

Heizen mit der Sonne – Zur Integration thermischer Solaranlagen in Großprojekte

Thorsten Urbaneck*, Ulrich Schirmer*, Peter Donat**

*Technische Universität Chemnitz
Professur Technische Thermodynamik, Projektgruppe SOLARTHERMIE 2000
09107 Chemnitz
Tel.: 0371/531-2463 und -2546, Fax: -2349
E-Mail: thorsten.urbaneck@mb3.tu-chemnitz.de
E-Mail: ulrich.schirmer@hrz.tu-chemnitz.de
Internet: <http://www.tu-chemnitz.de/mbv/SolTherm>
Internet: <http://www.solarthermie2000.de>

**Projektträger Jülich des BMBF und des BMWi
Außenstelle Berlin, Wallstraße 17-22, 10179 Berlin
Tel.: 030/ 20199-427; Fax: -470
E-Mail: p.donat@fz-juelich.de

Motivation

Die Integration von großen solarthermischen Anlagen stellt nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Ziel des Artikels soll die Beschreibung wichtiger Zusammenhänge und Erfahrungen sein, die für derartige Vorhaben relevant sind. Es sollen Möglichkeiten aufgezeigt und eine weitergehende Auseinandersetzung mit dieser Technik angeregt werden.

Die Energieumwandlung von fossilen Rohstoffen und die damit verbundenen Prozesse sind die Ursache vielfältiger sowie massiver Umweltschäden. Davon wird ein großer Anteil, ca. ein Drittel, durch Raumheizung (RH) und Warmwasserbereitung (WWB) verursacht. Im weiteren sollen nur diese Verbraucher betrachtet werden.

Das allgemeine Ziel besteht demzufolge in der Reduktion und Substitution dieser Energieumwandlungsprozesse. Nach heutiger Auffassung kann dieses anspruchsvolle Ziel nur in der Kombination vieler Maßnahmen erreicht werden. Folgende Philosophie steht hinter den Maßnahmen:

- (1) Verbrauch reduzieren (z.B. Wärmedämmmaßnahmen, moderne Wärmeerzeuger, Wärmerückgewinnung)

- (2) Substitution durch den Einsatz regenerativer Energiequellen mit geringerem Schadstoffausstoß in der Gesamtbilanz (z.B. Einsatz von Biomasse, passive Solarenergienutzung und Solarthermie als aktive Solarenergienutzung)

Weil diese Maßnahmen in vielen Fällen kostenintensiver mit progressivem Charakter sind, stellt sich die Frage: Welche Maßnahme oder welche Kombination von Maßnahmen ist die mit dem Kostenminimum, um die Umwandlung von fossiler Energie zu reduzieren bzw. substituieren. (Für typische Fälle wie z.B. solarthermische Vorwärmanlagen existieren statistisch abgesicherte Kostenverteilungen. Werden die Randbedingungen bzw. Versorgungssysteme komplexer, sind die Kostenschätzungen auf der Basis des Energiekonzeptes durchzuführen. Der Planungsaufwand in den Phasen 1 und 2 nach HOAI ist dann allgemein viel höher.) Dabei ist ein Ziel festzulegen. Zum Beispiel, wo liegt das Minimum der solaren Gestehungskosten für typische Anlage zu Brauchwassererwärmung ? Oder wie gestaltet sich eine effektive Substitution mit maximalen solaren Gestehungskosten von 0,25 EUR/kWh ?

Wir vertreten folgende Grundsätze:

- (1) Bei der Warmwasserbereitung sind im Vergleich zur Raumheizung keine Einsparpotentiale durch Wärmedämmung vorhanden, hier ist man auf eine alternative Quelle angewiesen.
- (2) Die Wärmedämmmaßnahmen im Bereich der Gebäudehülle sind bei der Raumheizung primär (Faustregel: 20 bis 30 % mehr als in der Wärmeschutzverordnung von 1995 gefordert). Über diesem Niveau ist der Einsatz von solarthermische Energie vorzuziehen.
- (3) Der Einsatz von Großanlagen (Absorberflächen größer 100 m²) wird angestrebt, weil sich über diesem Grenzwert Anlagen viel kostengünstiger errichten lassen. So sind bei der zentralen Wärmeversorgung mit großen Solaranlagen die solaren Wärmekosten um den Faktor 2 bis 3 niedriger als bei dezentralen Solaranlagen in Ein und Zweifamilienhäusern.

Prinzip und Konzepte

Im Mittelpunkt steht der Verbraucher (Abbildung 1). Er wird durch die Solaranlage (linke Seite) oder wenn die Solaranlage keine Energie liefern kann durch das konventionelle System (rechte Seite) versorgt.

