

Solares Heizen – Wärmeversorgung für Alt- und Neubauten

1. Forschungsbedarf

Thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung sowie Kombianlagen, die der solaren Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung dienen, sind heute im Bereich der Einfamilienhäuser Stand der Technik. Bei größeren Kombianlagen besteht hingegen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf: bei Fragen des Systemkonzepts, der Integration der Solaranlage in das konventionelle Heizungssystem sowie der Anlagenregelung. Große Kombianlagen weisen zudem in den Sommermonaten längere Stillstandszeiten auf, da in der Zeit des größten solaren Angebots nur der Wärmebedarf für das Trinkwasser gedeckt werden muss. Hier sind Maßnahmen erforderlich, um Schäden durch sich ausbreitenden Wärmeträgerdampf wirkungsvoll zu verhindern. Durch den antizyklischen Verlauf von solarem Angebot und Wärmebedarf für die Gebäudebeheizung sind neuartige Speicherkonzepte gefragt, die zu einer effizienteren Speicherung der solar gewonnenen Wärme führen. Einen anderen Weg gehen solar unterstützte Wärmepumpensysteme, die in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnen.

2. Große solare Kombianlagen

Aus Sicht des Klimaschutzes ist eine weite Verbreitung großer solarer Kombianlagen (Anlagen mit mehr als 100 m² Kollektorfläche) zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung dringend notwendig. Im Jahr 2007 wurde das vom BMU geförderte Verbundprojekt „Systemuntersuchungen großer solarthermischer Kombianlagen“ erfolgreich abgeschlossen, an dem ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT), Fraunhofer ISE und das ISFH beteiligt waren (siehe auch <http://solarkombianlagen-xl.info>).

2.1 Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden von ZfS und SWT durch die Vermessung von sechs bestehenden Anlagen in Verbindung mit Simulationsrechnungen Stärken und Schwächen der Anlagen bzw. Anlagenkonzepte aufgedeckt [3]. Die Ergebnisse zeigen, dass bei großen Kombianlagen noch Planungsunsicherheiten bestehen und dass viele Anlagen hydraulisch schlecht und oft auch zu komplex aufgebaut sind. Eine unnötige Komplexität erhöht oft die Kosten und die Gefahr von Systemfehlern. Offene Fragen bestehen vor allem beim Zusammenspiel von konventionellem Heizungsteil und solarer Wärmeversorgung, wie z. B. die Beeinflussung des Kesselnutzungsgrads durch die Solaranlage durch vermehrten Teillastbetrieb.

2.2 Beherrschung des Stillstandsverhaltens

Viele Solaranlagen, insbesondere solche zur Heizungsunterstützung, sind so dimensioniert, dass im Sommerbetrieb ein Wärmeüberschuss vorhanden ist. Bei vollständig beladenem Wärmespeicher schaltet die Solarpumpe ab, was dazu führt, dass sich die sonnenbestrahlten Kollektoren immer weiter aufheizen. Bei fortdauernder Solarstrahlung verdampft das Wärmeträgerfluid. Abhängig von der hydraulischen Ausführung der Kollektoren und des Kollektorkreises kann sich heißer Dampf über weite Strecken ausbreiten. Dies kann zur vorzeitigen Alterung oder Beschädigung temperaturempfindlicher Komponenten (z. B. Membranausdehnungsgefäß oder Solarkreispumpe) führen; unter Umständen wird auch das Fluid selbst zu stark thermisch belastet.

