

Solare Nahwärme und Saisonale Wärmespeicherung – Stand der Technik

von Markus Pfeil, Erich Hahne, Volkmar Lottner und Monika Schulz

Dipl.-Ing. Markus Pfeil ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Prof. Dr.-Ing. Erich Hahne ist Leiter des Geschäftsbereichs Solarthermische Energietechnik am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart.

Dr.-Phys. Volkmar Lottner ist Leiter des Programms Solarthermie 2000 des Projektträgers BEO Biologie, Energie Ökologie, Jülich.

Dipl.-Ing. Monika Schulz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart.

Überblick

Die Nutzung solarer Niedertemperaturwärme zur Brauchwassererwärmung und zur Beheizung von Wohngebäuden erfährt in Deutschland ein immer größeres Interesse. Solare Großanlagen haben gegenüber solaren Kleinanlagen den Vorteil, daß mit geringeren Investitions- und Wärmekosten größere Anlagenerträge erzielt werden können. In Verbindung mit saisonaler Wärmespeicherung erreichen solare Großanlagen Deckungsanteile von 50 % und darüber am Gesamtwärmebedarf von Wohnsiedlungen. Die ersten Pilotanlagen zur solaren Nahwärme mit saisonalem Wärmespeicher gingen 1996 in Betrieb und werden derzeit detailliert vermessen. Erste Ergebnisse zeigen, daß die vorausberechneten Werte für den Jahresenergieertrag erreicht werden können.

Solar energy technology becomes more and more important for space and water heating of residential buildings. Compared to small systems for single-family houses, the specific investment cost of big solar plants is lower and a higher contribution of solar energy can be achieved. In central solar heating plants with seasonal storage (CSHPSS), more than 50 % of the total heat demand of residential areas can be covered by solar energy. The first pilot plants for CSHPSS are operating in Germany since 1996. The first results of the accompanying monitoring program show good agreement between calculated and actual solar contribution.

1. Einleitung

Ungefähr 35 % des Endenergiebedarfs in Deutschland entfallen auf die Beheizung von Gebäuden, weitere 5 % auf die Warmwasserbereitung. Wesentliche Energieeinsparungen in diesem Bereich sind vor allem mit einer abgestimmten Kombination aus verbessertem Wärmeschutz der Gebäude, dem Einsatz effizienter Heizanlagen sowie passiver und aktiver Nutzung von Solarenergie zu erreichen. Mit Mehrkosten von nur etwa 7 bis 8 % der gesamten Baukosten können damit Energieeinsparungen bis zu 60 % gegenüber dem heutigen Stand erreicht werden. Die Nutzung von solarer Niedertemperaturwärme aus großen Anlagen mit und ohne saisonale Wärmespeicherung ist ein wichtiger Baustein eines integralen Energiekonzeptes.

2. Solaranlagen mit Kurzzeitwärmespeicher

Kleine Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung mit Kollektorflächen bis 6 m² haben heute eine feste Position am Markt. Mit solchen Anlagen werden üblicherweise 50 % des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung solar gedeckt. Je nach Wärmedämmstandard des Gebäudes entspricht dies einem solaren Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf von etwa 15 %. Beim Einsatz von Solaranlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung mit Kollektorflächen bis 15 m² können hauptsächlich in den Übergangsmontaten März bis Mai und September bis Oktober solare Beiträge zur Raumheizung geleistet werden. Der solare Deckungsanteil kann so bis auf 25 % steigen [1].

Die Investitionskosten solcher Systeme liegen zwischen 1.700 und 2.500 DM je Quadratmeter Kollektorfläche. Eine deutliche Reduzierung dieser Systempreise um den Faktor 1/2 und mehr ist möglich für solare Großanlagen mit Kollektorflächen größer als 100 m².

Durch den Einsatz großflächiger Sonnenkollektoren und durch die Reduzierung der spezifischen Kosten von Anlagenkomponenten (Speicher, Regelung, Pumpe, Ausdehnungsgefäß usw.) können beim Bau einer Großanlage die Investitionskosten bis auf 600 DM pro m² Kollektorfläche verringert werden. Zusammen mit einem hohen spezifischen Solarertrag, der sich durch die gute Auslastung bei Großanlagen ergibt, sinken die solaren Wärmepreise bis auf 15 Pf/kWh. Solare Nahwärmesysteme mit Kurzzeitwärmespeicher erreichen so schon fast das Niveau konventioneller Wärmepreise.

In der [Abbildung 1](#) ist das Anlagenschema einer solaren Nahwärmever-sorgung mit Kurzzeitwärmespeicher dargestellt. Über Kollektorsammelleitungen wird die aus großflächigen Kollektoren gewonnene Solarwärme zentral in einen Kurzzeit-Stahlspeicher eingespeichert. Ein Zweileiter-Nahwärmenetz dient der Versorgung der Verbraucher mit Heizwärme und Wärme zur dezentralen Warmwasserbereitung. Ideale Anwendungsfälle für

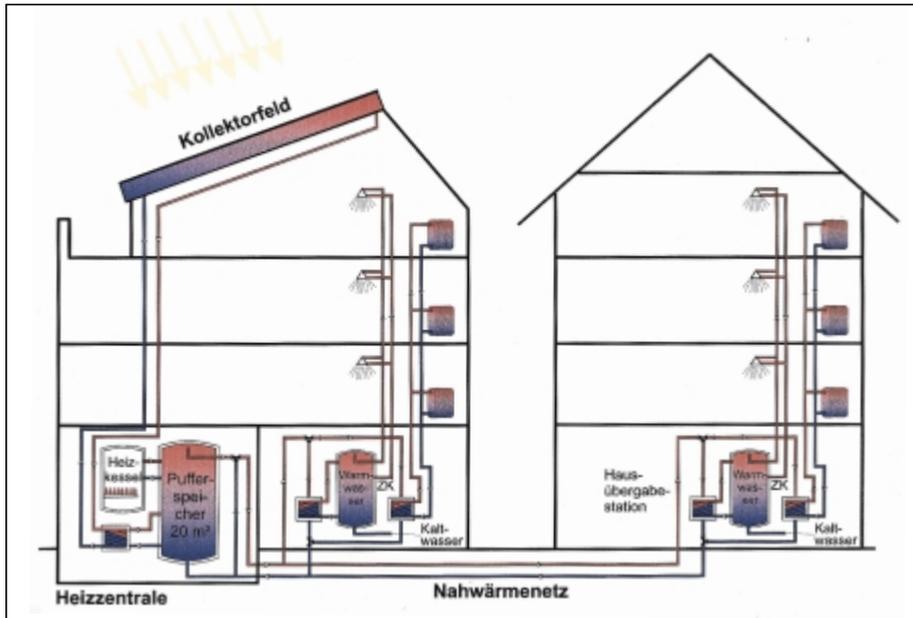
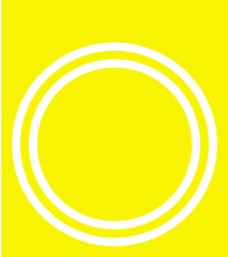


Abbildung 1: Solares Nahwärmesystem mit Kurzzeitwärmespeicherung.