Solaranlagen zur Wärmeversorgung von Warmwasserbereitung lassen sich wie folgt charakterisieren: Kollektoren übernehmen die Umwandlung der Solarstrahlung indem eine umgewälzte Flüssigkeit erwärmt wird. In vielen Fällen kann die thermische Energie nur zu einem kleinen Teil dem Verbraucher direkt zugeführt werden, weil oft anstehende Solarstrahlung und hoher Verbrauch zeitlich voneinander abweichen. In Abhängigkeit der Versorgungsaufgabe übernehmen ein oder mehrere Speicher die Erhaltung der Energie bis zu ihrer Anwendung.

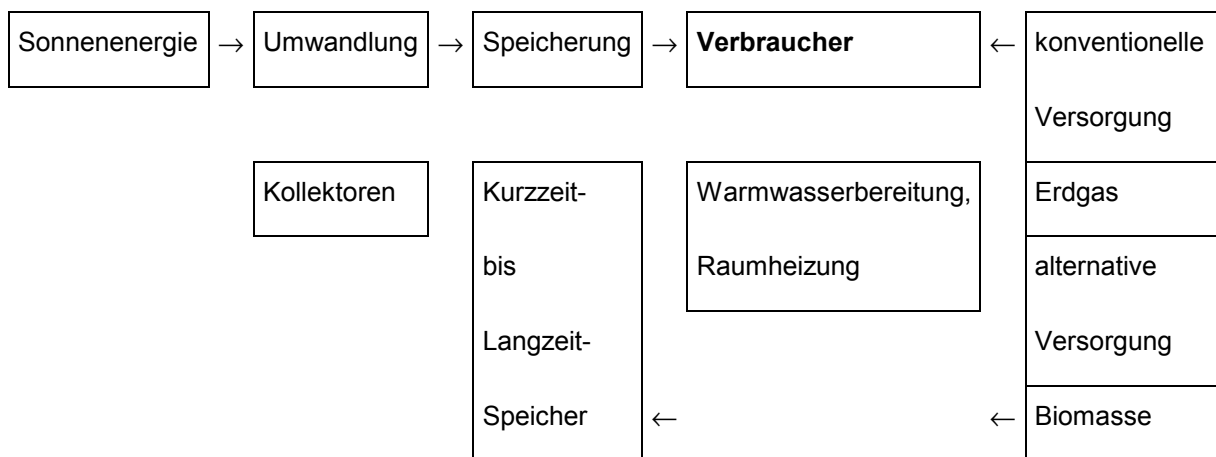


Abbildung 1: Schematische Darstellung des prinzipiellen Energieflusses bei solarthermischen Anlagen zur Wärmeversorgung (→ mit diesem Pfeil ist die Richtung des Energieflusses dargestellt)

Auf Grund der oben angesprochenen Strategie existieren verschiedene Anlagenklassen. Die Einteilung ist nicht normiert. Sie soll aber den Zusammenhang zwischen dem Konzept an der Anlagentechnik herstellen.

Von einer Anlage spricht man, wenn das Prinzip nach Abbildung 2 nahezu umgesetzt wird. Kommen mehrere Verbraucher, ein komplexes Wärmeverteilsystem oder

mehrere Kollektorfelder zum Einsatz, ist der Begriff System geeigneter (siehe auch [10]). Liegen die Anlagen im Bereich von ca. 100 bis 500 m² Kollektorfläche, so haben Systeme einen Bereich von 500 bis 20000 m² Kollektorfläche.

Tabelle 1: Typische Anlagen und Systeme

Typen	Einsatzgebiet	solarer Deckungsanteil	Bemerkungen
Vorwärmanlage	ausschließlich WWB für Einzelobjekte (z.B. Alterswohnheime)	20 ... 30 % am Warmwasserbedarf	niedrige solare Gesteungskosten
Anlage mit höherem solarem Deckungsanteil	vorwiegend WWB, optional teilsolare RH	40 ... 60 % am Warmwasserbedarf	
solares Nahwärmesystem mit Kurzzeitspeicher	WWB und RH	10 ... 20 % am Gesamtbedarf	niedrige solare Gesteungskosten
solares Nahwärmesystem mit Langzeitspeicher	WWB und RH, z.B. Siedlungen mit mehr als 100 Wohneinheiten	40 ... 60 % am Gesamtbedarf	hohe Substitution

