

Solare Nahwärme - Projekte, Potenziale, Perspektiven

D. Mangold¹⁾, W. Heidemann¹⁾, E. Hahne¹⁾ und H. Müller-Steinhagen¹⁾²⁾

*¹⁾ Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0711-685-3279, Fax: 0711-685-3242
mangold@itw.uni-stuttgart.de, www.itw.uni-stuttgart.de*

²⁾ Institut für Technische Thermodynamik (ITT), DLR Stuttgart

Dieser Bericht führt in die Technik solar unterstützter Nahwärmesysteme ein und stellt die im Rahmen des BMWi-Forschungsprogramms Solarthermie-2000, Teilprogramm 3 begleiteten Pilotprojekte mit Langzeit-Wärmespeicher vor. Ausgehend von den technischen und wirtschaftlichen Potenzialen werden die Perspektiven solar unterstützter Nahwärmesysteme entwickelt. Die Techniken und Potenziale von Langzeit-Wärmespeichern sind in einem gesonderten Bericht von M. Benner dargestellt.

1. Solare Nahwärme

Solar unterstützte Nahwärmesysteme werden entsprechend ihrer Speichergröße und des damit verbundenen solaren Deckungsanteils unterschieden. Der solare Deckungsanteil gibt den Prozentsatz der durch Solarenergie ersetzten und damit eingesparten fossilen Endenergiemenge an.



Bild 1: erstes solar unterstütztes Nahwärmesystem in Ravensburg (Betriebsbeginn 1993)

Solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Kurzzeit-Wärmespeicher (Bild 1) werden in der Regel auf 10 bis 20 % solaren Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf für Raumheizung und Trinkwassererwärmung ausgelegt. Die Einbindung solarthermischer Wärme in ein Nahwärmesystem ermöglicht den Bau großer, zusammenhängender Kollektorflächen, die im Vergleich zu Kleinanlagen wesentlich kostengünstiger sind.

Ziel einer solar unterstützten

Nahwärmeversorgung **mit Langzeit-Wärmespeicher** ist ein solarer Deckungsanteil von 50 % und mehr am Gesamtwärmebedarf einer größeren Wohnsiedlung (mehr als 100 Wohnungen). Die zeitliche Verschiebung zwischen hohem Solarstrahlungsangebot im Sommer und maximalem Wärmebedarf im Winter wird über die saisonale Wärmespeicherung ausgeglichen. Bild 2 zeigt ein Anlagenschema mit unterschiedlichen Möglichkeiten zur Einbindung des Nahwärmenetzes in die Gebäudetechnik.