Innerhalb des Verbundprojektes haben Fraunhofer ISE und ISFH Maßnahmen zur Beherrschung des Stillstandsbetriebs entwickelt [4] und [5]. Hierzu ist zunächst vor allem das Verständnis der Vorgänge während der Stagnation durch umfangreiche Experimente an Einzelkollektoren, Test-Kollektorfeldern und realen Anlagen ent-

Dr. Jörn Scheuren
ISFH
j.scheuren@isfh.de

Matthias Rommel
Fraunhofer ISE
matthias.rommel@ise.fraunhofer.de

Harald Drück
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
drucek@itw.uni-stuttgart.de

Elke Streicher
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
streicher@itw.uni-stuttgart.de

Wolfgang Schölkopf
ZAE Bayern
schoelkopf@muc.zae-bayern.de

Dr. Andreas Hauer
ZAE Bayern
hauer@muc.zae-bayern.de

scheidend verbessert worden. Als geeignete Maßnahme für einen gefahrlosen Stagnationsbetrieb hat sich eine optimierte interne und externe Kollektor- und Kollektorfeldverschaltung herausgestellt. In schwierigen Fällen können auch Regelungsstrategien oder die Integration von Kühlkörpern die temperaturempfindlichen Komponenten vor Stagnationsschäden schützen.

2.3 Einsatz fassadenintegrierter Kollektoren

Die Integration von thermischen Kollektoren in die Fassade ist besonders interessant für Systeme mit hohen solaren Deckungsanteilen, weil der jahreszeitliche Verlauf der Einstrahlung in der Kollektorebene dem der Heizlast besser angepasst ist, und zudem wesentlich seltener Stillstandsbetrieb auftritt als bei dachinstallierten Kollektoren.

Wenn der Kollektor zusätzlich die Funktion der Gebäudehülle übernimmt, ermöglicht diese Doppelnutzung wichtige Potenziale zur Kostensenkung. Des Weiteren bewirkt der Kollektor, wenn er ohne thermische Trennung (Hinterlüftung) integriert wird, im Jahresmittel eine effektive Reduzierung der Wärmeverluste der Gebäudehülle, da sich der Absorber im Winter auch bei schwacher Solarstrahlung, die keinen Kollektorbetrieb ermöglicht, über Umgebungstemperatur erwärmt. Zudem kann der Kollektor als Gestaltungselement eingesetzt werden, auch und gerade in der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes.

Schon im Jahr 2002 wurde am ISFH in einem vom BMWi geförderten Projekt die Fassadenintegration von Kollektormodulen mit wärmedämmenden Formteilen untersucht [6] (*Abbildung 1, links*). Am Fraunhofer ISE wird zurzeit an der Entwicklung eines Fassadenkollektors gearbeitet, der neben der reinen Kollektorfunktion auch einen winkelselektiven Sonnenschutz bietet (*Abbildung 1, rechts*). Er stellt also ein multifunktionales Fassadenelement dar.

3. Neuartige Speicherkonzepte

Ein wichtiger Entwicklungsschritt für eine verstärkte Nutzung der thermischen Solarenergie zur Gebäudebeheizung mit hohen solaren Deckungsanteilen ist eine verbesserte Wärmespeicherung [1]. Die folgenden Punkte zeigen einen kurzen Überblick über die derzeitigen Forschungsaktivitäten für verbesserte Speicherkonzepte:

3.1 Innovative Warmwasserspeicher

Obwohl der technische Entwicklungsstand der Warmwasserspeicher bereits relativ hoch ist, bietet diese Technik für die solare Heizungsunterstützung mit hohen Deckungsanteilen noch ein großes Entwicklungspotenzial. Zu erforschende Kostensenkungspotenziale sind

- die Verwendung günstiger Materialien
- modulare Bauweise
- eine Reduzierung der Wärmeverluste
- eine Verbesserung der thermischen Be- und Entladung