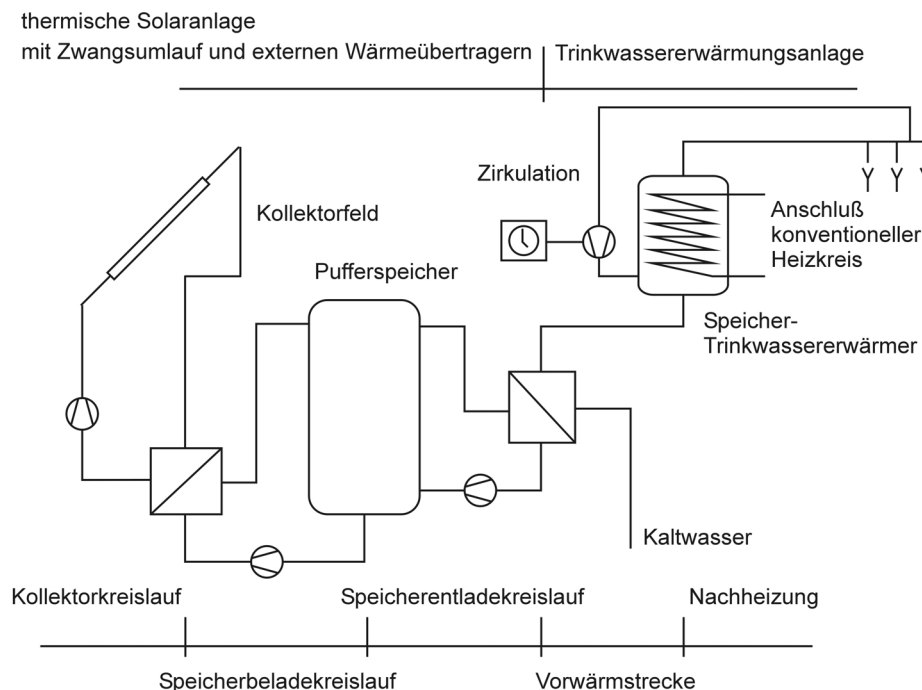


Abbildung 2: Schema einer Vorwärmanlage

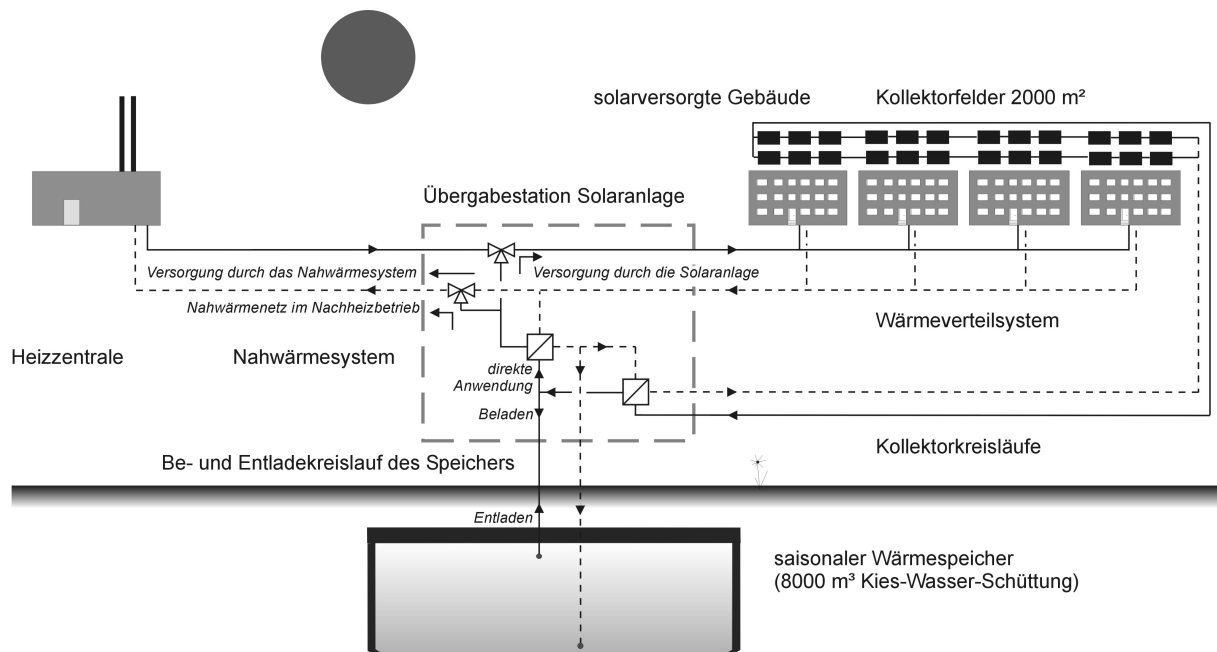


Abbildung 3: Schema eines solaren Nahwärmesystems mit Langzeitspeicher, ursprüngliches Konzept für das solar unterstützte Nahwärmesystem im Chemnitzer solarisPark, [1], [2], [5], [6]