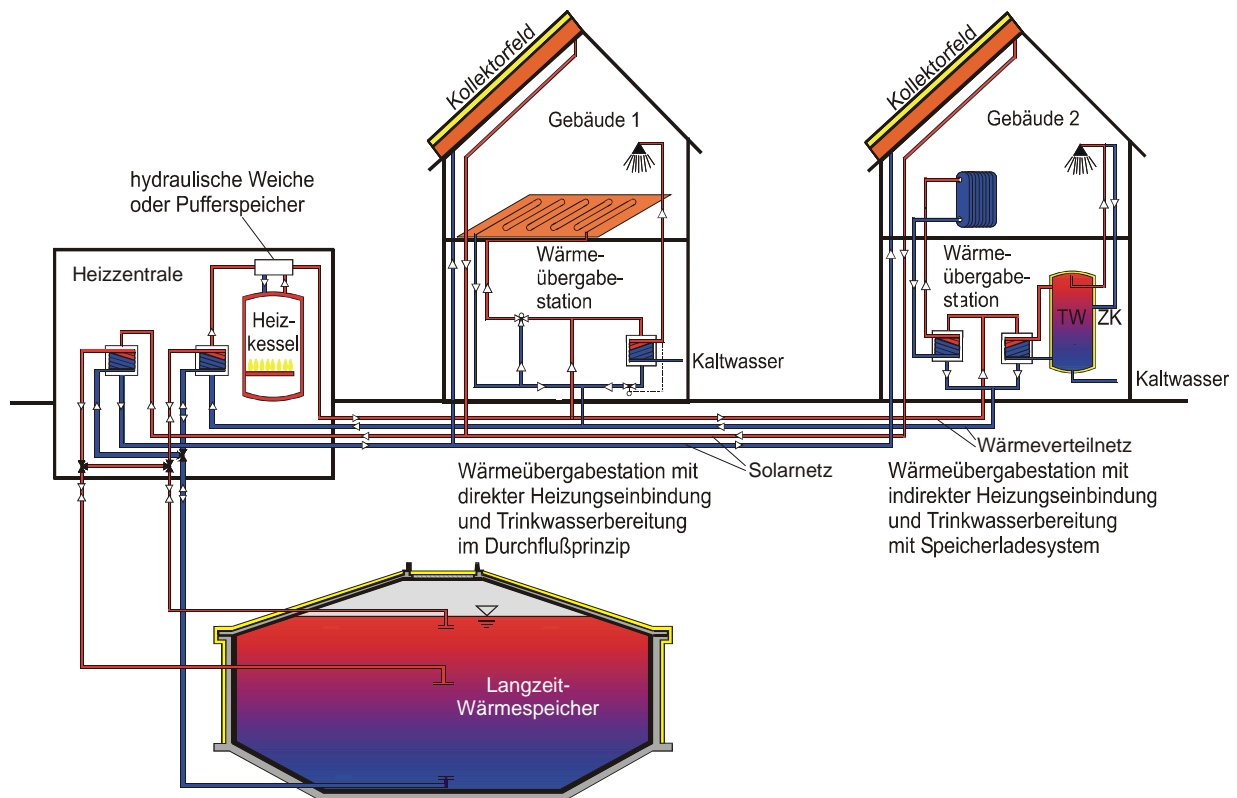


Bild 2: Anlagenschema für solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Langzeit-Wärmespeicher (TW: Trinkwasserspeicher, ZK: Zirkulation)

Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird über das Solarnetz zur Heizzentrale transportiert und bei Bedarf direkt an die Gebäude verteilt (Bild 2). Die Kollektoren sind auf ausgewählten Dächern der Wohngebäude montiert, der Langzeit-Wärmespeicher ist in den Untergrund eingebaut. Das über das Wärmeverteilnetz gelieferte Heizwasser versorgt die Heizung und Trinkwassererwärmung der Gebäude. Die Wärmeerzeugung in der Heizzentrale verwendet die im Langzeit-Wärmespeicher gespeicherte Solarwärme und heizt bei Bedarf konventionell, z.B. mit einem Gasbrennwertkessel, nach. Die Auslegung und Planung solar unterstützter Nahwärmanlagen ist detailliert in [1] beschrieben.

Das Forschungsprogramm **Solarthermie-2000**, das seit 1998 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) getragen wird, fördert im Teilprogramm 3 die Begleitforschung und den Bau von solar unterstützten Nahwärmesystemen mit Langzeit-Wärmespeicher. Die wissenschaftlich-technische Programmbegleitung wird vom Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart (ITW) durchgeführt in Zusammenarbeit mit einem Netzwerk von Wissenschaftlern und Praktikern aus dem gesamten Bundesgebiet. Innerhalb der wissenschaftlich-technischen Programmbegleitung sind mittlerweile sieben Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher detailliert vermessen und untersucht. Die Ergebnisse der Messprogramme dienen dazu, noch vorhandene technische Schwachstellen offenzulegen und zu verbessern. Damit soll unter anderem die Wirtschaftlichkeit dieser Konzepte verbessert werden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Verbreitung solar unterstützter Nahwärmesysteme.

2. Projekte

Die Entwicklung solar unterstützter Nahwärmesysteme begann 1993 mit ersten Pilotprojekten mit Kurzzeit-Wärmespeicher. In Ravensburg (Bild 1, [2]) und Neckarsulm wurde die Dachintegration großer Kollektorfelder sowie die Anlagen- und Sicherheitstechnik solar unterstützter Nahwärmanlagen umfangreich erprobt, aufgrund der gewonnenen Erfahrungen weiterentwickelt und verbessert.



Bild 3: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher in Friedrichshafen (links: Blick auf die Kollektorfelder, rechts: Bau des Heißwasser-Wärmespeichers).

Die ersten Pilotanlagen zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher wurden im Herbst 1996 in **Hamburg und Friedrichshafen** (Bild 3) und im Januar 1999 in Neckarsulm in Betrieb genommen. In Tabelle 1 sind die wichtigsten technischen Daten der ersten Projekte zusammengestellt.

