

Verbesserte Speicherkonzepte für solare Gebäude und Niedrigenergie-Häuser

Ein Überblick über die Arbeiten der IEA-SHC Task 32

H. Kerskes, H. Drück, H. Müller-Steinhagen
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart
Tel.: 0711/685-3536, Fax: 0711/685-3503
email: kerskes@itw.uni-stuttgart.de

1 Einleitung

Das Hauptanwendungsgebiet der thermischen Solarenergie ist meist die solare Trinkwassererwärmung und zunehmend die solare Gebäudebeheizung im Ein- und Mehrfamilienhaus. Besonders bei der solaren Gebäudebeheizung stehen große Potenziale zur Verfügung, die mit angemessenem Aufwand erschlossen werden können. Ein Rückblick auf die vergangenen 5 Jahre macht deutlich, dass besonders in diesem Bereich große Fortschritte erreicht wurden. Voraussetzung hierfür waren unter anderem erfolgreiche Forschungsarbeiten wie beispielsweise das deutsche „Kombianlagen-Projekt“ [1] oder die Task 26 „Solar Combi Systems“ der internationalen Energie Agentur (IEA) [2].

Ein wichtiger Entwicklungsschwerpunkt für eine verstärkte Nutzung der thermischen Solarenergie zur Gebäudebeheizung mit hohem Deckungsanteil ist eine verbesserte Wärmespeicherung. Aus diesem Grund wurde 2003 unter maßgeblicher Beteiligung des ITW von der IEA die Task 32 „Advanced storage concepts for solar houses and low energy buildings“ gegründet [3]. Die Arbeiten werden voraussichtlich 2007 beendet sein. Insgesamt beteiligen sich 32 Wissenschaftler und Industriepartner aus 8 Nationen an den Arbeiten. Nachfolgend werden die Arbeiten und erste Ergebnisse der Task 32 zusammengefasst und ein Überblick über die vielfältigen Aktivitäten auf dem Gebiet der solaren Wärmespeicherung gegeben.

2 Organisation und Struktur der Task

Das Arbeitsprogramm der Task ist in vier Schwerpunkte gegliedert. Ein übergeordneter Arbeitspunkt (Subtask A) nimmt eine Bewertung und Beurteilung der unterschiedlichen Speicherkonzepte vor. In detaillierten Simulationsstudien werden die thermische Leistungsfähigkeiten der verschiedenen Systeme miteinander verglichen. Um hierfür geeignete Referenzbedingungen zu schaffen, wurden die bereits in der IEA Task 26 erarbeiteten Modelle erweitert. Insgesamt stehen nun vier Referenzgebäude mit einem Heizwärmebedarf zwischen $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zur Verfügung. Die ebenfalls aus der Task 26 hervorgegangene FSC'-Methode (Fractional Solar Consumption) zur Charakterisierung der Systemeffizienz wurde für die Arbeit

in der Task 32 um die Berücksichtigung von Langzeitwärmespeicherung und Kühllasten erweitert. Im Rahmen der Task 32 wird die Methode mit TRNSYS-Simulationsergebnissen aus den einzelnen Forschungsprojekten validiert werden.

Aufgabe der Subtask A ist weiterhin die Verbreitung der Ergebnisse der Task32. Als erstes Ergebnis ist ein Buch erschienen, in dem ein detaillierter Überblick über den Stand der solarthermischen Wärmespeicherung gegeben wird [4].

3 Forschungsschwerpunkte

Drei weitere Arbeitsschwerpunkte gliedern sich nach der Art der Wärmespeicherung bzw. des verwendeten Speichermediums: physikalisch-chemische Speicher (Subtask B), Wärmespeicherung in Phasenwechselmaterialien (Subtask C) und verbesserte Warmwasserspeicher (Subtask D). Der Grad der Realisierung ist innerhalb der Forschungsschwerpunkte sehr unterschiedlich. Er reicht von ersten Ideen und prüfenden Laborversuchen (physikalisch-chemische Speicher) über die Realisierung von Prototypen (physikalisch-chemische Speicher, Phasenwechselmaterialien) bis hin zur Entwicklung seriennaher Produkte (Phasenwechselmaterialien, Warmwasserspeicher). Nachfolgend werden die drei Forschungsschwerpunkte genauer vorgestellt.