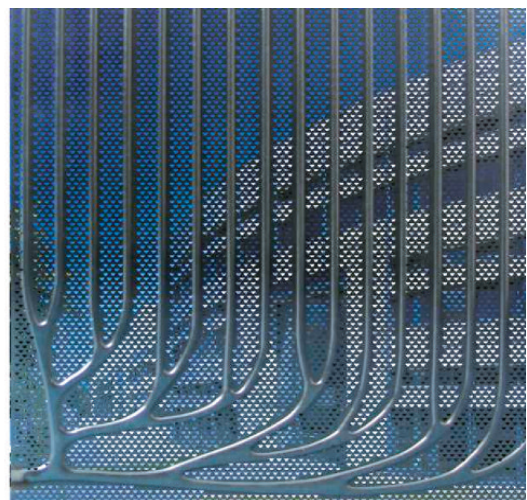
Abbildung 1

Links: Testfassade mit integrierten Kollektormodulen am ISFH

Foto: ISFH

Rechts: Fotomontage eines teiltransparenten Solarkollektors mit Sonnenschutzfunktion

Quelle: Fraunhofer ISE



- verbesserte regelungstechnische Einbindung in das Heizungssystem
- die Integration von Phasenwechselmaterialien (PCM: Phase Change Materials) in Warmwasserspeicher.

Sowohl in der Altbausanierung als auch im Neubau ist die Gebäudeintegration großer Speichervolumina problematisch. Im Gebäudebestand verhindern in vielen Fällen Türen und Treppen das Einbringen größerer Behälter. Hier können z. B. modulare Speicherkonzepte eine Lösung bieten. Möglich ist auch der Einsatz von erdvergrabenen Warmwasserspeichern in unmittelbarer Nähe des Gebäudes.

3.2 Langzeitwärmespeicher

Langzeitwärmespeicher bieten die Möglichkeit, die im Sommer gewonnene solare Wärme in den Wintermonaten zu nutzen. Da mit zunehmender Speichergroße die volumenspezifischen Wärmeverluste des Speichers abnehmen, werden Langzeitwärmespeicher zumeist für die Versorgung von Wohnsiedlungen in Nahwärmenetzen eingesetzt. Für diese Anwendungen bewegen sich die Speichergrößen meist im Bereich zwischen 1.000 und 10.000 m³. Hierbei handelt es um Speicher mit dem Entwicklungsstand von Pilot- und Forschungsobjekten. Die systemtechnische Einbindung der Großspeicher in ein Nahwärmenetz mit zahlreichen Verbrauchern und das Erreichen niedrigen Netzzrücklauf-temperaturen sind dabei immer noch ein Herausforderung.

Aktuelles Beispiel eines solaren Nahwärmenetzes mit saisonalem Wärmespeicher ist das Neubaugebiet „Am Ackermannbogen“ am Olympiapark München [2]. Das System mit drei großen Kollektorfeldern (2760 m²), einem saisonalen Erdbeckenspeicher (6000 m³) und einer mit Fernwärme angetriebenen Absorptionswärmepumpe wurde im Frühjahr 2007 in Betrieb genommen. Planungsziel ist ein solarer Deckungsanteil von 50 % für Heizung, Trinkwarmwasser und Netzverluste. Das Projekt wird seitdem vom ZAE Bayern in einer zweijährigen Monitoringphase wissenschaftlich begleitet.

3.3 Wärmespeicherung in Phasenwechselmaterialien (PCM)

Phasenwechselmaterialien zur Speicherung von latenter Wärme sind seit geraumer Zeit Gegenstand der Forschung. Einige Materialien haben Marktreife erlangt und werden für unterschiedliche Einsatzzwecke kommerziell angeboten.

Neben der großen Energiedichte der latenten Wärmespeicherung ist das Temperaturniveau, bei dem sich der Phasenwechsel vollzieht, für technische Anwendungen interessant. Nachteilig gegenüber dem Speichermedium Wasser sind höhere Investitionskosten und die Schwierigkeit des Wärmetransports, hervorgerufen durch die geringere Wärmeleitfähigkeit der Materialien.