Tabelle 1: Technische Daten der Pilotanlagen in Hamburg, Friedrichshafen, Chemnitz und Neckarsulm (BA: Bauabschnitt, MFH: Mehrfamilienhaus, VR: Vakuumröhre, *: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb, ¹⁾: Angaben TU Chemnitz)

	Hamburg	Friedrichshafen	Chemnitz 1. BA ¹⁾	Neckarsulm
Versorgungsgebiet	124 Einfamilien-Reihen-häuser	Konzeption 1996: 570 Wohnungen in 8 MFH	Bürogebäude	1. BA: 6 MFH, Schule, Wohnheim, Gewerbe
beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ²	14.800	39.500	4.680	20.000
Solaranlage				
Kollektorfläche in m ²	3.000	5.600	540 VR	2.700
Speichertyp	Heißwasser	Heißwasser	Kies/Wasser	Erdsonden
Speichervolumen in m ³	4.500	12.000	8.000	20.000
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	1.610	4.106	1. BA: 573	1.663
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a *	789	1.915	1. BA: 169	832
Solarer Deckungsanteil in % *	49	47	1. BA: 30	50
Kosten Solarsystem in Mio. DM	4,3	6,3	1. + 2. BA: 2,8	2,9
Solare Wärmekosten in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung) *	50,2	31,1	1. + 2. BA: 47	33,7

In **Neckarsulm** wurde erstmals ein neues Wärmesammel- und -verteilssystem gebaut. Anstelle eines separaten Solarnetzes und eines Wärmeverteilnetzes (vgl. Bild 2) wurde ein sogenanntes Dreileitersystem installiert: In den Gebäuden wird der Rücklauf des Nahwärmenetzes 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. Das Dreileitersystem erfordert eine sehr gut abgestimmte Netzhydraulik, die auch bei weiterem Ausbau des Netzes gleichbleibende Strömungs- und Druckverhältnisse in den einzelnen Übergabestationen aufrechterhalten muß.

Die Langzeit-Wärmespeicherung über Erdsonden direkt im Erdreich wurde in einem Vorprojekt erforscht [3]. Der 1997 in Neckarsulm gebaute Pilotspeicher mit einem Volumen von ca. 4.300 m³ bestätigte die Forschungsergebnisse. Der erste Bauabschnitt des Erdsonden-Wärmespeichers (20.000 m³) wurde 1998 fertiggestellt. Bis zum Sommer 2001 wird der zweite Bauabschnitt des Wärmespeichers gebaut. Das Volumen wird auf rund 63.000 m³ erweitert.

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.

Im August 1998 ging die Pilotanlage in **Steinfurt-Borghorst** in Betrieb. Sie wurde im Rahmen des Programms „50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen“ errichtet und versorgt 42 Wohneinheiten in 15 Einfamilien- und 7 Mehrfamilienhäusern mit Wärme (Tabelle 2). Als Langzeit-Wärmespeicher kommt ein Kies/Wasser-Wärmespeicher zum Einsatz, der über Rohrschlangen indirekt be- bzw. entladen wird. Die Gebäude in Steinfurt sind mit Fußbodenheizungen ausgeführt, wodurch niedrige Betriebstemperaturen für die Gebäudetechnik ermöglicht werden. Das Nahwärmenetz wird in der Heizzeit auf dem niedrigen Temperaturniveau der Heizungen betrieben, um die Netzverluste zu reduzieren und möglichst niedrige Netzzücklauftemperaturen zu erzielen. Sind zur Trinkwassererwärmung höhere Temperaturen erforderlich, werden diese über Nachheizungen in den Gebäuden ermöglicht.

In **Rostock** ging Ende 1999 die erste solar unterstützte Nahwärmanlage mit einem Aquifer-Wärmespeicher in Betrieb. Die Anlage versorgt ein großes Mehrfamilien-Reihenhaus mit 108 Wohnungen. Der Speicher liegt in einer Tiefe von ca. 15 bis 30 Metern 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 °C) mit Radiatoren realisiert, um niedrige Betriebstemperaturen sicherzustellen und damit günstige Betriebsbedingungen für die Solaranlage und die Wärmepumpe zu garantieren.

In **Hannover** befindet sich die derzeit jüngste Anlage. Als Wärmespeicher wird hier ein Heißwasser-Wärmespeicher aus einem neuartigen Hochleistungsbeton verwendet. 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 ist seit Juni 2000 in Betrieb.