3.1 Physikalisch-chemische Wärmespeicher

Die physikalisch-chemische Wärmespeicherung bietet große Potenziale bezüglich einer auf das Speichervolumen bezogenen hohen Energiedichte. Sie ist derzeit jedoch von den untersuchten Speicherverfahren noch am weitesten von einer Marktreife entfernt. Generell können drei Mechanismen zur Energiespeicherung unterschieden werden: Adsorption, Absorption und chemische Reaktion. Allen gemeinsam ist die Wärmefreisetzung bei der Entladung des Speichers durch einen exothermen Reaktionsschritt. Durch Wärmezufuhr, in der Regel auf einem höheren Temperaturniveau als bei der Wärmefreisetzung, wird der Reaktionsschritt umgekehrt und so der Speicher beladen.

Am schwedischen „Solar Energy Research Center“ (SERC) in Borlänge wird in Zusammenarbeit mit der Firma Climate Well eine Absorptionswärmepumpe entwickelt, die unter Ausnutzung der drei Aggregatzustände eine hohe Speicherkapazität von ca. 330 kWh/m^3 bezogen auf das Arbeitsmittelvolumen erreicht [5]. Es bestehen bereits mehrere Prototypen, die derzeit unter realen Einsatzbedingungen vermessen werden.

Sorptive Speicherverfahren werden in der Schweiz, in Österreich und in Deutschland untersucht. Alle Verfahren nutzen die bei der Adsorption von Wasserdampf an porösen Adsorbentien freiwerdende Adsorptionenthalpie als Wärmequelle.

Von der AEE-INTEC [6] wird ein Sorptionsspeicher weiterentwickelt und betrieben, der als Adsorptionswärmepumpe arbeitet. Zur Vereinfachung des Systems und zur Kosten- und Platzersparnis sind die notwendigen Bauteile (Adsorber, Verdampfer und Kondensator) in einem gemeinsamen Behälter untergebracht. Das gesamte System ist evakuiert, so dass während der Heizungsperiode Wasser bei niedrigen Temperaturen durch die von einem Kollektorfeld zur Verfügung gestellte Wärme verdampft werden kann. Als Adsorbens wird Silikagel eingesetzt, an dem der entstehende Wasserdampf adsorbiert. Die Adsorptionstemperatur ist deutlich höher als die Verdampfungstemperatur, so dass der resultierende Temperaturhub für die Raumheizung ausgenutzt werden kann. In den Sommermonaten wird das Adsorbens durch Wärmezufuhr vom Kollektorfeld wieder regeneriert. Nachdem das Verfahren im Labor erfolgreich getestet wurde, werden derzeit erste Erfahrungen im realen Einsatz an einer Pilotanlage gesammelt.

Am ITW, Universität Stuttgart, wird ein offener Sorptionsspeicher entwickelt, der als saisonaler Wärmespeicher eine konventionelle Kombianlage ergänzt [7]. Als Feuchte-Lieferant wird die feuchte Abluft des Raumes verwendet. In Verbindung mit einer kontrollierten Lüftung des Gebäudes durchströmt die feuchte Abluft zunächst den Sorptionsspeicher bevor sie dem Wärmeübertrager der Wärmerückgewinnung zugeführt wird. Die bei der Durchströmung frei werdende Wärme führt zu einer Temperaturerhöhung, so dass die Luft nun mit einer deutlich höheren Temperatur in den Wärmeübertrager eintritt. Der erwärmte Abluftstrom überträgt die Wärme an die angesaugte, kalte Frischluft. Die angesaugte Frischluft wird auf Temperaturen deutlich oberhalb der Raumtemperatur erwärmt und kann für die Gebäudebeheizung genutzt werden. Nachdem der Speicher in den Wintermonaten mit Feuchtigkeit beladen wurde, erfolgt die Desorption des Speichers mit der „Überschusswärme“ der Kombianlage in den Sommermonaten, wenn lediglich Wärme zur Trinkwassererwärmung benötigt wird.

3.2 Wärmespeicherung in Phasenwechselmaterialien (PCM)

Phasenwechselmaterialien zur Speicherung von latenter Wärme sind in den letzten Jahren verstärkt Gegenstand der Forschung. Einige Materialien haben Marktreife erlangt und werden für unterschiedliche Einsatzzwecke kommerziell angeboten.

In einem Latentwärmespeicher wird zusätzlich zur „fühlbaren“ Wärme die Umwandlungsenthalpie beim Phasenwechsel nutzbar gemacht. Beim Erstarren eines Stoffes steht neben der sensiblen Wärme auch die Enthalpie des Phasenwechsels zur Verfügung. Die Schmelzenthalpie ist in den hier betrachteten Anwendungen in der Regel deutlich größer als die sensible Wärme. Durch Wärmezufuhr kann der Prozess rückgängig gemacht, das heißt, das Phasenwechselmaterial wieder geschmolzen werden. Neben der großen Energiedichte, die die latente

Wärmespeicherung bietet, ist das Temperaturniveau bei der sich der Phasenwechsel vollzieht, für technische Anwendungen interessant. Nachteilig gegenüber dem Speichermedium Wasser sind höhere Investitionskosten und die Schwierigkeit des Wärmetransports, hervorgerufen durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Materialien. Fünf Forschungsvorhaben zur Wärmespeicherung in PCM werden im Rahmen der Task 32 bearbeitet.