Noch bedeutender als bei der solaren Brauchwassererwärmung sind die großen Dimensionen für Solaranlagen mit saisonalem Wärmespeicher. Einige tausend Kubikmeter sollte der Wärmespeicher groß sein, da große Speicher aufgrund des günstigeren Oberflächen/Volumen-Verhältnisses langsamer auskühlen als kleine. Außerdem sinken die spezifischen Baukosten mit zunehmender Speicherbaugröße. Anwendung findet diese Technik daher vorwiegend bei Wohnsiedlungen mit mehr als 100 Wohneinheiten oder bei großen Bürogebäuden und Hotels.

Solare Wärme aus Solaranlagen mit Langzeitwärmespeicher kostet zwischen 30 und 50 Pf/kWh. In Abbildung 4 ist das Kosten/Nutzen-Verhältnis solarthermischer Anlagen dargestellt.

diese Anlagen findet man bei großen Mehrfamilienhäusern, Krankenhäusern, Wohnheimen, Hotels und Wohnsiedlungen ab ca. 30 Wohneinheiten. Auf diese Weise können bis zu 25 % des Gesamtwärmebedarfs solar gedeckt werden.

3. Solaranlagen mit Langzeitwärmespeicher

Um solare Deckungsanteile im Bereich von 50 % und mehr am Gesamtwärmebedarf zu erreichen, ist eine saisonale Speicherung der Sonnenenergie notwendig. Die [Abbildung 2](#) verdeutlicht die zeitliche Differenz zwischen dem solaren Strahlungsangebot in den Sommermonaten und dem Bedarf für Raumheizung während der Heizperiode. In mitteleuropäischen Breiten treffen etwa 3/4 der jährlichen Solarstrahlung während der Zeit auf die

Abbildung 2: Saisonale Phasenverschiebung zwischen solarem Angebot und Wärmebedarf (qualitativ dargestellt).

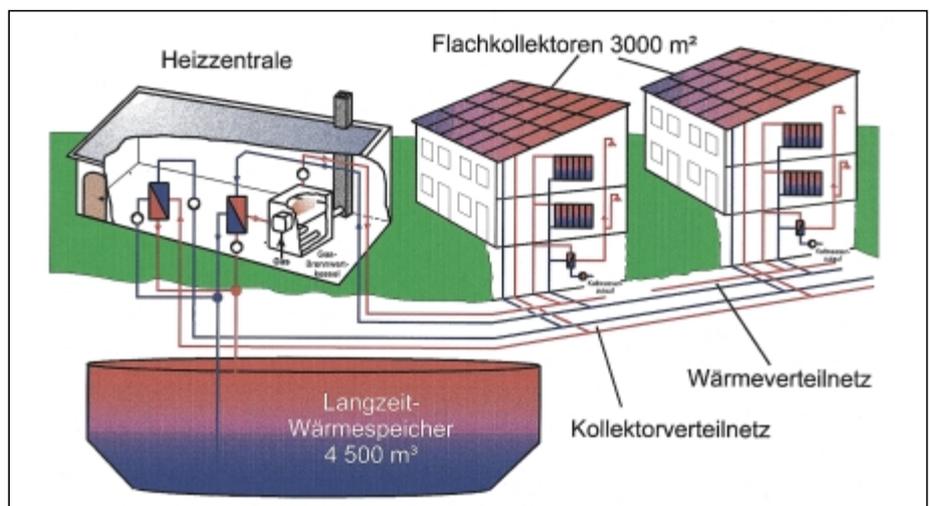
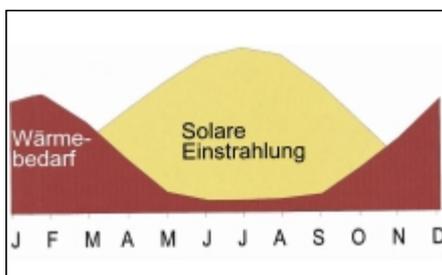


Abbildung 3: Anlagenschema des solaren Nahwärmesystems in Hamburg-Bramfeld mit saisonalem Wärmespeicher.

Erde, während der kaum ein Bedarf für die Beheizung von Gebäuden besteht.

Die technische Lösung für dieses Problem ist die Langzeitwärmespeicherung oder auch saisonale Wärmespeicherung. Mit Sonnenkollektoren wird hauptsächlich im Frühjahr und Sommer ein Speicher erwärmt. Während der Heizperiode wird dem Speicher die Sonnenwärme entnommen. Ist der Speicher entladen, so liefert ein Zusatzkessel die notwendige Wärme. Die [Abbildung 3](#) zeigt das Schema eines solarunterstützten Nahwärmesystems mit saisonalem Wärmespeicher.

Ein besonderer Vorteil, der sich durch die Erschließung von Versorgungsgebieten mit solarer Nahwärme ergibt, ist die Möglichkeit, die notwendige Zusatzenergie langfristig durch nachhaltige Energieträger zu ersetzen. So ist z. B. denkbar, daß der meist eingesetzte Erdgas-Spitzenkessel in der Zukunft durch einen Biomassekessel oder eine Brennstoffzelle ersetzt wird, wodurch ein noch umweltfreundlicheres Energiesystem entstehen kann.

In der [Tabelle 1](#) sind Auslegungsrichtlinien für solare Nahwärmeeinrichtungen mit Kurzzeit- und mit saisonalem Wärmespeicher angegeben.