Tabelle 2: Technische Daten der Pilotanlagen in Steinfurt, Rostock und Hannover (EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, WE: Wohneinheit, *: mit TRNSYS berechnete Werte für langfristigen Betrieb, ²⁾: Angaben GTN, Neubrandenburg; ³⁾: Angaben IGS, Uni Braunschweig)

	Steinfurt	Rostock²⁾	Hannover³⁾
Versorgungsgebiet	42 WE in 15 EFH und 7 MFH	108 WE in MFH	106 WE
Beheizte Wohn-/Nutzfläche in m ²	3.800	7.000	7.365
Solaranlage			
Kollektorfläche in m ²	510	1.000	1.350
Speichertyp	Kies/Wasser	Aquifer	Heißwasser
Speichervolumen in m ³	1.500	20.000	2.750
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	325	497	694
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a *	110	307	269
Solarer Deckungsanteil in % *	34	62	39
Kosten Solarsystem in Mio. DM	1,0	1,4	2,4
Solare Wärmekosten in Pf/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung) *	82,8	49,9	81

Tabelle 3: Auslegungsrichtlinien für solar unterstützte Nahwärmesysteme (WE: Wohneinheit; FK: Flachkollektor; w: Wasseräquivalent, *Basis: TRNSYS-Berechnungen für langfristigen Betrieb) [1]

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 % G.-wärme: 10 - 20 %	Gesamtwärme: 40 - 60 %
Solare Wärmekosten	30 - 60 Pf/kWh	15 - 30 Pf/kWh	33 - 50 Pf/kWh*

Tabelle 3 führt **Auslegungsrichtlinien** für solar unterstützte Nahwärmesysteme auf. Zum Vergleich ist eine Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung aufgeführt. Die Kennzahlen gelten für den deutschen Markt. Die solaren Wärmekosten geben die zur Einsparung von einer kWh aufzuwendenden, annuisierten Investitionskosten einschließlich der Planungs-, Betriebs- und Wartungskosten an (Kostenbasis: Marktpreise 1997/98, ohne MWSt., Zinssatz: 6 %). Zur Anlagendimensionierung sollte ein genaues Verbrauchsprofil ermittelt werden. Für die Planung

eines Langzeit-Wärmespeichers sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich. Meist wird hierzu das Simulationsprogramm TRNSYS [4] verwendet.

Zur Erzielung eines möglichst hohen Solarertrages müssen die Kollektorflächen nach Süden $\pm 20^\circ$ orientiert, und - je nach der Art des Gesamtsystems - ca. 35 bis 45° gegen die Horizontale geneigt sein. Die architektonische Integration solch stark geneigter Kollektorflächen ist insbesondere bei Mehrfamiliengebäuden schwierig. Aus diesem Grund weisen etliche installierte Kollektorflächen nur 15 bis 25° Neigung gegen die Horizontale auf. Der Minderertrag im Vergleich zu steiler geneigten Kollektorflächen muß mit einer Vergrößerung der Kollektorfläche ausgeglichen werden. Bei einer Neigung von nur 15° gegen die Horizontale muß die Kollektorfläche um ca. 13 bis 15 % vergrößert werden, sofern ein Anlagenschema wie in Bild 2 vorliegt.

Weitere Hinweise zur Planung und Ausführung von solarthermischen Großanlagen können [1] und [5] entnommen werden.

3. Potenziale

Mit der Entwicklung solar unterstützter Nahwärmesysteme wurde seit 1993 die Kollektorfeld- und Langzeit-Wärmespeichertechnologie einschließlich deren Systemintegration stetig verbessert. Heute bietet der Markt Produkte und Systeme an, die unterschiedliche technische und wirtschaftliche Potenziale bieten.

Die Kollektorflächen



Bild 4: Montage von großen Kollektorflächen in Hamburg

In Skandinavien werden die Kollektorflächen für solar unterstützte Nahwärmesysteme meist sehr einfach und dadurch kostengünstig auf einem Grundstück neben der Heizzentrale direkt auf dem Erdboden aufgeständert. Aufgrund der hohen Kosten für Bauland kann dies in Deutschland in der Regel nicht realisiert werden, so daß die Kollektorflächen auf die Dächer der Gebäude montiert werden.

Hierfür werden **große Kollektormodule** mit einer Fläche von

8 bis 12 m^2 verwendet, die witterungsunabhängig montiert werden können. Eine Reihe von Kollektorherstellern bietet heute erprobte Dichtsysteme an, so daß das Kollektorfeld die Dachendeckung ersetzt und die Kollektoren direkt auf ein Unterdach montiert werden (Bild 4). Muß das Kollektorfeld aufgeständert werden, ist die Unterkonstruktion im Neubau mit durchschnittlichen Kosten von rund 150 DM/m^2 bei einer Preisspanne von 70 bis über 300 DM/m^2 teuer. Aus diesem Grund sollten Kollektorflächen im Neubau möglichst dachintegriert installiert werden.