Schnittstellen

Die oben erläuterte Technik kann nicht losgelöst eingesetzt werden. Die Integration dieser Technik ist notwendig und anspruchsvoll. Der Anspruch besteht heute und zum großen Teil in der Lösung der zusätzlichen Schnittstellenaufgaben im Planungs- und Bauprozess. Dieser steigt mit zunehmender Komplexität der Anlage (vergleiche Tabelle 1). Tabelle 2 soll zeigen, wie vielfältig die Integration sein kann. Unter dem Punkt Technische Gebäudeausrüstung sind die wichtigsten Voraussetzungen für den Einsatz aufgeführt. Diese Voraussetzungen stellen gleichzeitig das Prüfkriterium für den Einsatz von Solartechnik dar.

Tabelle 2: Übersicht zu den häufigsten Schnittstellen für ein solares Nahwärmesystem

Technische Gebäudeausrüstung	Bau	Organisation
sanierete Warmwasserbereitung	Aufständerrung oder	Finanzierung, Förderung

	Dachintegration der Kollektoren, Neubau oder Sanierung (Architektur und Tragwerksplanung)	
Raumheizung mit niedrigen Rücklauftemperaturen	Bebauungsplan (frühzeitige Berücksichtigung der Wärmeversorgung)	Betreiber bzw. Betreibermodelle
Wärmeversorgungsnetz mit niedrigen Rücklauftemperaturen	Tiefbau und Geologie bei Langzeitspeichern	Lieferverträge und Grundlasten
Kommunikation / Gebäudeleittechnik	Raum für das Wärmeversorgungssystem mit Zentrale	wissenschaftlich-technische Unterstützung und Überwachung

Solar- und Speichertechnik

Solaranlagen oder -systeme bestehen aus vielen Komponenten. Um einen Überblick zum Stand der Technik zu geben, sollen die von der Integration betroffenen Funktionseinheiten kurz vorgestellt werden. Es ist unumgänglich auf weiterführende Literatur oder Informationen im Internet zu verweisen (siehe bitte Quellenangabe), da der Umfang der Informationen sehr groß ist.

Vom Konzept her muß eine Empfangsfläche für die solare Strahlung zur Verfügung gestellt werden. Kollektoren [11] mit den unterschiedlichsten Bauformen und Aufständigungs- bzw. Montagearten bieten dem Planenden eine Vielzahl von Möglichkeiten, wobei diese durch die örtlichen Randbedingungen (z.B. Fläche, Dachtyp bzw. -aufbau) oft eingeschränkt werden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht zu Integrationsmöglichkeiten von Flach- und Vakuum-Röhrenkollektoren

Flachkollektoren		
Ort	Mögliche Ausführungen	Bemerkungen
Flachdächer	Aufständigung mit Unterkonstruktion	Dachfläche statisch nicht ausreichend belastbar, [9]
	Aufständigung mit beschwerenden Elementen	Dachfläche statisch ausreichend belastbar, kostenminimaler als Variante mit Unterkonstruktion, [9]
geneigte Dächer	Aufdachmontage	ungünstig bei großen Anlagen

	Indachmontage	Ersatz der Dacheindeckung, viele Schnittstellen
	Solardach (Dach und Kollektor sind eine vorgefertigte Funktionseinheit)	Weiterentwicklung der Indachmontage, Ersatz der Dacheindeckung
Fassade	Fassadenintegration	Sinken der solaren Erträge auf Grund der Position
Freiland	Aufständigung mit beschwerenden Elementen	in der BRD zu hohe Bodenpreise, oft in Skandinavien angewandt
Vakuum-Röhrenkollektoren		
Flachdach	Aufständigung mit beschwerenden Elementen	Dachfläche statisch ausreichend belastbar, kostenminimaler als Variante mit Unterkonstruktion, [9]
	Aufständigung mit Unterkonstruktion	Dachfläche statisch nicht ausreichend belastbar, dann vorzugsweise Flachkollektoren, [9]
geneigte Dächer	Aufdachmontage	abhängig von den Randbedingungen
Fassade	Fassadenintegration	besser als Flachkollektor wegen Ausrichtung der Absorberbleche



