

Saisonale Wärmespeicherung in Verbindung mit solaren Nahwärmesystemen

*T. Schmidt, D. Mangold, M. Benner, H. Müller-Steinhagen
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0711-685-3279, Fax: 0711-685-3242
Email: schmidt@itw.uni-stuttgart.de, Internet: www.itw.uni-stuttgart.de*

Kurzfassung

Solarthermische Großanlagen bieten im Wohnungsbau die derzeit kostengünstigste Möglichkeit, Solarenergie zur Trinkwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung zu nutzen. Durch die Einbindung von Langzeit-Wärmespeichern kann über 50 % der bei konventioneller Wärmeversorgung notwendigen fossilen Energiemenge eingespart werden.

Dieser Bericht beschreibt die Technik solar unterstützter Nahwärmeeinrichtungen und gibt Hinweise zu Planung und Kosten. In Deutschland gebaute Pilotanlagen zur Langzeit-Wärmespeicherung von Solarenergie werden vorgestellt.

Einführung

Die Regierung der Bundesrepublik Deutschland hat beschlossen, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 %, bezogen auf das Niveau von 1990, zu reduzieren. Die Privathaushalte verbrauchen rund 30 % des gesamten deutschen Endenergiebedarfs und bieten daher eines der größten Einsparpotentiale aller Energiesektoren. In den vergangenen Jahren wurden Konzepte für die Energieversorgung von Wohnsiedlungen entwickelt, die bei möglichst geringen Mehrkosten den fossilen Brennstoffbedarf zur Wärmeversorgung der Siedlung um bis zu 50 % und mehr reduzieren. Ein wichtiger Baustein dieser Versorgungskonzepte ist die Nutzung von solarthermischer Energie in Nahwärmesystemen mit und ohne saisonale Wärmespeicherung.

Das Forschungsprogramm Solarthermie-2000 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert im Teilprogramm 3 solar unterstützte Nahwärmesysteme mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher. Innerhalb des Programms mit einer Laufzeit von 1993 bis 2002 sind mittlerweile sieben Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher verwirklicht, denen vier solare Nahwärmeeinrichtungen mit Kurzzeit-Wärmespeicher vorausgingen. Alle Anlagen werden im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Programmbegleitung, die für das Teilprogramm 3 durchgeführt wird, detailliert vermessen und untersucht.

Solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Langzeit-Wärmespeicher

Diese Systeme versorgen größere Wohnsiedlungen mit mindestens 100 Wohneinheiten. Die zeitliche Verschiebung zwischen Solarstrahlungsangebot im Sommer und maximalem Wärmebedarf im Winter wird über die saisonale Wärmespeicherung ausgeglichen. Die deutschen Pilotanlagen sind auf solare Deckungsanteile von 40 bis 60 % des Gesamtwärmebedarfs ausgelegt.

Bild 1 zeigt das Schema der Pilotanlage in Friedrichshafen. Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird über das Solarnetz zur Heizzentrale transportiert und bei Bedarf direkt an die Gebäude verteilt. Die Kollektoren sind auf den Dächern der Wohngebäude montiert, der saisonale Wärmespeicher ist in das Gelände der Siedlung integriert. Die im Sommer anfallende Überschusswärme wird in den saisonalen Wärmespeicher eingespeist und im Herbst und Winter zur Heizung und Trinkwassererwärmung genutzt.