Bei Aufständern im Bestand können aufgrund der Notwendigkeit, die statischen Lasten in das Gebäude abzutragen, Mehrkosten für die Unterkonstruktion entstehen, die über den Kosten

für das eigentliche Kollektorfeld liegen. Ein vom BMWi gefördertes Forschungsvorhaben, in dem unter anderem Musterstatiken für Aufständungen großer Kollektorfelder entwickelt wurden, um seither vorhandene Unsicherheiten bei den Planern zu beseitigen, ist seit kurzem abgeschlossen.



Bild 5: Pilotanlage in Rostock mit Solardach

In den vergangenen Jahren wurden in Deutschland und Schweden sogenannte **Solardächer** entwickelt: Dies sind vollständige Dachmodule einschließlich Sparren und Wärmedämmung, die anstelle der herkömmlichen Dacheindeckung einen Kollektor tragen.

Das modernste Solardach mit eingebauten Dachfenstern und Blindelementen ist auf dem Gebäude „Helios“ in Rostock montiert (Bild 5). Das Gewerk Solardach beinhaltet zudem die Ein-

blechung, Schneefanggitter, Regenrinne etc.. Durch eine projektspezifische Systemintegration der Kollektorflächen lassen sich für den Solardachlieferanten Kostenreduktionspotenziale erschließen.

Langzeit-Wärmespeicher

Techniken und Potenziale der Langzeit-Wärmespeicher sind in dem Bericht „Entwicklungen bei Langzeit-Wärmespeichern“ von M. Benner dargestellt.

Die Haustechnik

Die Auslegung des Heizsystems und die Art der Trinkwassererwärmung bestimmen die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes. Diese bestimmt die Rücklauftemperatur zu den Solar Kollektoren und ist daher entscheidend für die Höhe des solaren Nutzwärmeertrages. Niedertemperatur-Heizsysteme (Bild 2, Gebäude 1) sind einem konventionellen Heizsystem vorzuziehen, da durch sie tiefere Netzzrücklauftemperaturen zu erreichen sind. Da die Verwirklichung von Niedertemperatur-Heizsystemen zu Mehrkosten im Vergleich zu einem konventionellen Heizsystem führt, ist die Netzzrücklauftemperatur und dadurch letztendlich der solare Nutzwärmeertrag abhängig vom Engagement des Bauträgers, des Planers und des Betreibers. Daß selbst im Mietwohnungsbau ein Niedertemperatur-Heizsystem möglich ist, zeigt das Projekt in Rostock.

Eine Trinkwassererwärmung mit an das Nahwärmenetz angeschlossenen Durchlauferhitzern (Bild 2, Gebäude 1) führt in der Regel zu tieferen Netzzrücklauftemperaturen als bei Speicherladesystemen. In großen Mehrfamiliengebäuden werden in der Regel jedoch nur Speicherladesysteme eingesetzt (Bild 2, Gebäude 2). Durch die notwendige Erwärmung des Rücklaufs der Trinkwasserzirkulation können diese Systeme zu hohen Netzzrücklauftemperaturen von im Durchschnitt 50 bis 55 °C führen. Tiefere Temperaturen werden in den Pilotanlagen nur durch

erfahrene Betreiber erreicht, die jede einzelne Wärmeübergabestation im Hinblick auf eine möglichst tiefe Netzurücklauf­temperatur verbessern.

Da jeder Wärmeübertrager die Rücklauf­temperatur durch die zur Wärmeübertragung notwendige Temperatur­differenz um ca. 5 K anhebt, ist ein Raum­heizsystem, das direkt, ohne Wärmeübertrager, an das Nahwärmennetz angeschlossen wird (Bild 2, Gebäude 1), einem indirekt angeschlossenem System vorzuziehen. In den Pilotanlagen ist die direkte Heizungseinbindung jedoch nicht überall verwirklicht, da die Betreiber des Nahwärmennetzes durch den Einbau eines Wärmeübertragers ihr Netz vom Hausnetz trennen wollen.

Insgesamt wurde durch die begleitenden Messungen festgestellt, daß die konventionelle Haustechnik meist nicht mangel­frei ausgeführt wurde. Die häufigsten Mängel sind hydraulisch nicht abgeglichen­e Trinkwasser- und Raum­heizungssysteme, Platten­wärmübertrager mit zu kleinen Übertragungsleistungen und Regelungsprobleme im außertemperaturgeführten Heizsystem.