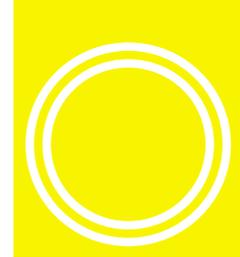


Tabelle 1: Auslegungsrichtlinien für solare Nahwärmanlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher und saisonalem Wärmespeicher

Anlagentyp	Solare Nahwärme mit Kurzzeit-Wärmespeicher	Solare Nahwärme mit saisonalem Wärmespeicher	Zum Vergleich: kleine Solaranlage zur Brauchwassererwärmung
Mindestanlagengröße	ab 30 Wohneinheiten	ab 100 Wohneinheiten	–
Kollektorfläche	0,8 – 1,2 m ² pro Person	1,5 – 2,5 m ² pro MWh Jahresgesamtwärmebedarf	1 – 1,5 m ² pro Person
Speichervolumen je m ²	40 – 60 l	1,5 – 3 m ³	50 – 80 l
Solare Nutzenergie je m ² Kollektorfläche	ca. 450 kWh	ca. 300 kWh	ca. 350 kWh
Solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf	bis 25 %	bis 60 %	bis 15 %

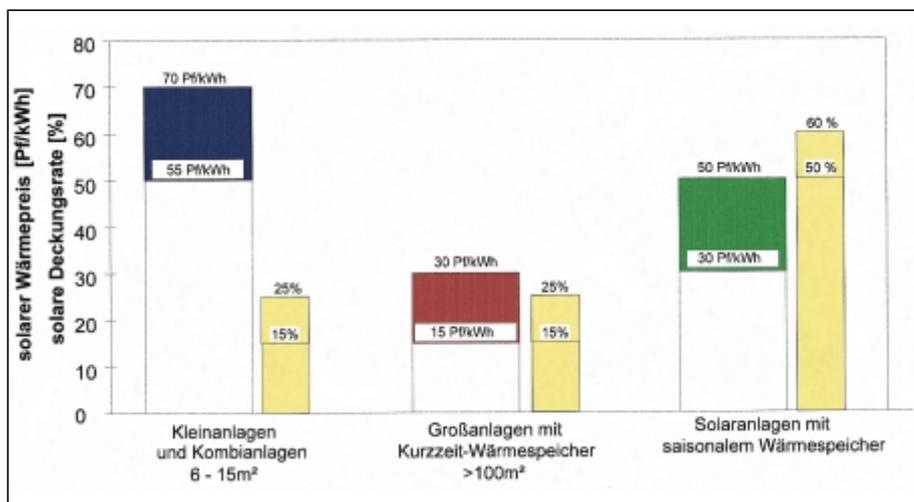


Abbildung 4: Wärmekosten und solare Deckungsanteile thermischer Solaranlagen.

4. Solarkollektoren

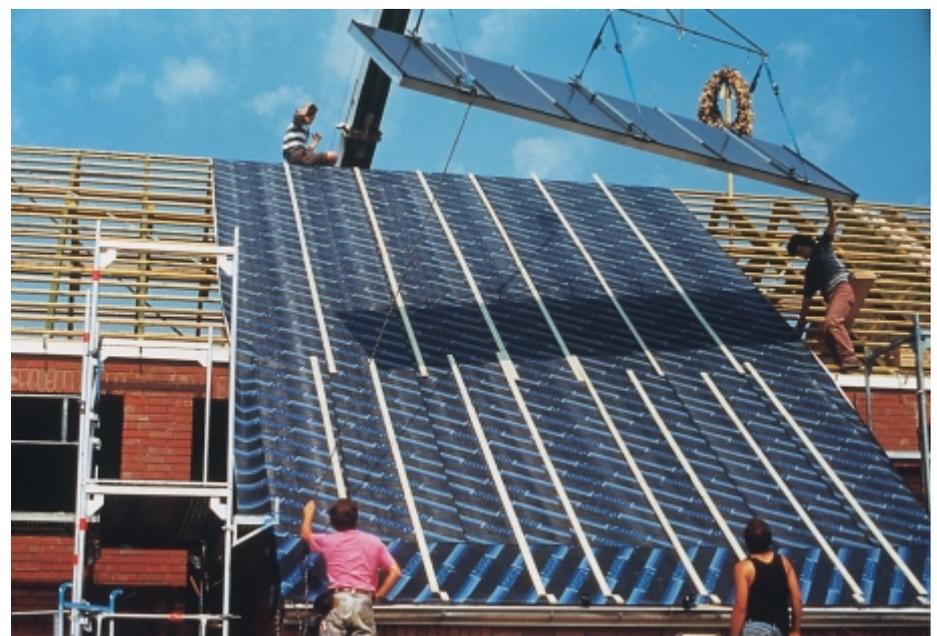
Bei großen Solaranlagen entsteht ein enormes Kostenreduktionspotential durch die Möglichkeit, großflächige zusammenhängende Kollektorfelder zu verwenden. Die spezifischen Kosten von Kollektorfeldern mit mehreren hundert Quadratmetern liegen so bei nur ca. 70 % der spezifischen Kosten von Kollektorfeldern mit 40 m² Fläche [2].

Die in Skandinavien häufig anzutreffende Aufstellung von großen Kollektormodulen auf Grundstücken neben der Heizzentrale ist eine einfache und kostengünstige Variante. In den meisten europäischen Ländern ist diese Lösung jedoch wegen der hohen Baulandkosten zu teuer. Deshalb empfiehlt es sich, die Kollektoren auf den Dächern der Gebäude zu installieren.

Nur durch eine frühzeitige Integration der Kollektorflächen in die Architektur kann erreicht werden, daß ästhetische

und technische Gesichtspunkte miteinander in Einklang gebracht werden und hierdurch eine ansprechende Lösung

Abbildung 5: Montage von Groβkollektoren in Hamburg-Bramfeld



erzielt wird. Die Abbildung 5 zeigt die Montage von Groβmodulen. Die hier eingesetzten Groβkollektoren mit bis zu 8 m² Fläche werden so montiert, daß die Abdichtung des Daches durch die Kollektoren erfolgt. Ab 100 m² Größe kosten Kollektorfelder zwischen 400 und 500 DM je m².

Kollektordächer, die auf der Baustelle aus Einzelteilen (d.h. Absorber, Verglasung, Wärmedämmung usw.) errichtet werden, haben den Vorteil, daß Sie sich gut an vorhandene Dachflächen anpassen lassen. Nachteilig ist jedoch die extreme Witterungsabhängigkeit bei der Montage sowie das nur begrenzte Kostenreduktionspotential.

Eine zukunftsweisende Technik, die aus Skandinavien kommt und nun auch von deutschen Herstellern angeboten wird, ist das „solar-roof“ (siehe

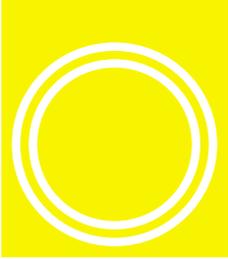


Abbildung 6: Solar-Roof Element.