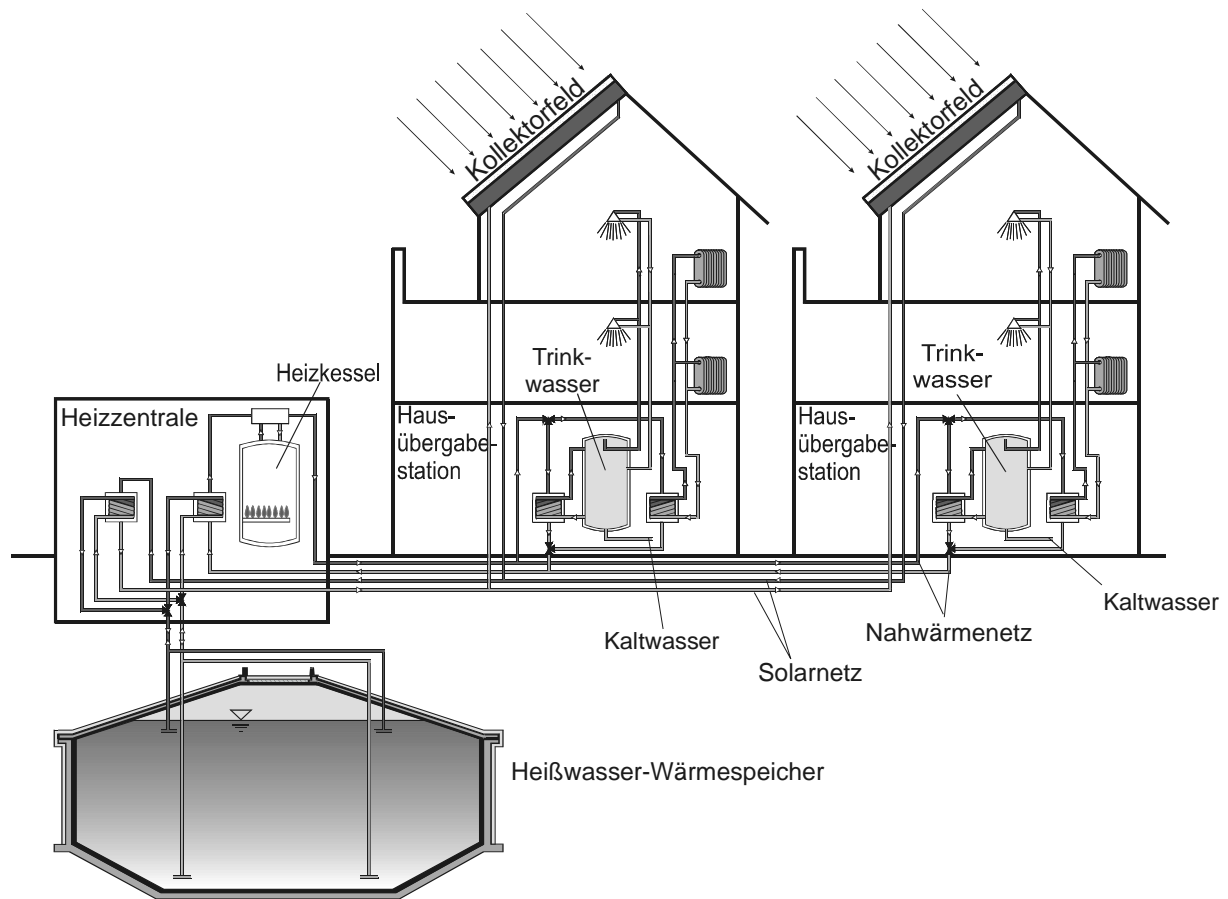


Bild 1: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Friedrichshafen

Auslegungsrichtlinien

Auslegungsrichtlinien für solar unterstützte Nahwärmeanlagen können Tabelle 1 entnommen werden. Zum Vergleich sind eine Kleinanlage zur solar unterstützten Trinkwassererwärmung und eine solar unterstützte Nahwärmeanlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher aufgeführt. Die Kennzahlen gelten für deutsche Anlagen. Der solare Wärmepreis gibt die zur Einsparung von einer kWh aufzuwendenden, annuisierten Investitionskosten an (Kostenbasis: Marktpreise 1997/98, ohne MWSt., Zinssatz: 6 %).