Die Einflußnahme des Betreibers der Nahwärmeversorgung auf die Haustechnik ist nur sehr eingeschränkt gegeben, da sein Nahwärmesystem an der Wärmeübergabestation endet. Eine möglichst tiefe Netzurücklauf­temperatur zur Erzielung eines möglichst hohen solaren Nutz­wärmeertrages kann nur durch eine stetige Projektbegleitung erreicht werden, die alle Beteiligten, besonders die ausführenden Firmen, einbezieht und motiviert.

Wirtschaftlichkeit

Der Vergleich der solaren Wärmekosten einer solar unterstützten Nahwärmanlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher mit denen einer Kleinanlage zur Trinkwassererwärmung (Tabelle 3) zeigt, daß das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Kleinanlage mit solaren Wärmekosten von 30 – 60 Pf/kWh doppelt so hoch ist wie für solar unterstützte Nahwärmanlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher (15 – 30 Pf/kWh). Der Kostenvorteil 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 mit Kurzzeit-Wärmespeicher rund 900 bis 1100 DM/m² Systemkosten erzielt (einschließlich Planung, ohne MWSt.) [6].

Die solaren Wärmekosten von solar unterstützten Nahwärmanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher liegen mit 33 – 80 Pf/kWh im Bereich der Kleinanlagen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher einen weitaus höheren solaren Deckungsanteil erreichen als Kleinanlagen.

Ein Vergleich der solaren Wärmekosten von Solaranlagen mit anderen Maßnahmen zur Energieeinsparung wurde für Neubauten folgendermaßen durchgeführt [7]:

Die Investitionskosten möglicher Maßnahmen zur Wärmeenergieeinsparung sind durch eine umfangreiche Markterhebung ermittelt, die vorwiegend für den süddeutschen Raum gilt. Für jede Maßnahme wurden die zusätzlichen Investitions-, Wartungs- und Planungskosten im Vergleich zu einer Referenz berücksichtigt. Diese zusätzlichen Investitionskosten sind mit einem Zinssatz von 6% pro Jahr und einer Nutzungsdauer von 50 Jahren für bauliche Maßnahmen, 20 Jahren für Solaranlagen und 15 Jahren für Lüftungsanlagen in jährliche Kapitalkosten umgerechnet. Diese jährlichen Kapitalkosten sind auf die im Laufe eines Jahres durch diese Maßnahme erzielten Energieeinsparungen bezogen, um die Wärmekosten zu erhalten. Als Referenz wurde ein Mehrfamiliengebäude mit 16 Wohnungen gewählt, dessen Bauausführung den

Grenzwert der Wärmeschutzverordnung 1995 (WSVO) gerade einhält und bundesdeutschen Durchschnittswerten für ein Gebäude dieser Größenordnung entspricht.

Ausgehend von dieser Referenz sind Schritt für Schritt die jeweils kostengünstigsten Maßnahmen kombiniert, bis der Gesamtwärmebedarf den für das Referenzgebäude geltenden Grenzwert der kommenden Energieeinsparverordnung (30 % unter WSVO) gerade unterschreitet. Die in Bild 6 aufgetragenen drei Varianten, die diesen Grenzwert erreichen, beinhalten neben Verbesserungen der Dämmmaßnahmen im Dach, der Außenwand, der Kellerdecke und der Fenster eine unterschiedliche gebäudetechnische Ausstattung.