3.4 Physikalisch-chemische Wärmespeicher

Generell können drei Mechanismen zur physikalisch-chemischen Energiespeicherung unterschieden werden: Adsorption, Absorption und chemische Reaktion. Allen gemeinsam ist die Wärmefreisetzung bei der Entladung des Speichers durch einen exothermen Reaktionsschritt. Durch die Zufuhr solarthermisch erzeugter Wärme, in der Regel auf einem höheren Temperaturniveau als bei der Wärmefreisetzung, wird der Reaktionsschritt umgekehrt und der Speicher wieder beladen.

Die physikalisch-chemische Energiespeicherung zeichnet sich durch eine hohe volumenspezifische Energiedichte aus. Zusätzlich bietet sie die Möglichkeit einer weitgehend verlustfreien Speicherung über längere Zeiträume. Sie ist derzeit jedoch von den untersuchten Speicherungsverfahren noch am weitesten von der Marktreife entfernt.

4. Solar unterstützte Wärmepumpensysteme

Ein gänzlich anderes Konzept solaren Heizens verfolgen solare Wärmepumpensysteme, die in den letzten Jahren das Augenmerk auf sich ziehen. Die Integration von Sonnenkollektoren kann zu einer Steigerung der Jahresarbeitszahlen gegenüber herkömmlichen Wärmepumpensystemen und damit zu einer Einsparung an elektrischer Energie führen [7], [8], [9].

Abbildung 2
Schema des SOLAERA-Wärmepumpensystems (links) und Hybridkollektor mit Luftwärmetauscher (rechts)

Grafik: ISFH

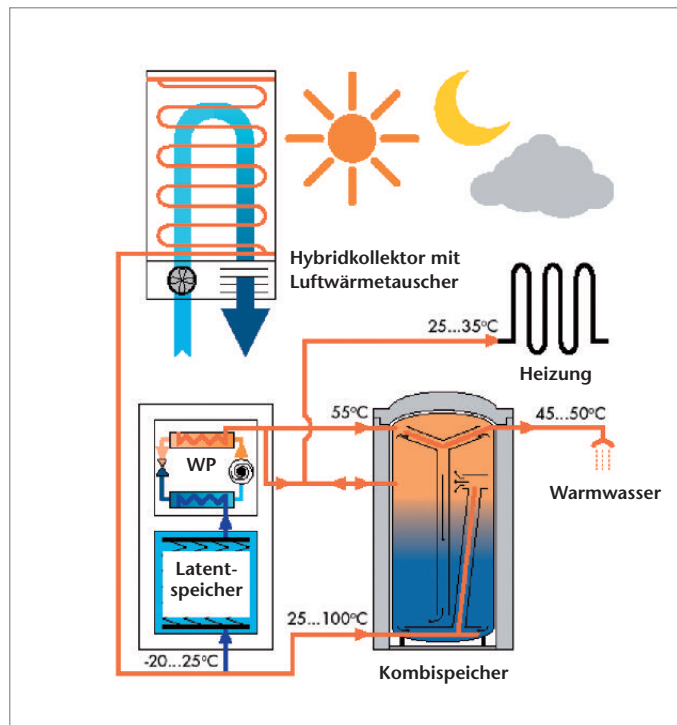
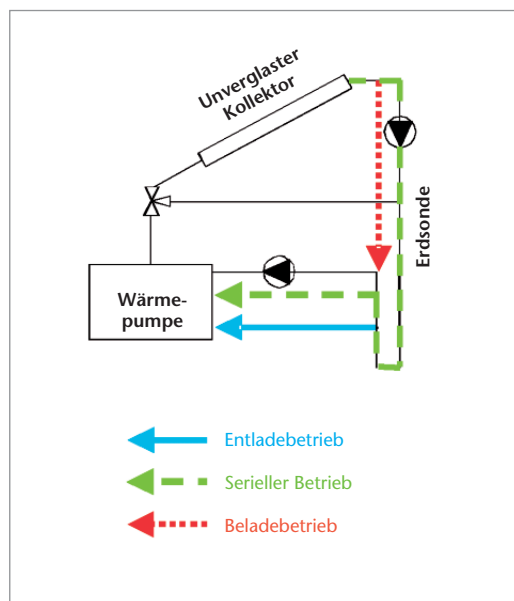