Anlagentyp	Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung	Solare Nahwärme mit Kurzzeit-Wärmespeicher	Solare Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher
Mindestanlagengröße	-	ab 30 bis 40 WE oder ab 60 Personen	ab ca. 100 WE (je 70 m ²)
Kollektorfläche	1 - 1,5 m ² _{FK} pro Person	0,8 - 1,2 m ² _{FK} pro Person	1,4 - 2,4 m ² _{FK} pro MWh jährl. Wärmebedarf 0,14 bis 0,2 m ² _{FK} pro m ² Wohnfläche
Speichervolumen	50 - 80 l/m ² _{FK}	50 - 100 l/m ² _{FK}	1,4 - 2,1 m ³ _W /m ² _{FK}
Solare Nutzenergie	350 - 380 kWh/(m ² _{FK} a)	350 - 500 kWh/(m ² _{FK} a)	230 - 350 kWh/(m ² _{FK} a)
Sol. Deckungsanteil (im Neubau)	Trinkwasser: 50% Gesamtwärme: 15%	Trinkwasser: 50% Gesamtwärme: 10 - 20%	Gesamtwärme: 40 - 60%
Solarer Wärmepreis	40 - 60 Pf/kWh	15 - 30 Pf/kWh	33 - 50 Pf/kWh

Tabelle 1: Auslegungsrichtlinien für solar unterstützte Nahwärmeanlagen (WE: Wohneinheit; _{FK}: Flachkollektor; _W: Wasseräquivalent)

Langzeit-Wärmespeicher

Die Entwicklung von Speichertypen zur saisonalen Wärmespeicherung wird am ITW seit 1984 kontinuierlich fortgeführt. Basierend auf früheren Forschungsvorhaben wurden nachfolgende Speichertypen (siehe Bild 2 und Tabelle 2) konzipiert. Die Entscheidung für einen bestimmten Speichertyp hängt im wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten und insbesondere von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes ab.

Heißwasser-Wärmespeicher

Die vielseitigsten Einsatzbereiche eröffnen sich dem Heißwasser-Wärmespeicher. Er kann unabhängig von der Geologie und auch in kleiner Baugröße, z.B. als Wärmespeicher für einen Zeitraum von Tagen bzw. Wochen, eingesetzt werden. Die wassergefüllte Trag-

konstruktion aus z.B. Stahlbeton ist teilweise im Erdreich eingebaut. Die Wärmedämmung ist zumindest im Bereich des Deckels und der senkrechten Speicherwände angebracht. Die wasserdichte Auskleidung des Speichers ist in den Pilotspeichern in Hamburg und Friedrichshafen aus 1,2 mm starkem Edelstahlblech ausgeführt. In Hannover kommt eine neuartige Betonmischung zum Einsatz, deren Wasserdampfdurchlässigkeit so gering ist, dass auf eine zusätzliche Auskleidung verzichtet werden kann.

Kies/Wasser-Wärmespeicher

Eine mit wasserdichter Kunststoffolie ausgekleidete Grube wird mit einem Kies/Wasser-Gemisch als Speichermedium gefüllt. Der Speicher ist zumindest seitlich und oben wärmege-dämmt. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme erfolgt direkt oder indirekt. Es ist keine statische Tragkonstruktion notwendig. Speicher dieser Art sind am ITW der Universität Stuttgart seit 1985 sowie in Chemnitz, Augsburg und Steinfurt-Borghorst in Betrieb.