Abbildung 4: Flachdachaufständigung, solar unterstützte Brauchwassererwärmung (Vorwärmanlage), Studentenwohnheim „Joh.-R.-Becher“ in Leipzig, 398 m²

Kollektorfläche, 2 Pufferspeicher a 10000 l (Kurzzeit-Speicher, Stahltank), bisher beste Ertragssituation der sächsischen Anlagen im Forschungs- und Demonstrationsprogramm Solarthermie 2000 mit 618 kWh/m² und Jahr, modulares Konzept der Kollektorfelder einschließlich der Unterkonstruktion, Vorfertigung am Boden



Abbildung 5: Flachdachaufständerung mit beschwerenden Elementen, solar unterstütztes Brauchwassererwärmung Stadtbad Chemnitz, 289 m² Kollektorfläche, Versorgung des 22000 l Warmwasserspeichers (Hochspeicher) und des 25 m und 50 m Schwimmbeckens (Schwallwasser), kein separater Solarspeicher notwendig, Beschränkung der Kollektorfläche aus Denkmalschutzgründen



Abbildung 6: Dachintegrierte Kollektoren solar unterstützte Brauchwassererwärmung, Städtisches Altenpflegeheim „M. A. Nexö“ in Leipzig, 294 m² Kollektorfläche, 14000 l Kurzzeit-Speicher (Stahltank), Foto: Thomas Freitag



Abbildung 7: Solardach (solar roof), solares Nahwärmesystem Hamburg-Bramfeld, 3000 m² Kollektorfläche, 4500 m³ Heißwasser-Speicher, ca. 123 Wohnungseinheiten



Abbildung 8: Freilandaufständerung, solar unterstütztes Nahwärmesystem Marstall (Dänemark), 8000 m² Kollektorfläche (Anlage befindet sich im Ausbau), 2100 m³ oberirdischer Heißwasser-Speicher, 1997, Einbindung in Nahwärmeversorgung von Marstall



Abbildung 9: Montage von auf der Dachfläche aufgelegten Vakuum-Röhrenkollektoren, kostenminimale Unterkonstruktion aus Brettschichtholz, solar unterstütztes Nahwärmesystem solarisPark [1], [2], [6], [7], [8]



Abbildung 10: Fassadenintegration von Vakuum-Röhrenkollektoren, solar unterstützte Brauchwassererwärmung Studentenwohnheim in Chemnitz, 100 m² Kollektorfläche, 7000 l Kurzzeit-Speicher (Stahltank), sehr gutes Beispiel für die Nutzung der Kollektoren als gestalterisches Element, wegen mangelhafter Abstimmung im Vorfeld aus energetischer Sicht nicht optimal am Baukörper platziert

Die Prinzipien zur Speicherung von thermischer Energie sind für die in Tabelle 4 aufgeführten Speicher gleich. Sie werden direkt, über den Austausch eines Fluides, oder indirekt, mit dem Wärmeübergang be- oder entladen. Weiterhin unterscheiden sich die Speicher in der möglichen Speicherdauer auf Grund ihrer relativen Größe

zur Be- und Entladewärmemenge, im Ort, in den möglichen realisierbaren Volumina, in der Isolation und natürlich im Speichermedium.

Die Speicherbauform wird in Abhängigkeit von den Randbedingungen und vom Anlagentyp gewählt. Jede Speicherbauform hat spezielle Vorteile.

Tabelle 4: Übersicht zu Kurz- und Langzeitwärmespeichern

Typ und Speichermedium	Dauer		Ort			Volumen in m³	thermisch isoliert	Voraussetzungen
	Kurzzeit	Langzeit	im Gebäude	oberirdisch	unterirdisch			
Stahltank (Heißwasser)	*	(*)	*	*	(*)	0,1 bis (100)	*	
GFK-Speicher (Heißwasser)	*	*	(*)	*	(*)	1 bis 3000	*	
Heißwasser-Beton-Speicher		*			*	500 bis 20000	*	kein Grundwasser
Kies-Wasser-Speicher		*			*	4000 bis (20000)	*	kein Grundwasser
Erdsonden-Speicher (Erdreich)		*			*	ab 10000	(*)	kein Grundwasser, geeignete Geologie
Aquifer-Speicher (Erdreich)		*			*	ab 20000		geeignete Geologie