Abbildung 3
Systemkonzept zur Einbindung unverglaster Kollektoren in Wärmepumpensysteme

Grafik: ISFH



4.1 SOLAERA-Konzept

Beispielhaft sei hier das SOLAERA-Konzept der Firma Consolar genannt, dessen Entwicklung vom ITW und vom Fraunhofer ISE begleitet wurde [8]. Das System besteht aus einem neuartigen Hybridkollektor, einer Sole/Wasser-Wärmepumpe, einem Wasser-Eis-Speicher und einem Kombischichtenspeicher. Die Besonder-

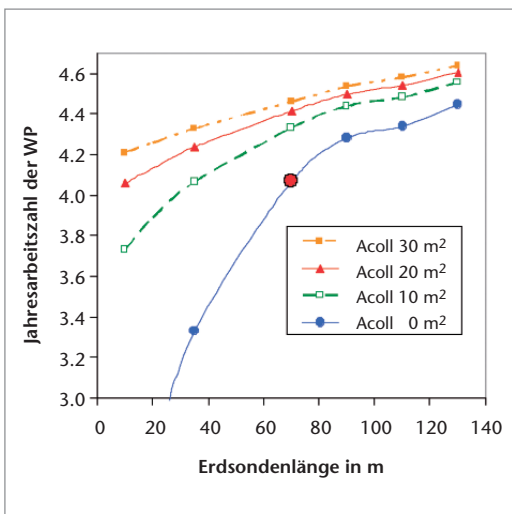
heit des von Consolar mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) entwickelten Systems besteht darin, dass auf den Einsatz von Erdsonden komplett verzichtet wird. Der Hybridkollektor mit Luftwärmeübertrager nutzt statt dessen neben der Solarstrahlung auch die Umgebungswärme als Wärmequelle und versorgt so die Wärmepumpe mit Niedertemperaturwärme (Abbildung 2).

4.2 Konzept mit unverglasten Metalldachkollektoren

Ein anderes Systemkonzept wurde am ISFH im Rahmen eines DBU-Projektes untersucht, das 2008 abgeschlossen wurde [9]. In Kooperation mit der Firma Rheinzink wurden Wärmepumpensysteme mit Erdsonde und unverglastem Sonnenkollektor vermessen und durch Simulationsrechnungen mit der Transsolar-Software nachgebildet. Das bewusst einfach und robust gewählte Systemkonzept ist in *Abbildung 3* dargestellt.

In konventionellen Wärmepumpensystemen kühlt das Erdreich als Wärmequelle durch den andauernden Wärmeentzug stark aus, und die Wärmequellentemperaturen sinken in der Heizperiode auf 0 °C oder darunter ab. Für die

Einbindung von Sonnenkollektoren ergibt sich somit der günstige Umstand, dass häufig ein Betrieb unterhalb der Umgebungstemperatur (oder nur leicht darüber) möglich ist. Durch einen guten konvektiven Wärmeübergang weisen in diesen Betriebspunkten insbesondere unverglaste Kollektoren hohe Wirkungsgrade auf. Der Kollektor dient als Wärmequelle sowohl für die Wärmepumpe (WP) als auch für die Erdsonde, deren Temperaturniveau auf diese Weise erhöht wird.



Simulationen dieses solaren Wärmepumpensystems für ein Einfamilienhaus zeigen eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl (JAZ) gegenüber einem konventionell ausgelegten System, oder aber eine mögliche Verkürzung der Erdsonden bei gleichbleibender JAZ (Abbildung 4). Darüber hinaus erhöht sich in einem System mit Kollektor die Planungssicherheit erheblich. Ausgehend vom Auslegungspunkt eines konventionellen Systems (roter Punkt) führen Unsicherheiten in den Randbedingungen der Auslegung (Wärmelast, Leitfähigkeit des Erdreichs, usw.) im ungünstigen Fall zu einem „Abrutschen“ der JAZ und somit auch zu einem extremen Auskühlen des Erdreichs. Der flache JAZ-Verlauf der Systeme mit Kollektor verhindert dies.