Abbildung 6). Hierbei handelt es sich um in der Fabrik vorgefertigte, vollständige Dachmodule einschließlich Sparren und Wärmedämmung. Die Kollektoren übernehmen so vollständig die Funktion des Daches. Werden die Kosten für die herkömmliche Dacheindeckung gutgeschrieben, so betragen die Mehrkosten nur noch 300 bis 350 DM/m² [3]. Eine weitere Kostenreduktion ist hier zu erwarten, falls „solar-roofs“ in großen Serien hergestellt werden.

Die Aufständigung von Kollektormodulen auf Flachdächern sollte, wenn möglich, vermieden werden, da aufgrund der zusätzlich erforderlichen Unterkonstruktion Mehrkosten bis zu 50 % der Kollektorkosten entstehen können.

Bei der Erstellung von Bebauungsplänen ist frühzeitig auf die Solarisierung der Siedlung zu achten. Die Dächer der Häuser sollten nach Möglichkeit nach Süden ausgerichtet werden. Eine Abweichung von 45° aus dieser Orientierung vermindert den solaren Ertrag nur geringfügig. Die Dachflächen sollten in ihrer Ausrichtung jedoch höchstens 45° voneinander abweichen, da ansonsten eine aufwendigere Verrohrung erforderlich wird. Die Neigung der für die Installation der Kollektoren in Frage kommenden Dächer sollte zwischen 15° und 30° liegen. Unterhalb von 15° nimmt der Solarertrag ab und die Dichtigkeit des Daches ist schwieriger zu erreichen. Ist die Dachneigung steiler als 30°, so steigen die Installationskosten, da die Montagebedingungen erschwert sind [2].

5. Technologien zur Langzeitwärmespeicherung

In der [Abbildung 7](#) sind verschiedene

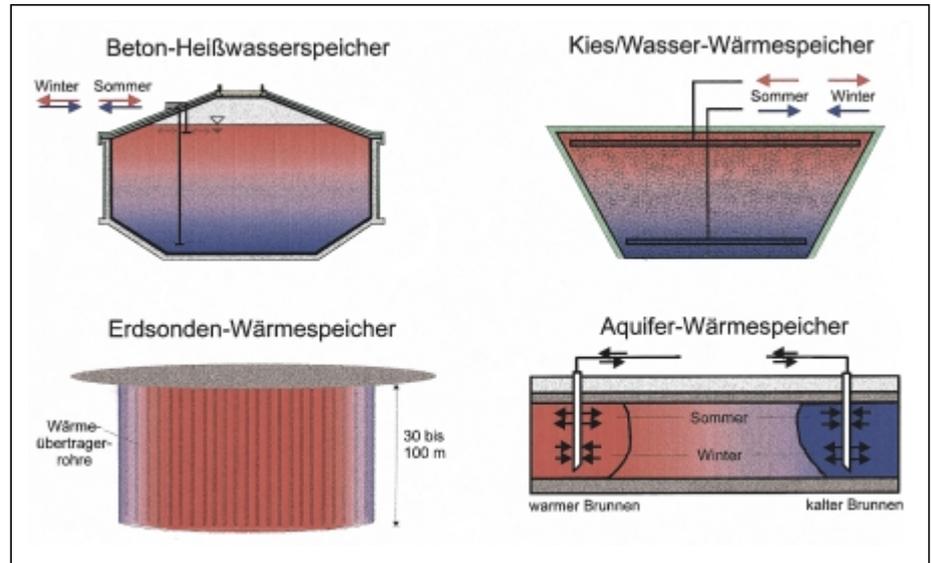


Abbildung 7: Techniken zur saisonalen Wärmespeicherung.

Konzepte zur saisonalen Wärmespeicherung dargestellt. Das beste geeignete Konzept hängt von den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten des Standortes ab. Ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium sind die Speicherbaukosten. Hier ist noch ein großes Kostenreduktionspotential vorhanden, welches ausgeschöpft werden muß, um wirtschaftliche Gesamtlösungen zu realisieren.

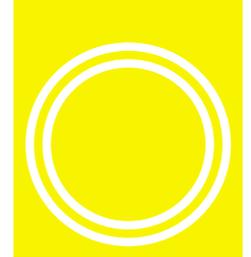
Der **Beton-Heißwasserspeicher** besteht aus einem Behälter aus Stahlbeton, der mit Wasser gefüllt ist. Der Behälter ist zum Teil ins Erdreich einge-

lassen. Die Decke kann freitragend sein oder von Stützen getragen werden. Im Bereich des Deckels und der senkrechten Speicherwände ist eine Wärmedämmung angebracht. Die Abdichtung des Speichers erfolgt durch eine 1,2 mm starke Edelstahlauskleidung. Beton-Heißwasserspeicher lassen Temperaturen bis 95° C zu. In Hamburg und Friedrichshafen sind Speicher dieser Bauart in Betrieb. Die [Abbildung 8](#) zeigt den 4.500 m³ großen Speicher in Hamburg-Bramfeld während des Baus.

Der **Kies/Wasser-Wärmespeicher** be-

Abbildung 8: Beton-Heißwasserspeicher in Hamburg während der Bauphase.





sitzt als Speichermedium eine mit Wasser gefüllte Kies-Schüttung. Die Speicherfüllung dient einerseits als Wärmespeichermedium und andererseits als statisches Element. Dadurch kann auf tragende Bauteile wie Decken oder Wände verzichtet werden. Die Abdichtung des Speicherbereichs erfolgt durch eine 2,5 mm starke Kunststoffauskleidung. Wärmedämmt wird der Speicher an den Wänden und an der Decke. Durch direkten Austausch des Speicherwassers wird die Wärme ein- und gespeichert. Beim Entladen wird heißes Wasser aus der oberen Speicherschicht zu einem Wärmetauscher gefördert, dort abgekühlt und in die untere Schicht zurückgeleitet. Der Temperaturbereich des Speichers liegt zwischen 30 und 85° C. Der erste Kies/Wasser-Speicher ist seit 1985 an der Universität Stuttgart in Betrieb. Die [Abbildung 9](#) zeigt den 8.000 m³ Kies/Wasser-Speicher in Chemnitz während der Bauphase noch ohne Kiesfüllung.

