	7.1	3.8	4.8	6.0
Wärmelieferung durch Kessel	[MWh]	1 788	1 623	1 768	1 426	1 604	1 773
Solarer Deckungsanteil	[%]	21	28	21	30	26	27

Bild 1 zeigt die monatlichen Wärmebilanzen der letzten beiden Betriebsjahre.

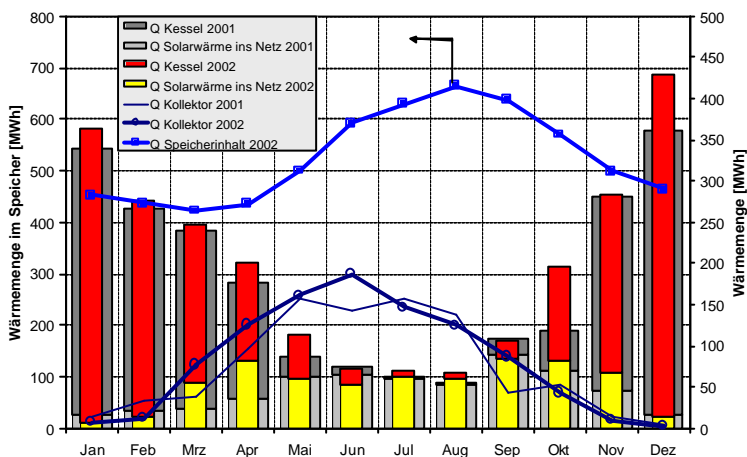


Bild 1: Monatliche Wärmebilanzen der Jahre 2001 (breite Balken) und 2002 (schmale Balken) in Friedrichshafen (Q: Wärmemenge)

3. Neckarsulm-Amorbach

Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung in Neckarsulm versorgt ein Neubaugebiet, das aus einer Schule mit Sporthalle, einem Ladenzentrum, einem Seniorenwohnheim mit 35 WE sowie weiteren 120 WE in Mehrfamilien- und Reihenhäusern besteht. Die installierte Kollektorfläche beträgt momentan 5 000 m². Das Speichervolumen des ins System integrierten Erdsonden-Wärmespeichers wurde im Jahr 2001 von 20 000 m³ auf ein Gesamtvolumen von 63 400 m³ vergrößert. Da das Wohngebiet in den nächsten Jahren weiter wachsen wird, werden auch die Kollektorflächen und das Speichervolumen entsprechend erweitert werden. Die Wärmebilanz der Jahre 1999 bis 2002 zeigt Tabelle 2. Die Wärmebilanz für das Jahr 2001 ist nicht enthalten, da aufgrund der Ausbaurbeiten im Sommer 2001 der Speicher, die Kollektoranlagen

sowie das Monitoring-System längere Zeit außer Betrieb waren. Bei der Bewertung der Zahlen muss berücksichtigt werden, dass große Erdsonden-Wärmespeicher lange Anlaufzeiten von 6-8 Jahre haben, bis sie ihre endgültigen Nutzungsgrade erreichen.

Tabelle 2: Wärmebilanz in Neckarsulm von 1999 bis 2002

	Einheit	1999	2000	2002
Einstrahlung in Kollektorebene	[kWh/m ²]	1183	1174	1136
Gradtagzahl in der Heizperiode (1.9.-31.5.), Gt ₁₅	[Kd]	2936	2713	2956
Kollektorfläche (Absorber)	[m ²]	2636	2636*	5044
Wärmelieferung der Kollektoren	[MWh]	802	577	1 696
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	304	219	331
Solarwärme ins Netz	[MWh]	250	213	822
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	95	81	164
Gesamt-Wärmemenge ins Netz	[MWh]	1241	1247	1720
Netzverluste	[MWh]	349	242	533
Wärmelieferung durch Kessel und BHKW	[MWh]	1028	1034	1303
Solarer Deckungsanteil	[%]	18	17	39

*: ab Sept. 2000: 3090 m²

Im Jahr 2000 gelang es den Stadtwerken Neckarsulm (Betreiber der Wärmeversorgung), die Netzurücklauftemperatur aus dem Nahwärmenetz um rund 5 K zu senken. Systemsimulationen zufolge lässt sich hieraus ein Anstieg sowohl des Speichernutzungsgrades als auch des solaren Deckungsanteils um sechs Prozentpunkte im langfristigen Betrieb erwarten.