100-prozentige solare Deckung

Im Nachfolgeprojekt, das vom BMU gefördert wird, untersucht das ISFH die Kopplung von Wärmepumpen und unverglasten photovoltaisch-thermischen Kollektormodulen (PVT-Kol-

lektoren), die sowohl Niedertemperaturwärme als auch Strom liefern. Die Wärme steht zusammen mit der Erdwärme einer Erdsonde der Wärmequellenseite einer Wärmepumpe zur Verfügung, über das die Wärmeversorgung von Gebäuden sichergestellt wird. Die PVT-Kollektoren liefern also über zwei Pfade Energie an die Wärmepumpe, nämlich sowohl Wärme für die Quellenseite als auch (indirekt) den Strom für den Kompressor. Zudem wird durch die Kühlung der PV-Module der Ertrag an elektrischer Energie gesteigert. Im Projekt soll gezeigt werden, dass es mit diesem integrierten System möglich ist, ein Gebäude zu 100 % mit solar erzeugter Wärme für Heizung und Trinkwasser zu versorgen.

Literatur

- [1] H. Drück, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie. S. 104–109. Bad Staffelstein. 2004.
- [2] J. M. Kuckelkorn, C. Brandt, W. Dallmayer, M. Reuß, M. Schmidt, W. Schölkopf, C. Schweigler: Solare Nahwärme Am Ackermannbogen (SNAB), München. Solares Nahwärmesystem mit saisonalem Wärmespeicher und Heißwasser-Absorptionswärmepumpe. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. S. 592–597. Bad Staffelstein. 2008.
- [3] A. Schenke, H. Drück, R. Croy, H. P. Wirth: Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung. Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben. Förderkennzeichen 0329268B. 2007.
- [4] M. Rommel, T. Siems, K. Schüle, S. Mehnert, C. Thoma, J. Steinmetz: Erkenntnisse zum Stagnationsverhalten von Solaranlagen. Tagungsband zum 16. Symposium Thermische Solarenergie. S. 538–543. Bad Staffelstein. 2006.

Abbildung 4
Jahresarbeitszahlen für verschiedene Kollektorflächen und Erdsondenlängen. Der rote Punkt markiert ein konventionell ausgelegtes Wärmepumpensystem

Grafik: ISFH

- [5] J. Scheuren, W. Eisenmann: Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter großer thermischer Solaranlagen. Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben. Förderkennzeichen 0329268A. 2007.

- [6] S. Janßen, G. Rockendorf, M. Zwerger, A. Kilian, S. Fintelman: Fassadenintegration von thermischen Kollektormodulen mit wärmedämmenden Formteilen. Tagungsband zum 12. Symposium Thermische Solarenergie. S. 152–156. Bad Staffelstein. 2002.

- [7] S. Bachmann, H. Drück, H. Müller-Steinhagen: Solarthermie und Wärmepumpe – Vorstellung verschiedener Konzepte für solare Kombianlagen. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. S. 194–198. Bad Staffelstein. 2008.

- [8] U. Leibfried, F. Klinger, M. Mulyo: Die Sonne als Hauptlieferant der Heizung. Von der Vision zur Realität. Tagungsband zum 17. Symposium Thermische Solarenergie. S. 88–90. Bad Staffelstein. 2007.

- [9] E. Bertram, J. Glembin, J. Scheuren, G. Zienterra: Unverglaste Sonnenkollektoren in Wärmepumpensystemen: Betriebserfahrung und Dimensionierung. S. 212–217. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. Bad Staffelstein. 2008.