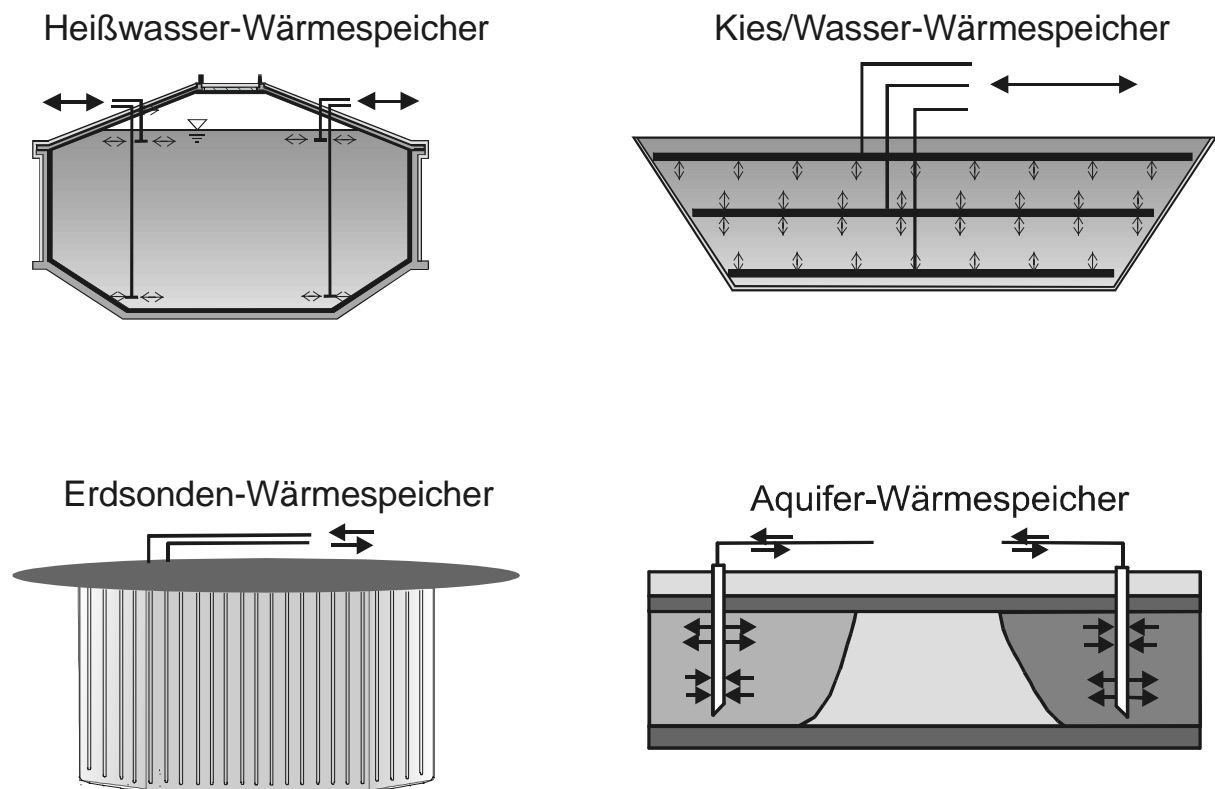


Bild 2: Langzeit-Wärmespeichertypen

Erdsonden-Wärmespeicher

Beim Erdsonden-Wärmespeicher wird die Wärme direkt in wassergesättigtem Erdreich gespeichert. In Bohrlöcher werden U-Rohr-Sonden eingebracht und zur Oberfläche hin wär-

megegedämmt. Über die U-Rohr-Sonden wird Wärme in den Speicher ein- bzw. aus diesem ausgespeichert. Ein modularer Aufbau bzw. eine sich dem Baufortschritt eines Wohngebietes anpassende Speichergröße ist möglich. Ein Speicher dieser Bauart ist in Neckarsulm in Betrieb.

Aquifer-Wärmespeicher

Hier werden natürlich vorkommende, abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung genutzt. Über eine Brunnenbohrung wird dem Speicher Grundwasser entnommen, aufgewärmt und über eine weitere Bohrung wieder in den Untergrund eingebracht. Die Ausspeicherung erfolgt durch eine Umkehrung der Durchströmungsrichtung. Aquifer-Wärmespeicher sind in Berlin (Reichstag) und in Rostock in Betrieb.

Tabelle 2 faßt die wichtigsten Daten der Speichertypen zusammen.