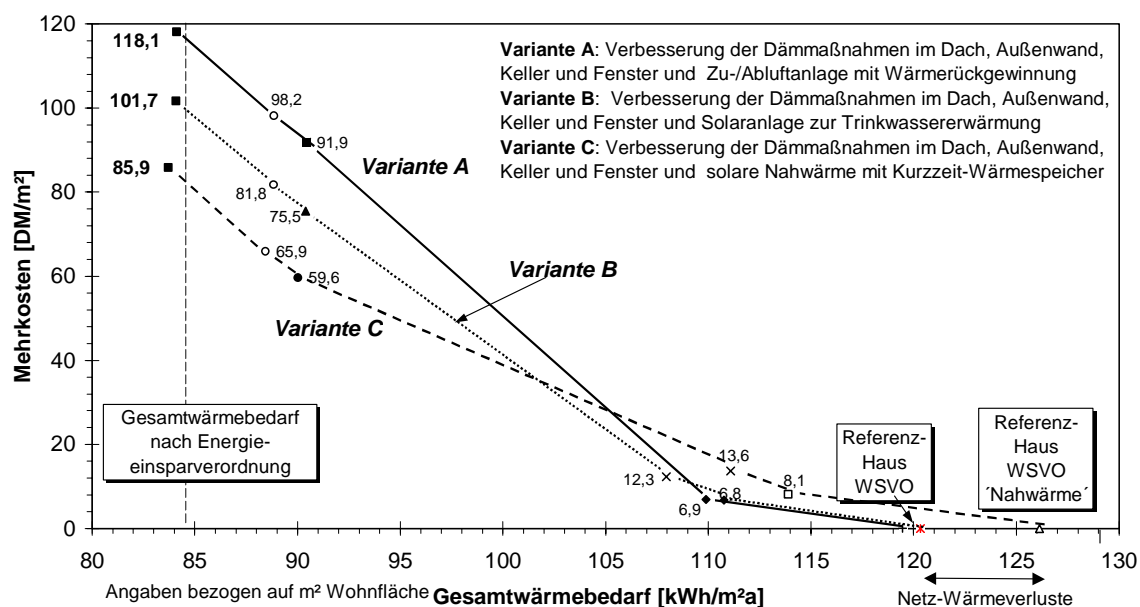


Bild 6: Mehrkosten von Maßnahmenpaketen zur Reduzierung des Gesamtwärmebedarfs eines Mehrfamiliengebäudes auf den Grenzwert der Energieeinsparverordnung (30 % unter Wärmeschutzverordnung (WSVO)) [7]

Variante A erreicht den zukünftigen Grenzwert durch zusätzliche Dämmmaßnahmen und den Einsatz einer Zu-/ Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zur Reduzierung der Lüftungswärmeverluste. Insgesamt ergeben sich Mehrkosten von rund 118 DM/m² Wohnfläche. Wird anstatt der Lüftungsanlage eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung eingebaut (Variante B), muß im Vergleich zur Variante A die Dachdämmung erhöht werden, um den Grenzwert einhalten zu können. Die auf die Wohnfläche bezogenen Mehrkosten sinken trotzdem auf rund 102 DM/m². Beim Anschluß des Gebäudes an ein solar unterstütztes Nahwärmesystem erhöht sich durch die anteiligen Netzverluste der Wärmebedarf. Durch die günstigeren solaren Wärmekosten dieser solarthermischen Großanlage reduzieren sich die Mehrkosten auf rund 86 DM/m² Wohnfläche. Vorausgesetzt wird, dass der Anschluß an das Nahwärmenetz kostenneutral im Vergleich zu einer eigenen Wärmeerzeugung erfolgt.

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, daß bei erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz von Mehrfamiliengebäuden, wie sie die Energieeinsparverordnung fordern wird, der Einsatz von Solaranlagen zu den geringsten Mehrkosten führt - die Solartechnik ist, im Vergleich mit anderen Energiesparmaßnahmen, wirtschaftlich.

4. Perspektiven

Zur Erweiterung des Marktes für solar unterstützte Nahwärmesysteme ist neben der technischen Weiterentwicklung zur Effizienzsteigerung des Gesamtsystems eine Kostenreduzierung des Solarsystems und des Langzeit-Wärmespeichers notwendig.

Je kleiner der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf ist, um so geringer sind die Mehrkosten der Solaranlage im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeerzeugung und damit die solaren Wärmekosten. In Nah- und Fernwärmenetzen kostet eine kWh Wärme in der Regel zwischen 9 und 12 Pf/kWh (Mischpreis).

Werden große Kollektorflächen in Nahwärmenetze nur zur Vorwärmung des Netz-Rücklaufes integriert, ist der erzielbare solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf mit 4 bis 10 % relativ klein, die solaren Wärmekosten sind mit rund 15 Pf/kWh jedoch nur noch geringfügig über der Kostenneutralität. Bedingung für einen effizienten Betrieb der Kollektorfläche sind jedoch niedrige, leistungsgemittelte Netzzücklauftemperaturen von deutlich unter 50 °C im Jahresdurchschnitt.

Werden zu Kleinanlagen vergleichbare solare Deckungsanteile von rund 15 % am Gesamtwärmebedarf angestrebt, können mit solar unterstützten Nahwärmeanlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher Wärmekosten zwischen 20 und 30 Pf/kWh erzielt werden. Zur Einhaltung des durch die kommende Energieeinsparverordnung vorgeschriebenen Gesamtwärmebedarfs kann für (kleinere) Wohnsiedlungen ein Gesamtkonzept erstellt werden: Durch die Verwirklichung einer solar unterstützten Nahwärmeanlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher, in Verbindung mit Dämmmaßnahmen der Gebäudehülle, kann die im Vergleich zu alternativen Wärmeversorgungs- oder einspartechniken kostengünstigste Möglichkeit zur Einhaltung der Energieeinsparverordnung erzielt werden.