Kommerziell stehen Paraffine mit Phasenwechseltemperaturen von etwa 30 bis ca. 80°C zur Verfügung und decken damit in Bezug auf den Einsatz in Wärmespeichern für die Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung den technisch interessanten Bereich ab. An der Hochschule in Yverdon les Braines (Schweiz) werden experimentelle Parameterstudien für den Einsatz von PCM in solaren Kombisystemen durchgeführt.

An der Universität in Lleida, Spanien [8] wird die Einbettung einer Grafitmatrix in das PCM zur Verbesserung des Wärmetransport untersucht, mit der Zielsetzung die verfügbare Leistung bei der Trinkwassererwärmung zu erhöhen.

Am ITW wird untersucht, welche Vorteile durch eine Kombination von Wasser und PCM-Speichermaterialien erzielbar sind. Hierzu ist vorgesehen einen modifizierten Warmwasserspeicher mit PCM gefüllten Kugeln zu beschicken. Zusätzlich soll ein numerischem rechenmodell zur Beschreibung des Thermischen Verhaltens eines derartigen Speichers entwickelt werden.

Die Auswirkungen durch die Erhöhung der Speicherkapazität in einem definierten Temperaturbereich auf das Betriebsverhalten von fossilbefeuerten Heizkesseln wurden am Institut für Wärmetechnik (IWT) der TU Graz (Österreich) [9] untersucht. Durch die Kapazitätsvergrößerung werden längere Brennerlaufzeiten und damit geringeres Takten der Heizkessel erreicht, was sich positiv auf den Schadstoffausstoß auswirkt. Verschiedene kunststoffumhüllte PCM-Materialien wurden für diesen Einsatzzweck in einem Warmwasserspeicher untersucht.

Eine weitere interessante Möglichkeit, die thermische Kapazität von Warmwasserspeichern zu erhöhen, ist der Einsatz sogenannter PCM-Slurries. Slurries sind pumpfähige Gemische aus mikroverkapselten PCM (gefüllte Polymerkugeln, Durchmesser 5 - 10 μm) und Wasser. Typische Konzentrationen enthalten 20 bis 50 Vol.-% Feststoffanteil. Bei den am IWT durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, dass mit einer 50%igen Mischung eine ca. 1,7-fach höhere Kapazität gegenüber reinem Wasser erreicht wird. Mit steigender PCM-Konzentration nimmt jedoch die Viskosität zu und es resultiert ein schlechterer Wärmeübergang.

Das Phänomen der Unterkühlung(super cooling) wird am Department of Civil Engineering der

Technischen Universität Dänemarks (DTU) gezielt als Möglichkeit der Langzeitwärmespeicherung untersucht [10]. In Simulationsstudien konnte gezeigt werden, dass unter Verwendung von PCM, die eine stabile Unterkühlung bis nahe der Umgebungstemperatur ermöglichen, eine Langzeitwärmespeicherung mit sehr geringen Wärmeverlusten erreicht werden kann.

Begleitet werden die oben genannten experimentellen Untersuchungen durch Simulationsstudien mit neuentwickelten numerischen Modellen zur detaillierten Beschreibung des Phasenwechsels. Im Rahmen der Task 32 arbeiteten die beteiligten Arbeitsgruppen an der gemeinsamen Entwicklung eines Modells für das Simulationsprogramm TRNSYS.

3.3 Innovative Warmwasserspeicher

Obwohl der technische Entwicklungsstand der Warmwasserspeicher bereits relativ hoch ist, bietet diese Technik für die solare Heizungsunterstützung mit hohen Deckungsanteilen immer noch ein hohes Entwicklungspotenzial [11]. In der Subtask D beschäftigen sich vier Teams mit ausgewählten Themen zur weiteren Effizienzsteigerung von Warmwasserspeichern. Hierbei stehen Kostensenkung durch Verwendung günstiger Materialien, modulare Bauweise, Verbesserung der Be- und Entladeeinrichtungen, verbesserte regelungstechnische Einbindung in das Heizungssystem, sowie die Integration von Phasenwechselmaterialien in Warmwasserspeicher im Vordergrund.