Heißwasser-Wärmespeicher	Kies/Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
<i>Speicheraufbau</i>			
wärmegegedämmt, wassergefüllte Tragkonstruktion (meist aus Stahlbeton)	wärmegegedämmt, zum Erdreich hin abgedichtetes Kies-Wasser-Gemisch	vertikale U-Rohr-Sonden in wassergesättigtem Erdreich	natürlich vorkommende, abgeschlossene Grundwasserschichten
<i>Anforderungen an den Standort</i>			
gut stehender Boden, Klasse II-III, möglichst kein Grundwasser	gut stehender Boden, Klasse II-III	gut bohrbarer Boden, Klasse I-III, Grundwasser günstig, geringe Durchlässigkeit und Fließgeschwindigkeit, 30 bis 100 m tief	abgeschlossen nach oben und unten durch dichte Schicht; Grundwasser und hohe Durchlässigkeit notwendig; geringe Fließgeschw., 20 bis 50 m mächtig
<i>Primäres Speichermedium</i>			
Wasser	Kies-Wasser-Gemisch	Erdreich	Wasser-Sand-Gemisch
<i>Speicherkapazität</i>			
60 bis 80 kWh/m ³	30 bis 50 kWh/m ³	15 bis 30 kWh/m ³	30 bis 40 kWh/m ³
<i>Speichervolumen für 1 m³ Wasseräquivalent</i>			
1 m ³	1,3 bis 2 m ³	3 bis 5 m ³	2 bis 3 m ³
<i>Baukosten für einen Speicher mit 10.000 m³ Wasseräquivalent, bezogen auf 1 m³ Wasseräquivalent (inkl. Planung, ohne MWSt.)</i>			
200 bis 230 DM/m ³	180 bis 200 DM/m ³	160 bis 180 DM/m ³	140 bis 160 DM/m ³

Tabelle 2: Langzeit-Wärmespeicher [1]

Wirtschaftlichkeit

Das in Bild 3 aufgetragene Kosten-Nutzen-Verhältnis gibt an, welcher Betrag zusätzlich zur konventionellen Wärmeversorgung investiert werden muß, um eine kWh Wärme durch Solarthermie zur Verfügung zu stellen. Große Solaranlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher haben das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis: Für eine kWh Wärme aus Solarenergie müssen nur etwa 1,50 bis 3 DM investiert werden. Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher erzielen für solare Deckungsanteile von 50 % des Gesamtwärmebedarfs ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 3 bis 5 DM/kWh. Zum Vergleich ist eine Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung aufgeführt. Deren Kosten-Nutzen-Verhältnis ist rund zwei- bis dreimal höher als für solar unterstützte Nahwärmeversorgungssysteme. Der Preisvorteil solarer Großanlagen im Vergleich zu Kleinanlagen wird vor allem durch deren günstigeren Systempreis verursacht: während Kleinanlagen im Durchschnitt 1950 DM/m² Flachkollektorfläche kosten, werden bei Großanlagen ohne Langzeit-Wärmespeicher ca. 1100 DM/m² Systemkosten erzielt (einschließlich Planung, ohne MWSt.) [2].