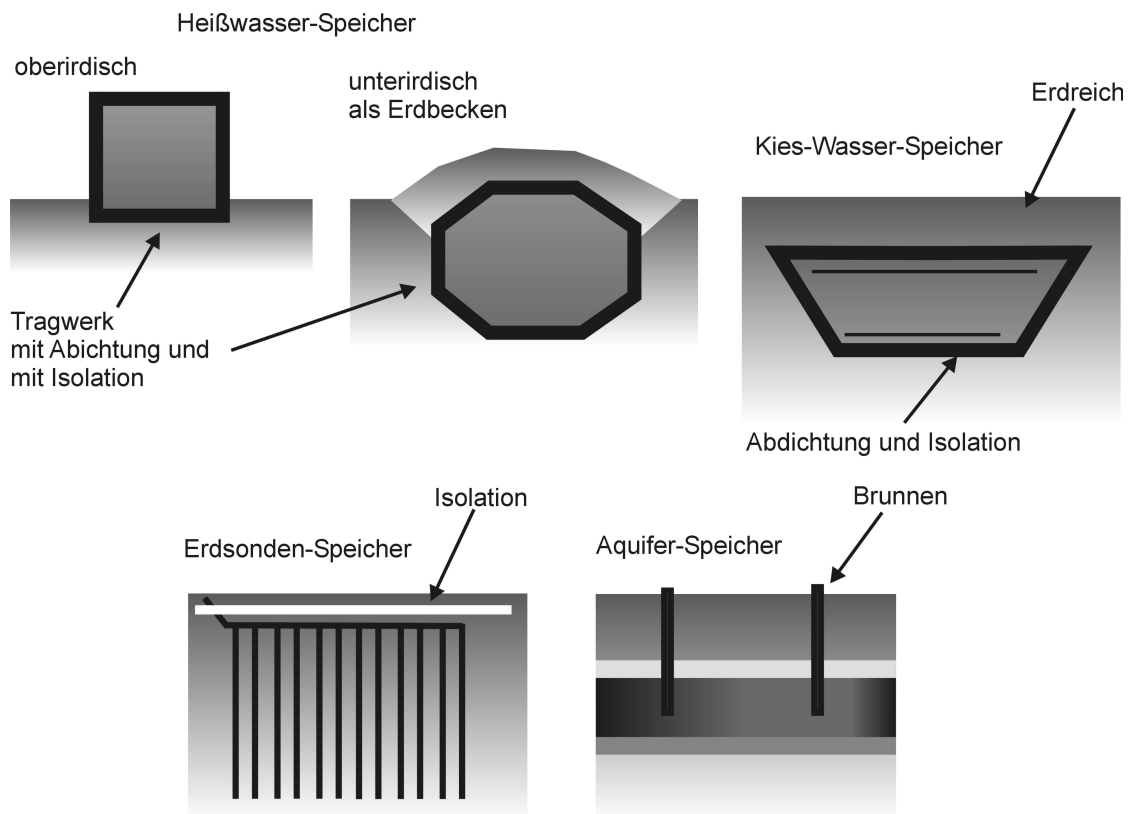


Abbildung 11: Schematische Darstellung zu den Bauformen der Langzeitwärmespeichern



Abbildung 12: 2750 m³ Heißwasser-Speicher, solarunterstütztes Nahwärmesystem Hannover-Kronsberg, 1350 m² Kollektorfläche, ca. 106 Wohneinheiten, Foto: Michael Bodemann



Abbildung 13: 8000 m³ Kies-Wasser-Speicher, solar unterstütztes Nahwärmesystem im Chemnitzer solarisPark, Baugrube mit isolierten Seitenwänden, Einbau der Dichtschicht (PE-HD-Folie), [1], [2], [5], [6], [7]

Probleme

Im folgenden sollen die Probleme analysiert werden, die wir in den letzten Jahren beobachtet haben.

- (1) Mehrkosten: Bei diesen Anlagen ist eine hohe finanzielle Investition notwendig. Die betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten sind sehr gering im Vergleich zur Investitionssumme. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren intensive und erfolgreiche Anstrengungen unternommen, die Kosten, insbesondere für Kollektor- und Speichertechnik, zu senken. Dennoch können aktuelle Kosten zwischen 0,10 und 0,30 EUR/kWh solarer Wärme bei rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten noch nicht mit konventionellen Anlagen konkurrieren. (Mit der Durchführung von Pilotprojekten, z.B. innerhalb von Solarthermie 2000, wurden die theoretisch angenommenen Grenzkosten nachgewiesen. Es handelt sich hier um abgesicherte Werte [1], [2].) In

Abhängigkeit der potentiellen finanziellen Kraft einer Region läßt sich ein Nord-Süd- und Ost-West-Gefälle erkennen. So sind in Baden-Württemberg, Thüringen und Sachsen die Anzahl von errichteten Großanlagen höher. Die finanzielle Förderung spielt auch in absehbarer Zeit eine wichtige Rolle (Bund, EU, Land).