Eine Abwandlung des Kies/Wasser-Wärmespeichers ist der **Erdreich/Wasser-Wärmespeicher**. Dieser besitzt prinzipiell den gleichen Aufbau mit dem Unterschied, daß anstelle der Kiesfüllung das ausgehobene Erdreich wiederverfüllt und anschließend mit Wasser gesättigt wird. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme geschieht indirekt über Wärmetauscherrohre im Speicherbereich. Ein Pilotspeicher die-

ser Bauart befindet sich seit 1997 in einer Anlage in Egenhausen in Betrieb. [Abbildung 10](#) zeigt die Bauarbeiten an diesem Speicher.

Beim **Erdsonden-Wärmespeicher** wird das Erdreich als Wärmespeichermedium genutzt. In Bohrlöcher bis zu einer Tiefe von 100 m werden vertikale Erdsonden aus Kunststoff eingebracht. Über diese Sonden, in denen Wasser als Wärmeträger zirkuliert, kann die Wärme in den Speicher ein- bzw. gespeichert werden. Die Oberfläche des Speichers kann wärmedämmt werden. Günstige Standorte für Erdsonden-Wärmespeicher benötigen wassergesättigtes Erdreich ohne Grundwasserströmung. Der Temperaturbereich liegt zwischen 30 und 80° C. Ein Pilotspeicher ist in Neckarsulm im Bau.

Beim **Aquifer-Wärmespeicher** wird das Vorhandensein von unterirdischem Wasser für die Langzeit-Wärmespeicherung genutzt. Liegt eine Grundwasserschicht zwischen zwei wasserundurchlässigen Erdreichschichten, so kann durch Einbringung von vertikalen Dichtwänden ein abgeschlossener Speicherbereich erzeugt werden. Unterirdische Sandlinsen, die Wasser enthalten und ringsum von wasserundurchlässigen Bereichen umgeben sind, können als Aquiferspeicher genutzt werden. Über Förder- und Schluckbrunnen wird die Wärme in

den Speicher eingebracht bzw. bei Umkehrung der Durchströmungsrichtung wieder ausgespeichert.

Die [Tabelle 2](#) gibt die Baukosten fertiggestellter Wärmespeicher an [4]. [Tabelle 3](#), in der die Baukosten für eine Speichergröße von 10.000 m³-Wasseräquivalent hochgerechnet wurden, ermöglicht einen Kostenvergleich saisonaler Wärmespeicherkonzepte [5].

6. Ausgeführte Projekte

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Programms Solarthermie 2000 wurden in den letzten Jahren mehrere solare Nahwärmesysteme erstellt und wissenschaftlich ausgewertet.

In Deutschland ging die erste solar unterstützte Nahwärmeversorgung 1992 in Ravensburg in Betrieb. Die Anlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher unterstützt die Brauchwassererwärmung für 29 Reihenhäuser mit einem solaren Deckungsanteil von 45 %. Das Kollektorfeld besitzt eine Gesamtfläche von 115 m² und wurde als dachintegrierter Kollektor ausgeführt.

Die ersten Großanlagen zur solaren

Abbildung 10: Erdreich/Wasser-Wärmespeicher in Egenhausen. Abwechselnd werden Wärmeaustauschersystem und Erdreich in den Speicher eingebracht.

Abbildung 9: Kies/Wasser-Wärmespeicher in Chemnitz noch ohne Kiesfüllung.



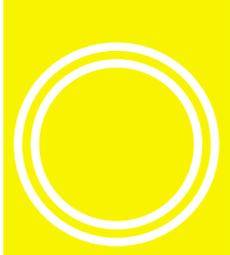


Tabelle 2: Baukosten realisierter saisonaler Wärmespeicher

Speichertyp	Standort	Volumen	Wasseräquivalent	Baukosten einschließlich Planung (ohne MwSt.) bezogen auf 1 m ³ Wasseräquivalent
Beton-Heißwasserspeicher	Rottweil	600 m ³	600 m ³	650 DM
	Hamburg	4.500 m ³	4.500 m ³	358 DM
	Friedrichshafen	12.000 m ³	12.000 m ³	220 DM
Kies/Wasser-Wärmespeicher	Chemnitz	8.000 m ³	5.300 m ³	246 DM
Erdreich/Wasser-Wärmespeicher	Egenhausen	300 m ³	200 m ³	350 DM

Nahwärme mit saisonaler Wärmespeicherung wurden im Herbst 1996 in Hamburg-Bramfeld und Friedrichshafen-Wiggenhausen in Betrieb genommen. Anlagen in Chemnitz und Neckarsulm befinden sich noch im Bau. In der [Tabelle 4](#) sind die wichtigsten Daten dieser Projekte zusammengestellt.

Die Anlage in Hamburg versorgt 124 neue Einfamilienhäuser. Die Häuser übertreffen die Wärmeschutzverordnung des Jahres 1995 bis zu 30 %. Bezogen auf die Wohnfläche be-

Tabelle 3: Vergleich der Baukosten für saisonale Wärmespeicher mit 10.000 m³ Wasseräquivalent

Speichertyp	Volumen	Wasseräquivalent	Baukosten
Beton-Heißwasserspeicher	10.000 m ³	10.000 m ³	358 DM
Kies/Wasser-Wärmespeicher	10.000 m ³	5.300 m ³	246 DM
Erdreich/Wasser-Wärmespeicher	10.000 m ³	200 m ³	350 DM

Tabelle 4: Übersicht der aktuellen solaren Nahwärmeprojekte mit saisonaler Wärmespeicherung

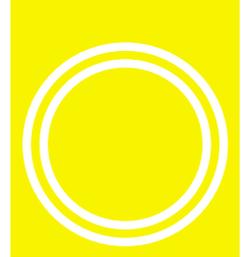
	Hamburg	Friedrichshafen	Chemnitz	Neckarsulm II
Gebäudetyp	Reihenhäuser	Mehrgeschoßbau	Büro/Hotel	Mehrgeschoßbau, öffentl. Gebäude
beheizte Wohn-/ Nutzfläche (m ²)	14.800	39.500	13.000	20.000
Gesamtwärmebedarf (MWh/a)	1.610	4.106	1.237	1.663
Solaranlage				
Kollektorfläche (m ²)	3.000	5.600	2.000	2.700
Speichervolumen (m ³)	4.500	12.000	8.000	25.000
Speichertyp	Beton-Heißwasser	Beton-Heißwasser	Kies/Wasser	Erdsonden
Wärmelieferung Solaranlage (MWh/a)	789	1.915	552	832
Solarer Deckungsanteil (%)	49	47	45	50
Solarer Wärmepreis (o. MwSt.) (Pf/kWh)	50,2	31,1	45,7	33,7

trägt der Heizwärmebedarf etwa 70 kWh/m² pro Jahr. Einschließlich Brauchwassererwärmung und Netzverlusten liegt der Gesamtwärmebedarf der Siedlung bei 1.600 MWh pro Jahr. Über ein Zweileiter-Wärmeverteilnetz sind die Häuser mit der Heizzentrale verbunden. Die Heizflächen wurden in den Häusern auf 60/30° C Vor-/Rücklauftemperatur ausgelegt. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Plattenwärmetauscher in den einzelnen Häusern. Solare Wärme aus insgesamt 3.000 m² Solarkollektoren wird