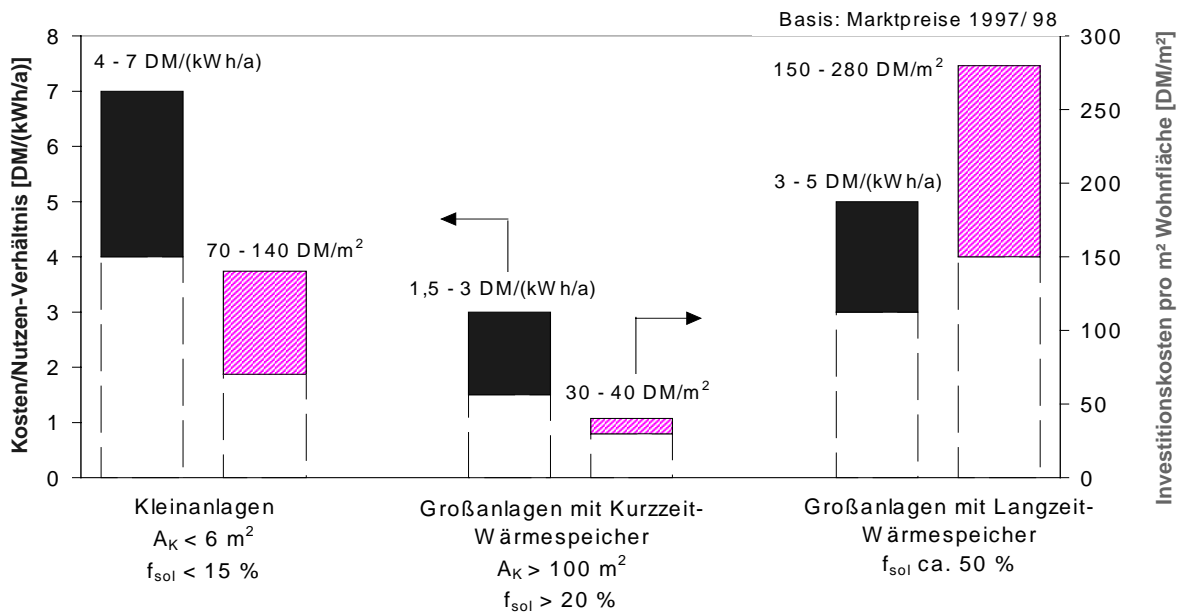


Bild 3: Kosten-Nutzen-Verhältnis und Investitionskosten von Solaranlagen (A_K : Kollektorfläche, f_{sol} : solarer Deckungsanteil)

Solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicher erfordern mit 150 bis 280 DM/m² Wohnfläche die höchsten Investitionskosten. Dies entspricht ca. 5 bis 8 % der Baukosten für die Wohngebäude. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß diese Anlagen einen weitaus höheren solaren Deckungsanteil erreichen als Kleinanlagen oder Großanlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher.

Eine neuere Untersuchung zeigt, daß ab einer Wärmeenergieeinsparung von ca. 20 %, be-

zogen auf den durch die Wärmeschutzverordnung 1995 vorgeschriebenen Jahresheizwärmebedarf, große Solaranlagen im Vergleich zu alternativen Energieeinsparmaßnahmen, wie z.B. zusätzlicher Wärmedämmung oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, wirtschaftlich konkurrieren können [3]. Die für das Jahr 2001 angekündigte Novellierung der Wärmeschutzverordnung wird im Wohnungsbau Energieeinsparungen von 20 bis 30 % fordern.

Pilotanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher in Deutschland

Im Rahmen des am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) durchgeführten Forschungsvorhabens *Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher* [4, 5] wurden verschiedene Projekte zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung realisiert. In ersten Pilotprojekten mit Kurzzeit-Wärmespeicher in Ravensburg [6] und Neckarsulm wurde die Dachintegration großer Kollektorfelder sowie die Anlagen- und Sicherheitstechnik solar unterstützter Nahwärmeversorgungen umfangreich erprobt, aufgrund der gewonnenen Erfahrungen weiterentwickelt und verbessert.

Die ersten Pilotanlagen zur solaren Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher wurden im Herbst 1996 (Hamburg, Friedrichshafen) und im Januar 1999 (Neckarsulm) in Betrieb genommen. In Tabelle 3 sind die wichtigsten technischen Daten der drei Projekte zusammengestellt:

	Hamburg	Friedrichshafen	Neckarsulm II
Versorgungsgebiet	124 Einfamilienreihenhäuser	570 Wohneinheiten in 8 MFH	6 MFH, Schule, Altenwohnheim, Ladenzentrum
beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ²	14 800	39 500	20 000
Solaranlage			
Kollektorfläche in m ²	3 000	5 600	2 700
Speichertyp	Heißwasser	Heißwasser	Erdsonden
Speichervolumen in m ³	4 500	12 000	20 000
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a*	1 610	4 106	1 663
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a*	789	1 915	832
Solarer Deckungsanteil in %*	49	47	50
Kosten Solarsystem in Mio. DM	4,3	6,3	2,9
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	50,2	31,1	33,7

Tabelle 3: Technische Daten der Pilotanlagen in Hamburg, Friedrichshafen und Neckarsulm (MFH: Mehrfamilienhaus,

*: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb)

In Neckarsulm wurde erstmals ein neues Wärmesammel- und -verteilsystem gebaut. Anstelle eines separaten Solarnetzes und eines Wärmeverteilnetzes wurde ein sogenanntes Dreileitersystem installiert: In den Gebäuden wird der Rücklauf zur Nahwärmeversorgung den Kollektorfeldern zugeführt. Dadurch entfällt eine eigene Rücklaufleitung von der Heizzentrale zu den Kollektorfeldern. Frostschutzmittel ist in diesem Fall nur in den einzelnen Kollektorkreisen, nicht jedoch im Solarnetz notwendig. Die Langzeit-Wärmespeicherung über Erdsonden direkt im Erdreich wurde in einem Vorprojekt erforscht [7]. Der 1997 in Neckarsulm gebaute Pilotspeicher mit einem Volumen von ca. 4 300 m³ bestätigte die Forschungsergebnisse. Der erste Bauabschnitt des Speichers (1. BA, 20 000 m³) wurde 1998 gebaut. Für das Jahr 2000 ist der zweite Bauabschnitt des Wärmespeichers geplant. Das Volumen wird dann auf 63 000 m³ erweitert.