Hohe solare Deckungsanteile von 50 % und mehr und dadurch eine große Vermeidung an CO₂-Emissionen sind nur durch den Einsatz eines Langzeit-Wärmespeichers zu erreichen. Zur Langzeit-Wärmespeicherung werden vier Konzepte entwickelt: Heißwasser-, Kies/Wasser-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher. Seit Beginn des Jahres 2000 ist jeder Speichertyp in mindestens einer Pilotanlage gebaut und in Betrieb. Die mit diesen Pilotanlagen erreichten solaren Wärmekosten von 33 bis 80 Pf/kWh zeigen, dass die Technik der Langzeit-Wärmespeicherung noch weitere Entwicklungsschritte zur Kostenreduktion und Effizienzsteigerung benötigt. In den nächsten Jahren werden Wärmekosten für solar unterstützte Nahwärmeanlagen mit Langzeit-Wärmespeicher angestrebt, die nur noch doppelt so hoch sind wie die Wärmekosten konventionell beheizter Nahwärmenetze.

Zusätzlich zur Kostenreduktion und Effizienzsteigerung der Solarsysteme ist eine Erweiterung des betrachteten Systems wichtig: Es muß ein integraler Planungsablauf entwickelt werden, der von stadtplanerischen Festlegungen bis zur Wohnungsheizung und Trinkwassererwärmung alle Systeme und Randbedingungen umfaßt, die ein solar unterstütztes Nahwärmesystem mit Langzeit-Wärmespeicher beeinflussen. Und es muß eine Gebäudetechnik eingesetzt werden, die den größten noch vorhandenen, beschränkenden Faktor für den solaren Nutzwärmeertrag – die Netzzücklauftemperatur – auf ein Minimum reduziert. Zielgröße ist eine volumenstromgewichtete Netzzücklauftemperatur von unter 35 °C im Jahresmittel.

Erste Ansätze hierfür wurden in den Pilotprojekten in Friedrichshafen und Neckarsulm umgesetzt, in denen für die weiteren Bauabschnitte nun Gebäudeheizsysteme mit maximal 60 °C Vorlauf- und 30 °C Rücklauftemperatur im Auslegungsfall gefordert werden.

In neuen Projekten beginnt die wissenschaftlich-technische Projektbegleitung schon vor der Erstellung des Bebauungsplanes, so dass frühzeitig alle Voraussetzungen für eine solar unterstützte Nahwärmeversorgung berücksichtigt werden können. Im Projekt Ackermannbogen in München sollen Wohnungsübergabestationen eingesetzt werden, die eine Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip ohne Zirkulation ermöglichen. Für das Raumheizsystem sollen Niedertemperaturheizungen vorgeschrieben werden. In Crailsheim kann ein Abnahmeverfahren zur Überprüfung der hydraulisch korrekten Installation und Einregulierung der Hausheizsysteme eingesetzt werden, das durch die Stadtwerke vor Ort schon eingeführt ist. Für zukünftige Projekte werden also nicht nur die Integration der Kollektorflächen, die Art und Bauweise des Langzeit-Wärmespeichers und die dadurch festgelegten solaren Wärmekosten ausschlaggebend sein, sondern insbesondere die Systemtechnik der Nahwärmeversorgung. Hierzu gehört das Zusammenspiel von solarer und fossiler Wärmeerzeugung ebenso wie die Wärmeversorgung für Heizung und Trinkwassererwärmung – in jeder Wohnung.

5. 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] 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
- [3] 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
- [4] TRNSYS, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison und Transsolar, Stuttgart
- [5] Peuser, F. A.; Croy, R.; Rehrmann, U.; Wirth, H.:
Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1999, ISBN 3-8249-0541-8
- [6] Mangold, D.; Hahne, E.:
Aktuelle und künftige Kosten von Solaranlagen, 8. Symposium thermische Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 420-427, Kloster Banz, 1998
- [7] 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
- [8] Mangold, D.; Hahne, E.:
Technische Erfahrungen aus den solar unterstützten Nahwärmeanlagen des Förderprogramms Solarthermie-2000, 10. Symposium thermische Solarenergie, OTTI, Tagungsband, S. 106-113, Kloster Banz, 2000

Danksagung

Der Bau der beschriebenen solaren Großanlagen wurde mit 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, Neckarsulm und Hannover unterstützt. 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.