Der durch die Erweiterung im Jahre 2001 neu hinzugekommene Teil des Wärmespeichers wurde im Jahr 2002 mit 898 MWh beladen, wobei der bis dahin bestehende Teil des Speichers (20 000 m³) während dieser Zeit nicht beladen wurde, um die Temperaturniveaus der beiden Teile möglichst schnell aneinander anzugleichen. Aufgrund dieses Aufheizvorganges konnte dem Gesamtspeicher lediglich eine Wärmemenge von 28 MWh entnommen werden. Dies entspricht jedoch den Erwartungen. Dieser Anteil wird in den folgenden Jahren steigen und einen zunehmenden solaren Anteil an der Wärmeversorgung ermöglichen.

Der starke Anstieg der Netzverluste im Jahr 2002 ist durch die Erschließung eines neuen Baugebiets zu erklären, das über eine ca. 1 km lange Leitung an das bestehende Netz angeschlossen wurde und in dem erst wenige Gebäude fertig gestellt sind.

4. Rostock-Brinckmanshöhe

Die Pilotanlage in Rostock ging im Mai 2000 in Betrieb. Sie versorgt ein Mehrfamilienhaus mit 108 Wohneinheiten und einer Wohnfläche von 7000 m². Die Solaranlage besteht aus einer Kollektoranlage mit einer Absorberfläche von 980 m², einem Aquifer-Wärmespeicher mit einem Volumen von rund 20 000 m³ sowie einem Pufferspeicher mit einem Volumen von 30 m³. Da der Langzeit-Wärmespeicher auf niedrigem Temperaturniveau arbeitet (50 °C), ist eine Wärmepumpe in das System integriert. Die Nachheizung erfolgt durch einen Gas-Brennwertkessel. Eine detaillierte Beschreibung der Anlage ist in [2, 4] enthalten. Die Wärmebilanzen der beiden ersten vollständigen Betriebsjahre sind in Tabelle 3 und Bild 2 dargestellt.

Durch die konsequente Umsetzung einer Niedertemperatur-Heizungstechnik und eine sorgfältige hydraulische Einregulierung konnten in Rostock niedrige Rücklauftempe-

turen erreicht werden. Der volumenstromgewichtete Jahresmittelwert liegt bei 36 °C (32 °C für die Heizung, 39 °C für die Trinkwarmwasserbereitung und 50 °C für die Zirkulationserwärmung der Trinkwarmwasserbereitung).

Tabelle 3: Wärmebilanz in Rostock der Jahre 2001 und 2002

	Einheit	2001	2002
Einstrahlung in Kollektorebene	[kWh/m ²]	1158	1194
Gradtagzahl in der Heizperiode (1.9.-31.5.), Gt ₁₅	[Kd]	3391	3311
Wärmelieferung der Kollektoren	[MWh]	348	364
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	355	371
Solarwärme ins Netz	[MWh]	211	278
je m ² Kollektorfläche	[kWh/m ²]	216	283
Gesamt-Wärmemenge ins Netz	[MWh]	624	597
Verteilverluste	[MWh]	32	47
Wärmelieferung durch Kessel	[MWh]	420	322
Strombedarf Wärmepumpe	[MWh _{el}]	24	44
Solarer Deckungsanteil*	[%]	32	43

*: auf Endenergie bezogen

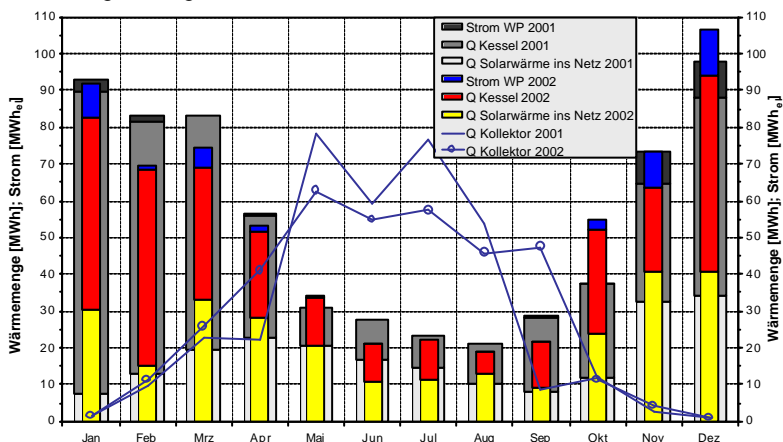


Bild 2: Monatliche Wärmebilanzen der Jahre 2001 (breite Balken) und 2002 (schmale Balken) in Rostock (Q: Wärmemenge, WP: Wärmepumpe)