über ein Kollektor-Sammelnetz zentral in einen 4.500 m³ großen Beton-Heißwasserspeicher eingebracht. Der Speicher kann in den Sommermonaten im oberen Bereich bis auf 95° C aufgeheizt werden. In der Heizperiode dient die Wärme aus dem Speicher der Beheizung der Häuser und der Brauchwassererwärmung. Reicht die Temperatur im Speicher dazu nicht mehr aus, so wird der Heizungsrücklauf vorgewärmt und die benötigte Restwärme über einen Gaskessel geliefert ([Abbildung 3](#)). Im Dezember ist der Speicher

dann vollständig entladen. Im Jahresmittel können so 50 % des Wärmebedarfs für Raumheizung und Brauchwasser mit Solarenergie gedeckt werden.

Die solare Nahwärmanlage in Friedrichshafen versorgt ein Wohngebiet mit 570 Wohneinheiten in 8 Mehrfamilienhäusern nach dem gleichen Anlagenkonzept wie in Hamburg. Aufgrund der Größe der angeschlossenen Mehrfamilienhäuser erfolgt die Warmwasserbereitung jedoch in dezentralen



Wasserspeichern mit einem Speichersystem mit externem Plattenwärmetauscher. Die Auslegungstemperaturen des hausinternen Heizungssystems liegen bei 70/40° C. Die Solaranlage besteht aus 5.600 m² Flachkollektoren und einem Erdbecken-Heißwasserspeicher von 12.000 m³. Der solare Deckungsanteil beträgt 47 % des Gesamtwärmebedarfs der Siedlung.

Für die solare Wärmeversorgung des Technologieparks in Chemnitz kommt ein 8.000 m³ großer Kies/Wasser-Wärmespeicher zum Einsatz. Es ist vorgesehen, mit der solaren Wärme aus 2.000 m² Flachkollektoren 45 % des Gesamtwärmebedarfs zu decken. Zwei Bürogebäude und ein Hotel mit einem jährlichen Wärmebedarf von insgesamt 1.200 MWh sollen an das Wärmenetz angeschlossen werden.

7. Betriebserfahrungen

Beim Betrieb der ersten solaren Nahwärmesysteme zeigte sich, daß die Solaranlagen problemlos arbeiten. Jedoch ist eine sehr sorgfältige Planung der konventionellen Anlagentechnik erforderlich.

Für die Einleitung von Solarenergie in Heizsysteme muß das Temperaturniveau der Heizungsanlage so niedrig wie möglich liegen. Eine Auslegung der Heizflächen auf 70/40° C Vor-/Rücklauftemperaturen ist ein üblicher Wert. Die Rücklauftemperatur aus den Heizkreisen ist besonders entscheidend. Sie sollte im Auslegungsfall nicht über 45° C liegen. Nur dann ist gewährleistet, daß die Solaranlage viel Nutzenergie an die Heizung abgeben kann. Die praktische Umsetzung dieser Vorgaben erwies sich bei fast allen Anlagen als problematisch. Die Brauchwassererwärmung sowie der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage müssen daher sehr sorgfältig geplant werden und nach der Installation abgenommen werden. Um ein optimales Anlagenverhalten von solaren Nahwärmesystemen zu erzielen, ist eine parallele Meßdatenerfassung und -auswertung empfehlenswert. Nachdem die Anlage einreguliert ist, können durch Kontrolle der Wärmemengenzähler Anlagenfehlfunktionen einfach erkannt werden.

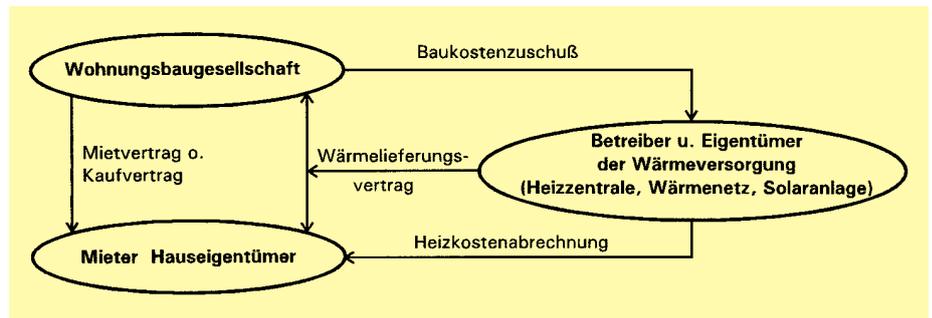


Abbildung 11: Organisationsstruktur für die Umsetzung solarer Nahwärmesysteme.

Die Regelungstechnik solcher Anlagen sollte möglichst einfach gestaltet sein. Aufwendige Regelstrategien, die nur geringe Ertragssteigerungen erzielen, haben sich in der Praxis nicht bewährt.

8. Umsetzung integraler Energiekonzepte

Die richtige Organisationsstruktur und das Finanzierungskonzept sind entscheidend für die Umsetzung von integralen Energiekonzepten. Die Hauptentscheidungsträger, wie Energieanlagenbetreiber, Kommune, Bauherren, Architekten und Energieplaner, sollten frühzeitig die gemeinsamen Ziele formulieren und diese im Bebauungsplan festschreiben. Ein Beispiel für eine solche Organisationsstruktur ist in der [Abbildung 11](#) dargestellt.

Die gesamte Wärmeversorgung muß ein Betreiber übernehmen, der die notwendigen Investitionen tätigt. Stadtwerke oder private Betreibergesellschaften kommen als Wärmelieferanten in Frage. Die Finanzierung der Wärmeversorgungsanlage erfolgt größtenteils durch einen Baukostenzuschuß der Wohnungsbaugesellschaft an den Betreiber. Für die Solaranlage können in vielen Fällen Fördermittel von Kommune, Land oder Bund in Anspruch genommen werden. Zwischen dem Betreiber der Wärmeanlage und den Mietern oder Hauseigentümern wird ein Wärmelieferungsvertrag abgeschlossen.