Im August 1998 ging die Pilotanlage in Steinfurt-Borghorst in Betrieb. Sie wurde im Rahmen des Projektes „50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen“ errichtet und versorgt 42 Wohneinheiten in 15 Einfamilien- und 7 Mehrfamilienhäusern mit Wärme (siehe Tabelle 4). Als Langzeit-Wärmespeicher kommt hier ein Kies/Wasser-Wärmespeicher zum Einsatz, der über Rohrschlangen indirekt be- bzw. entladen wird.

	Steinfurt	Chemnitz¹ 1. BA	Rostock	Hannover²
Versorgungsgebiet	42 WE in 15 EFH und 7 MFH	Büroge- bäude	108 WE in MFH	106 WE
Beheizte Wohn-/Nutzfläche in m ²	3 800	4 680	7 000	7 365
Solaranlage				
Kollektorfläche in m ²	510	540 VR	1 000	1 350
Speichertyp	Kies/Wasser	Kies/Wasser	Aquifer	Heißwasser
Speichervolumen in m ³	1 500	8 000	20 000	2 750
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a*	325	1. BA: 573	497	694
Nutzwärmelieferung Solarsy- stem in MWh/a*	110	1. BA: 169	307	269
Solarer Deckungsanteil in %*	34	1. BA: 30	62	39
Kosten Solarsystem in Mio. DM	1,0	1. + 2. BA: 2,8	1,4	2,4
Solarer Wärmepreis in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	82,8	1. + 2. BA: 47	49,9	81

Tabelle 4: Technische Daten der Pilotanlagen in Steinfurt, Chemnitz, Rostock und Hannover (EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, WE: Wohneinheit, VR: Vakuumröhre, BA: Bauabschnitt, ¹: Angaben TU Chemnitz; ²: Angaben IGS, Uni Braunschweig, *: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb)

Die Gebäude in Steinfurt sind mit Fußbodenheizungen ausgeführt, wodurch niedrige Betriebstemperaturen ermöglicht werden. Das Wärmeverteilstück wird in der Heizzeit auf dem niedrigen Temperaturniveau der Heizungen betrieben, um die Netzverluste zu reduzieren und möglichst niedrige Netzurücklauftemperaturen zu erzielen. Sind zur Trinkwassererwärmung höhere Temperaturen erforderlich, so werden diese über Nachheizungen in den Gebäuden ermöglicht.

In Chemnitz wurde im Rahmen einer notwendigen Bodensanierung 1996 ein Kies/Wasser-Wärmespeicher gebaut, der für eine Maximaltemperatur von 85 °C ausgelegt ist und direkt be- und entladen wird. Der Speicher ist bei einem solaren Deckungsanteil von 42 % für einen jährlichen Wärmebedarf von 1 200 MWh/a ausgelegt. Mit den Kollektorflächen des ersten Bauabschnitts wird der Speicher seit dem Frühjahr 2000 beladen.

In Rostock ging Ende 1999 die erste solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit einem Aquifer-Wärmespeicher in Betrieb. Die Anlage versorgt ein großes Mehrfamilienhaus mit 108 Wohneinheiten. Der Speicher liegt in einer Tiefe von ca. 15 bis 30 Meter und wird, um die Wärmeverluste zu reduzieren und auf eine Wasseraufbereitung verzichten zu können, auf niedrigem Temperaturniveau betrieben (max. 50 °C). Um trotzdem einen hohen Speichernutzungsgrad zu gewährleisten, ist eine Wärmepumpe in die Wärmeversorgung integriert. Zur Wärmeverteilung wurde ein Niedertemperatur-Heizsystem (VL/RL: 50/30) mit Radiatoren realisiert, um niedrige Betriebstemperaturen zu gewährleisten und damit günstige Betriebsbedingungen für die Solaranlage und die Wärmepumpe zu garantieren.