Der Gesamtwärmebedarf liegt im Jahr 2002 20% über dem in der Planungsphase angenommenen Wert. Bezieht man den gemessenen solaren Nutzwärmeertrag auf diesen ursprünglich vorgesehenen Wärmebedarf, so ergibt sich ein solarer Deckungsanteil von 51% (auf Endenergie bezogen).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Vier Typen von Langzeit-Wärmespeichern sind in den Pilotanlagen derzeit im Einsatz. Bei den Heißwasser- und Kies/Wasser-Wärmespeichern konnten bereits Erfahrungen aus Bau und Betrieb der ersten Speicher in neuere Projekte einfließen, wie z.B. eine dritte Beladeebene zum zeitgleichen Be- und Entladen des Speichers sowie ein möglicher Verzicht auf eine dichtende Auskleidung durch Einsatz eines neu entwickelten

Hochleistungsbetons beim Heißwasser-Wärmespeicher. Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher wurden bisher erst je einmal in Verbindung mit großen Solaranlagen gebaut. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse beweisen die Funktion und werden zu Kostensenkungen sowie zu weiteren Optimierungen bei neuen Projekten führen.

Auch in der Systemintegration konnten nennenswerte Fortschritte erzielt werden. In Friedrichshafen besteht der überwiegende Teil der Kollektorflächen noch aus Kollektormodulen, die auf fertigen Flachdächern auf einer aufwändigen Unterkonstruktion montiert sind. In Rostock wurden dem Kollektorlieferanten nur noch die Auflageflächen im Dachgeschoss vorgegeben. Die komplette Dachkonstruktion wurde als Solardach einschließlich integrierter Dachfenster, Blindelemente und Einblechung vom Kollektorhersteller geliefert und installiert.

Durch eine frühzeitig beginnende, strukturierte Projektentwicklung gelingt es bei neueren Projekten zunehmend, durch eine rechtzeitige Einbindung aller Projektbeteiligten wesentliche Randbedingungen bereits im Vorfeld festzulegen. So sollten z.B. für Kollektoren notwendige Dachflächen, -orientierungen und -neigungen nach Möglichkeit bereits im Bebauungsplan der Wohngebiete festgeschrieben werden. Ein Anschlusszwang für Nah-/Fernwärmenetze gibt dem Energieversorger die notwendige Sicherheit für eine Planung nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Durch eine frühzeitige Einbindung von Bauträgern und Haustechnikplanern kann auch die Notwendigkeit von Niedertemperatursystemen innerhalb der Gebäude vermittelt und z.B. über Grundstückskaufverträge bindend vorgeschrieben werden.

Generell zeigen die Ergebnisse aus dem wissenschaftlich-technischen Begleitprogramm, dass es in keiner der Pilotanlagen zu ernsthaften Ausfällen oder Fehlfunktionen kam. Diskrepanzen in den Erträgen zwischen Planungsstand und Messdaten lassen sich meist entweder auf Mängel in der konventionellen Technik oder auf Probleme bei der Regelungstechnik bzw. einzelnen Komponenten zurückführen. Die Funktion von solar unterstützten Nahwärmesystemen mit saisonaler Wärmespeicherung ist durch die ausgeführten Pilotanlagen belegt. Ebenso ist nachgewiesen, dass damit hohe solare Deckungsanteile für Wohngebiete erzielt werden können.

- [1] M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, 1999
- [2] D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, 2003
- [3] S. Raab, D. Mangold, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Betriebs- und Leistungsüberwachung von großen Kollektorfeldern; OTTI, 13. Symposium Thermische Solarenergie, 14.-16.05.2003; Bad Staffelstein
- [4] T. Schmidt, D. Mangold, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Erste Betriebsergebnisse der solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Aquifer-Wärmespeicher in Rostock-Brinckmanshöhe; OTTI, 11. Symposium Thermische Solarenergie, 09.-11.05.2001; Bad Staffelstein

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 0329606 S gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.