Auf diese Weise kann die Wärme auch aus solar unterstützten Wärmeversorgungsanlagen zu marktüblichen Preisen angeboten werden. Für die Endverbraucher entstehen so keine höheren Jahreskosten als bei der Versorgung mit Fernwärme.

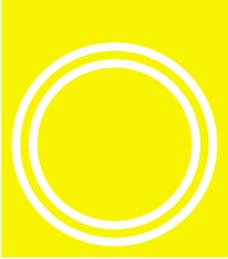
9. Ganzheitliche Betrachtung solarer Nahwärmesysteme

Das Hauptziel bei der Erstellung von Solaranlagen sowohl mit Kurzzeit- als auch mit Langzeitwärmespeichern ist die Reduzierung des Verbrauchs fossiler Energie und die Verminderung negativer Umwelteinflüsse. Im allgemeinen werden bei der Bewertung von Solaranlagen nur die direkten Einsparungen an Brennstoff und die direkten Reduktionen an Emissionen angegeben. Dabei wird nicht berücksichtigt, daß zur Herstellung der Solaranlage ein Material- und Energieaufwand erbracht werden muß.

Um eine ganzheitliche Bewertung von Solarsystemen durchzuführen, müssen alle vorgelagerten Prozeßketten mit einbezogen werden. Am Beispiel von Solarkollektoren bedeutet dies, daß z. B. der Energieaufwand zur Herstellung des Aluminiumrahmens für den Kollektor bis zurück zur Bauxitförderung mitbewertet wird. Erst diese Betrachtungsweise ermöglicht eine Bewertung der Solaranlage in Bezug auf die **tatsächliche** Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung.

Eine ganzheitliche Beurteilung des solaren Nahwärmesystems in Friedrichshafen wurde am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart durchgeführt. Alle zur Solaranlage gehörenden Materialien wurden erfaßt und die jedem Material zugehörigen vorgelagerten Prozeßketten ermittelt. Die Energieeinsparungen durch den Betrieb der Solaranlage wurden mit Hilfe von dynamischen Simulationsrechnungen vorausberechnet [6].

Der gesamte kumulierte Energieauf-



wand (KEA)¹, der zur Herstellung des untersuchten Solarsystems benötigt wurde, beträgt 9.000 MWh. Die größten Anteile daran entfallen auf den Langzeit-Wärmespeicher (46 %) und auf die Kollektoren (31 %). Die Stützkonstruktion zur Aufständigung der Kollektoren trägt mit 15 % zum kumulierten Energieaufwand bei. Der KEA zum Betrieb der Solaranlage beträgt nur etwa 5 % des KEA für die Herstellung.

Die energetische Amortisationszeit des solaren Nahwärmesystems liegt bei 4,5 Jahren. Nach dieser Zeit hat die Anlage genau soviel Primärenergie eingespart, wie zur Herstellung benötigt wurde. In 20 Jahren spart die Solaranlage gegenüber einer rein fossilen Heizung 31.000 MWh Primärenergie und 6.600 t CO₂-Äquivalent ein.

Da der Langzeitwärmespeicher den größten Anteil am KEA der Gesamtanlage besitzt, wurden in der Untersuchung alternative Langzeitwärmespeicher betrachtet. Den geringsten Energieaufwand zur Herstellung benötigt danach der Aquiferspeicher gefolgt vom Kies-Wasser-Speicher.

Eine Reduktion der energetischen Amortisationszeiten von solaren Nahwärmesystemen mit Langzeitwärmespeichern bis auf 2,5 Jahre kann z. B. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Einsatz von dachintegrierten Kollektoren unter Verwendung von Recycling Aluminium,
- Einsatz eines Langzeitwärmespeichers mit geringem KEA für die Herstellung und den Betrieb.

Die Amortisationszeiten dieser Systeme wären dann mit denen kleiner Brauchwassersolaranlagen vergleichbar. Dabei muß berücksichtigt werden, daß kleine solare Brauchwassersolaranlagen nur ca. 15 % des Gesamtwärmebedarfs decken, Anlagen wie in Friedrichshafen dagegen fast die Hälfte.

10. Aktive Solartechnik und bauphysikalische Maßnahmen

Um das hohe Einsparpotential bei der Wärmeversorgung von Gebäuden

auszuschöpfen, ist der gemeinsame Einsatz von aktiver Solartechnik, rationeller Heizungstechnik und verbessertem Wärmeschutz in einem integralen Energiekonzept notwendig.

Betrachtet man die Zeiträume, für die Wohnraum geschaffen wird, so wird deutlich, daß die derzeitigen niedrigen Energiepreise für Öl und Gas nicht als Entscheidungsmaßstab für oder gegen innovative Technologien geeignet sind. Der Ansatz bei der Bewertung dieser Technologien muß lauten: Welches sind die kosteneffektivsten Energieeinsparmaßnahmen und in welcher Kombination sind sie einzusetzen?

Um dies zu beurteilen, wurden die Wärmekosten unterschiedlicher Energieeinsparmaßnahmen ermittelt [7, 8]. Die Wärmekosten errechnen sich dabei aus den Jahreskosten der Energieeinsparmaßnahme dividiert durch die aufgrund der entsprechenden Maßnahme eingesparte jährliche Energie.