- (2) Ist ein finanzieller Spielraum in einem Projekt vorhanden, so wird dieser von Seiten des Bauherren und Architekten für andere Zwecke verwendet. Die Fassade ist beispielsweise oft wichtiger.
- (3) Zu später Einbezug eines Energiekonzeptes bzw. der Spezialisten (TGA-Planer, betreuende Einrichtung wie z.B. Universität) in das Entwicklungs- oder Bauvorhaben. Mit der Folge, daß wichtige Voraussetzungen nicht gegeben sind. Dann stehen oft die Kosten für eine Integration nicht im Verhältnis zum Ertrag. Weiterhin fehlt auch die Zeit für eine entsprechende Konzepte und die Antragstellung für eine Förderung.

Fazit

Die Schlußfolgerungen aus vorangegangener Darstellung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Solartechnik kann einen aktiven Betrag zur Substitution fossiler Energieträger leisten.
- (2) Konzepte, Verfahren, Produkte sind entwickelt und funktionieren.
- (3) Die Umsetzungsphase tritt immer mehr in den Vordergrund.
- (4) Interdisziplinäre Vorhaben erfordern eine enge Kooperation aller Beteiligten.
- (5) Zeitlichen Vorlauf für derartige Vorhaben einplanen.
- (6) Technische und organisatorische Problem lassen sich meist lösen bzw. sind oft vermeidbar.
- (7) Frühzeitig sollten Spezialisten hinzugezogen werden.
- (8) Die meßtechnische Überwachung im Rahmen von Solarthermie 2000 erwies sich als äußerst wichtiges Instrument bei Inbetriebnahme und Betrieb.
- (9) Öffentlichkeitsarbeit ist wichtig.

Neue Förderkonzepte des Bundes

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert im Rahmen des 4. Energieforschungsprogramms mit der Fördermaßnahme Solarthermie 2000 seit 1994 ausgewählte Pilot- und Demonstrationsvorhaben zur thermischen Solarenergienutzung im Niedertemperaturbereich mit Großanlagen. Bisher wurde die Planung und Errichtung von bundesweit ca. 60 großen (mit minimal 100 m² aktiver Absorberfläche) Solaranlagen mit Kurzzeitspeicher modellhaft gefördert und diese Anlagen in einem mehrjährigen wissenschaftlichen Meßprogramm zum Nachweis der solaren Ertragsgarantie durch begleitende Hochschulen einem Feldtest unterzogen.

Gleichzeitig wurden bisher acht große solare Nahwärmesysteme mit saisonaler Wärmespeicherung nach verschiedenen Speichertechnologien gefördert.

Die bisherigen Ergebnisse sind im Internet unter www.solarthermie2000.de [2] abrufbar.

Die bisherige Förderung konzentrierte sich dabei vor allem auf die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, d.h. Senkung der solaren Nutzwärmekosten durch Orientierung der Auslegung auf Vorwärmesysteme mit ca. 30% solaren Deckungsanteil am Warmwasserverbrauch sowie auf die Senkung der Speicherkosten bei solar unterstützten Nahwärmesystemen mit saisonaler Speicherung.

Das Kostenziel, die solaren Nutzwärmekosten solarer Warmwassersysteme dabei auf unter 0,13 EUR/kWh (ohne Förderung) inklusive Planung und MWSt. zu senken, wurde erreicht und konnte in günstigen Fällen auf unter 0,10 EUR/kWh nachgewiesen werden. Die Wärmekosten solarer Nahwärmesysteme mit saisonaler Speicherung betragen abhängig von Anlagengröße und Speicherkonzept zwischen 0,20 bis 0,35 EUR/kWh.

Mit der neuen Fördermaßnahme „Solarthermie2000+“ soll dieser langfristige Förderschwerpunkt fortgesetzt werden und sich künftig auf neue Themenfelder bzw. die Vertiefung noch nicht abgeschlossener Arbeiten konzentrieren.

Zielrichtung ist dabei, daß die thermische Solarenergienutzung künftig einen deutlich höheren Beitrag am Gesamtwärmeenergieverbrauch decken muß, d.h. Solaranlagen als sogenannte Kombianlagen verstärkt zur Heizungsunterstützung dienen. Wobei zu berücksichtigen ist, daß Gebäude nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. mit Niedrigenergiehausstandard vor allem in der Übergangszeit, in der die Solaranlagen noch einen nennenswerten Anteil beitragen könnten immer weniger Heizwärmebedarf benötigen! Hier sind technisch und wirtschaftlich abgestimmte Konzepte zwischen passiver und aktiver Solarenergienutzung erforderlich.