Drucklose Kunststoffspeicher stellen eine Möglichkeit dar, große Warmwasserspeicher (mehrere Kubikmeter) kostengünstig in eine Kombianlage zu integrieren. Als ein weiteres Projekt im Rahmen dieser Subtask wird eine Pilotanlage mit einem drucklosen 2 m^3 Kunststoffspeicher in einem Wohnhaus realisiert und vom ITW meßtechnisch untersucht werden. Darauf aufbauend sollen dann entsprechende Anlagen mit einem deutlich größeren Speichervolumen realisiert werden. Die Universität Kassel bringt ein neues Forschungsvorhaben zur „Entwicklung kompakter Be- und Entladestationen in Modulbauweise für große Kombispeicher“ in die Arbeit der Task 32 ein. Moderne Entwicklungswerkzeuge wie CFD (Computational Fluid Dynamics) und Particle Image Velocimetry (PIV) werden eingesetzt, um die Vorgänge im Speicher besser zu verstehen und bieten die Möglichkeit, die Wirkung einzelner Komponenten (z.B. Schichtbeladeeinrichtungen) genauer zu untersuchen und zu verbessern. Sowohl an der DTU [12] wie auch am ITW [13] wird auf diesem Gebiet intensiv geforscht.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Kombination bzw. Integration von PCM-Materialien in Warmwasserspeichern. Hierzu werden bereits Arbeiten an der Universität in Lleida durchgeführt

[14]. Ein neues Forschungsvorhaben am ITW in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner wird sich mit der Entwicklung und experimentellen Erprobung eines solchen Speichers beschäftigen (siehe auch Subtask C).

Die Arbeiten innerhalb der Task 32 sind so zahlreich, dass sie in diesem Betrag nur sehr verkürzt wiedergegeben werden konnten. Die nachfolgenden Referenzen helfen die gegebenen Informationen zu ergänzen.

Literatur

- [1] H. Kerskes, W. Heidemann und H. Müller-Steinhagen. *Kombianlagen - Ein nationales Projekt für Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Raumheizung*. Tagungsband zum elften Symposium Thermische Solarenergie, S. 242 – 246, 2001. Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg, ISBN 3-934681-14-X.
- [2] W. Weiss. *Solar Heating Systems for Houses - A Design Handbook for Solar Combi Systems*. James and James, London, 2003. ISBN 1902916468.
- [3] Homepage der IEA Task 32. <http://www.baseconsultants.com/IEA32/>.
- [4] J.C. Hardon (Hrsg.). *Thermal energy storage for solar and low energy buildings*. www.iea-shc.org Task 32, June 2005. ISBN 84-8409-877-X.
- [5] C. Bales, F. Setterwall und G. Bolin. *Development of the Thermo Chemical Accumulator*. Proceedings Eurosun, 2004. ISBN 3-9809656-0-0.
- [6] G. Gartler, D. Jähnig, G. Purkarthofer und W. Wagner. *Development of a High Energy Density Sorption Storage System*. Proceedings Eurosun, 2004. ISBN 3-9809656-0-0.
- [7] H.Kerskes, W.Heidemann und H.Müller-Steinhagen. *MonoSorp*. Tagungsband zum zwölften Symposium Thermische Solarenergie, 2004. Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg, ISBN.
- [8] L.F. Cabeza, B. Zalba, J.M. Marín und H Mehling. *PCM-graphite matrix in flat plate encapsulates for low temperature applications*. 9th International Congress on Thermal Energy Storage (Futurestock), 2003.
- [9] <http://www.iwt.tugraz.at>.
- [10] J. Schultz. *Heat of fusion storage systems for combined solar systems in low energy buildings*. Proceedings Eurosun, S. 638–646, 2004. ISBN: 3-9809656-1-9.
- [11] H. Drück und H. Müller-Steinhagen. *Advanced Storage Concepts for Solar Combisystems*. Proceedings Eurosun, 2004. ISBN 3-9809656-0-0.
- [12] Andersen. *Investigations of solar combi systems*. ISES Solar world congress, Orlando, Florida, USA, 2005. ISBN: 0-89553-177-1.
- [13] M. Hampel, H. Drück und H. Müller-Steinhagen. *Solar-thermal goes CFD - An introduction of CFD and PIV into solar-thermal R&D*. Proceedings estec, Freiburg, Germany, 2005.
- [14] H. Mehling, L.F. Cabeza, S. Hippeli und S. Hiebler. *PCM-module to improve hot water heat stores with stratification*. Renewable Energy, **28**, 699–711, 2003.