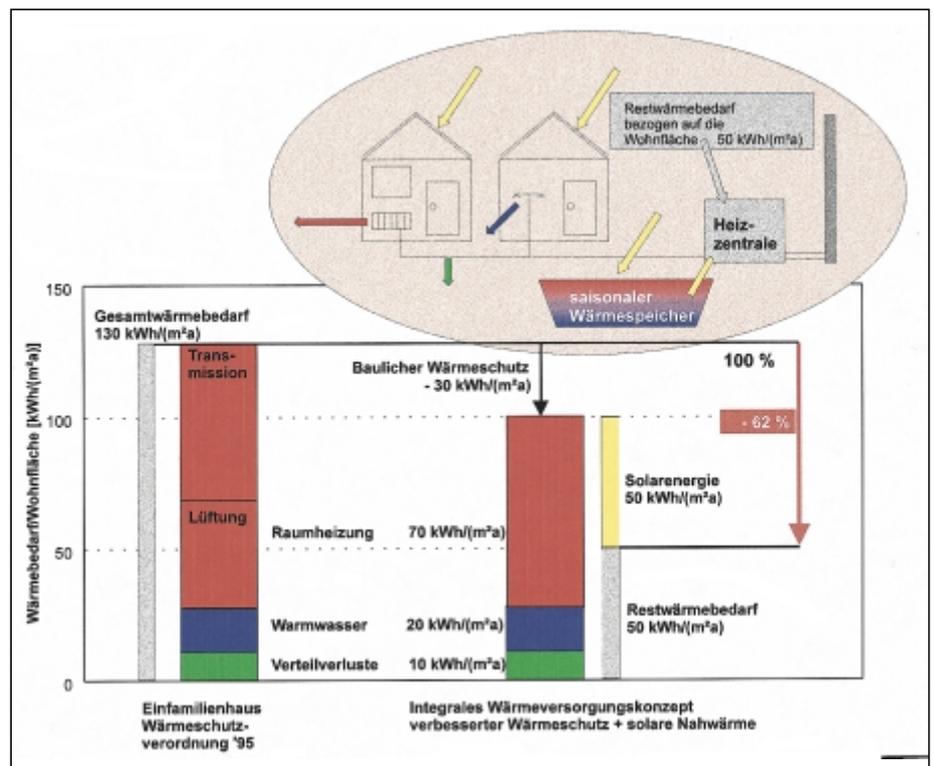
Sinnvoll ist die Verringerung des Transmissionswärmebedarfs durch Verbesserung der Wärmedämmung und Ver-

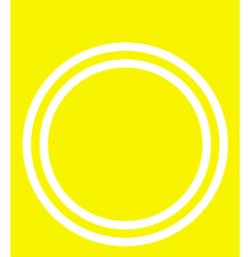
glasung bis zu einer Reduktion des Raumwärmebedarfs um etwa 30 % gegenüber dem Standard. Eine weitere Verbesserung des Wärmeschutzes führt dann aber zu Wärmekosten, die über den Wärmekosten für aktive Solartechnik liegen.

Werden Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung zur Reduktion des Lüftungswärmebedarfs eingesetzt, so ist auf eine hohe Rückwärmzahl und einen geringen Stromverbrauch der Ventilatoren zu achten. Die Wärmekosten solcher Lüftungsanlagen liegen mit 24 bis 33 Pf/kWh auf dem Niveau der Wärmekosten von solaren Nahwärmesystemen mit Kurzzeitwärmespeicher.

Die **Abbildung 12** verdeutlicht, daß ein integrales Energiekonzept, bei dem bauliche Maßnahmen und aktive Solarenergie miteinander kombiniert werden, sehr effektiv ist. In einem Einfamilienhaus nach Wärmeschutzverordnung 1995 müssen dann nur noch weniger als 40% fossile Energie eingesetzt werden; die Mehrkosten dieser Lösung liegen unter 10% der gesamten Baukosten.

Abbildung 12: Energieeinsparpotential von integralen Energiesystemen durch Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und durch aktiven Einsatz von Sonnenenergie.





11. Ausblick

Die im Betrieb befindlichen solaren Nahwärmesysteme zeigen, daß schon heute ein sehr hohes technisches Niveau erreicht ist. Die Hauptziele für die Zukunft liegen bei der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Gesamtsystemen. Besonders im Bereich der Kollektoren ist durch industrielle Vorfertigung von kompletten Kollektordächern in großen Serien eine enorme Kostenreduktion zu erwarten. Bei der saisonalen Wärmespeicherung besteht die Herausforderung in der Entwicklung und Erprobung von kostengünstigen Speicherkonzepten.

Ein weiteres Ziel ist die vollständige Substitution der zur Deckung des Rest-Energiebedarfs benötigten fossilen Brennstoffe durch nachhaltige Energieträger. Durch das Vorhandensein einer zentralen Heizungsstation bei solaren Nahwärmesystemen ist hier eine problemlose Einkoppelung zukünftiger Wärmeerzeuger möglich.

Solare Nahwärmesysteme erfordern integrales Planen vom Gebäudeentwurf bis zur Abrechnung des Wärmeverbrauchs. Die für die Umsetzung erforderlichen Organisationsstrukturen müssen standardmäßig bei neuen Siedlungen eingeplant werden.

12. Dank

Der Bau und die wissenschaftlichen Untersuchungen der beschriebenen solaren Großanlagen wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) finanziert. Das Projekt in Egenhausen (siehe Abbildung 10 und Tabelle 2) wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.

Literatur

- [1] Th. Pauschinger, E. Hahne
„Darf's ein bißchen mehr sein? – Solaranlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizung“, 7. Symp. Therm. Solarenergie (OTTI), Staffelstein (1997)
- [2] Guigas, M.
„Integration of Large-Scale Solar Heating Systems“, EU-APAS-Project RENA CT 94-0057, Steinbeis-TZ, Stuttgart
- [3] Kübler, M.N. Fisch
„Large scale solar heating with seasonal storage in Germany – status, new projects and future concepts“, North Sun '97, 7th Intl. Conf. on Solar Energy at High Latitudes, Espoo-Otaniemi, Finland (1997)
- [4] Küppers, N. Hirt, E. Hahne, R. Kübler, N. Fisch
„Heißwasser-Erdbeckenwärmespeicher in Rottweil“, VDI Bericht 1168, Energiespeicher für Strom, Wärme und Kälte, VDI-Verlag (1994)
- [5] M. Pfeil, H. Koch, E. Hahne
„Solaranlagen mit Langzeitwärmespeicher zur Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung“, 7. Symp. Therm. Solarenergie (OTTI), Staffelstein (1997)
- [6] Mahler, H. Rebholz, E. Hahne
„Ganzheitliche Energie- und Emissionsbilanzen von solaren Nahwärmesystemen mit Langzeit-Wärmespeicherung“, 7. Symp. Therm. Solarenergie (OTTI), Staffelstein (1997)
- [7] Lutz A., Hahne E.
„Kostenoptimale Kombination von solarer Nahwärme, rationeller Heiztechnik und verbessertem baulichen Wärmeschutz“, 9. Intl. Sonnenforum '94; Stuttgart (1994)
- [8] D. Mangold, T. Schmidt, K. Wachholz, E. Hahne
„Solar Meets Business: Comprehensive Energy Concepts for Rational Energy Use in the Most Cost Effective Way“, ISES Solar World Congress, Taejon, Korea, (1997)