In Hannover befindet sich die derzeit neueste Anlage. Als Wärmespeicher wird hier ein Heißwasser-Wärmespeicher aus einem neuartigen Hochleistungsbeton verwirklicht. Dieses Material besitzt eine genügend hohe Wasserdampfdichtigkeit, um auf eine innere Auskleidung aus Edelstahlblech verzichten zu können. Weiterhin wurde hier als Neuerung eine zusätzliche, in der Höhe variable Beladetasse in mittlerer Speicherhöhe angebracht. Hiermit kann das Schichtungsverhalten im Speicher verbessert werden und ein gleichzeitiges Ein- und Ausspeichern wird ermöglicht. Die Anlage soll im Juni 2000 in Betrieb gehen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vom ITW durchgeführte wissenschaftlich-technische Projektbegleitung und meßtechnische Überwachung von solar unterstützten Nahwärmeanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher bestätigt im wesentlichen die für die Solaranlagen vorhergesagten Ergebnisse. Probleme traten vor allem während der Inbetriebnahme im Zusammenspiel mit der konventionellen Anlagentechnik auf.

Für solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicher werden in den nächsten Jahren solare Wärmepreise angestrebt, die ohne Förderung maximal doppelt so hoch sind wie die gegenwärtigen konventionellen Wärmepreise. Für solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Kurzzeit-Wärmespeicher ist bei Vorwärmanlagen mit einem solaren Deckungsanteil von 7 bis 10 % die Wirtschaftlichkeit der Anlagen fast erreicht.

Literatur

- [1] Hahne, E. et. al.:
Solare Nahwärme - Ein Leitfaden für die Praxis, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5
- [2] Mangold, D., Hahne, E.:
Aktuelle und künftige Kosten von Solaranlagen, 8. Symposium thermische Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 420-427, Kloster Banz, 1998
- [3] Mangold, D.; Schmidt, T.; Hahne, E.:
Solaranlagen auf dem Weg zur Wirtschaftlichkeit - integrale Wärmeenergiekonzepte für Neubauten,
8. Symposium thermische Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 350-354, Kloster Banz, 1998
- [4] Guigas, M.; Kübler, R.; Lutz, A.; Schulz, M.; Fisch, N.; Hahne, E.:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitwärmespeicher, Forschungsbericht, ITW, Universität Stuttgart, 1995, ISBN 3-9802243-9-2
- [5] M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher;
Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, Nov. 1999, ISBN-Nr.: 3-9805274-0-9
- [6] Guigas, M.; Fisch, N.; Kübler, R.; Hahne, E.:
Solar unterstützte zentrale Warmwasserversorgung für 29 Reihenhäuser in Ravensburg, Forschungsbericht, ITW, Universität Stuttgart, 1995, ISBN 3-9802243-7-6
- [7] Seiwald, H.; Kübler, R.; Fisch, N.; Hahne, E.:
Saisonale Wärmespeicherung mit vertikalen Erdsonden im Temperaturbereich von 40 bis 80 °C, Forschungsbericht, ITW, Universität Stuttgart, 1995
- [8] Mangold, D.; Hahne, E.:
Technische Erfahrungen aus den solar unterstützten Nahwärmeeinrichtungen des Förderprogramms Solarthermie-2000,
10. Symposium thermische Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 106-113, Kloster Banz, 2000
- [9] Peuser, F. A.; Croy, R.; Rehrmann, U.; Wirth, H.:
Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1999, ISBN 3-8249-0541-8

Danksagung

Der Bau der beschriebenen solaren Großanlagen wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), mit Unterstützung der Länder Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen, der Freien und Hansestadt Hamburg und den Städten Friedrichshafen und Neckarsulm finanziert. Das am ITW durchgeführte wissenschaftliche Begleitprogramm wird im Rahmen des Vorhabens 0329606S aus Mitteln des BMWi finanziert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.