Künftige Förderschwerpunkte sind vor allem:

- (1) solarunterstützte WWB- und Heizungssysteme für Gebäude und Wohnsiedlungen mit Wochen- bzw. Monatsspeichern für solare Deckungsanteile von 15 bis 35 % am Gesamtwärmebedarf
- (2) Integration von Solarsystemen in Nahwärmenetze
- (3) Entwicklung und Erprobung neuer kostengünstiger Speicherkonzepte für die zentrale Kurz-, Mittel- und Langzeitspeicherung
- (4) Neue Anwendungsbereiche für Solarthermie wie zur solar unterstützten Klimatisierung von Gebäuden und zur Erzeugung industrieller Prozeßwärme im Niedertemperaturbereich
- (5) Kombination von Solarthermie mit anderen Wärmequellen (Biomasse, Abwärme etc.) durch zentrale Wärmespeicherung

Ausblick

Die steigende Zahl der verkauften Kollektorfläche bei den Kleinanlagen und die steigende Anzahl bei den Großanlagen in den letzten fünf Jahren ist der Nachweis für die Realisierbarkeit dieser Technik. Dennoch sind Förder- und Forschungsvorhaben zur weiteren Entwicklung und Umsetzung wichtig.

Das Ziel besteht immer noch in der Kostensenkung und dem Nachweis der Funktion.

Der Schwerpunkt der Produktentwicklung liegt beim Einsatz neuer Werkstoffe und Konstruktionen (z.B. Kollektorkonstruktion aus Glas von der Firma Schott, neue Beschichtungsverfahren von Absorberblechen) d.h. vorwiegend im Detailbereich.

Quellen

- [1] <http://www.tu-chemnitz.de/mbv/SolTherm>
- [2] <http://solarthermie2000.de>
- [3] <http://www.fz-juelich.de/ptj/>
- [4] <http://www.bmwi.de/>
- [5] Status-Seminar "Solarunterstützte Nahwärmeversorgung"; Solar unterstützte Nahwärmeversorgung - Pilotanlage SOLARIS Chemnitz Statusbericht '98; Schirmer, U.; Urbaneck, T.; Tagungsband, S. 134-140, Neckarsulm
- [6] Eurosun 2000; Kopenhagen; Central solar heating plant with gravel water storage in Chemnitz (Germany); Urbaneck, T.; Schirmer, U.; Tagungsbeitrag
- [7] Elfte Symposium "Thermische Solarenergie", Staffelstein, 09. bis 11.05.2001, "Solar unterstütztes Nahwärmesystem im Chemnitzer "solarisPark - Erste Betriebserfahrungen"; Urbaneck, T.; Schirmer, U.; Tagungsbeitrag
- [8] Erneuerbare Energie; "Sicherheitstechnische Ausrüstung von großen thermischen Solaranlagen - Eine neue Lösung für den Stagnationsfall"; Urbaneck, T.; Göring, J.; H. 10, S. 50 - 52
- [9] "Tragkonstruktionen für Solaranlagen - Planungshandbuch zur Aufständigung von Solarkollektoren", Reinhard Erfurth, Peter Wienke, Matthias Lugenheim, Matthias Tanneberger, Susann Töpfer, Joachim Thäle, Thomas Delzer, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnaus, Jens Göring, Ulrich Schirmer, Thorsten Urbaneck; Solarpraxis Supernova AG; Berlin; 2001; ISBN 3-934595-11-1
- [10] „Solare Nahwärme – Ein Leitfaden für die Praxis“: ein Informationspaket, Hahne, E. et. al.; Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH.; 1998; ISBN 3-8249-0470-5
- [11] „Thermische Solaranlagen: Grundlagen, Planung und Auslegung“: Khartchenko, N. V.; Springer; 1995; ISBN 3-540-58300-9

[12] Langzeiterfahrungen mit thermischen Solaranlagen: Peuser, F. J.; Croy, R.; Schuhmacher, J.; Weiß, R.; Eigenveröffentlichung der ZfS Rationale Energietechnik GmbH; Hilden; 1997

Dank

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Forschung und Technologie bzw. des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie innerhalb des Forschungs- und Demonstrationsprogramms Solarthermie 2000 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Besonderer Dank gilt auch dem Projektträger PTJ für die Unterstützung des Vorhabens.