KOMBINATION VON LATENTWÄRMESPEICHERN MIT SOLARTHERMIE

Corinna Leonhardt und Dirk Müller
RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Email: cleonhardt@eonerc.rwth-aachen.de

KURZFASSUNG

Im Bereich der Raumkühlung sind Latentwärmespeicher (LWS) bereits in aktiver und passiver Anwendung fest vertreten. Gerade der Einsatz von Paraffin oder Salzhydrat als Phasenwechselmaterial bietet die Möglichkeit den Einsatz der Latentwärmespeicher zu erweitern und diese auch als Wärmespeicher in modernen Heizsystemen zu integrieren.
Die Vorlauftemperatur eines modernen Gebäudeheizungssystems beträgt ca. 35 °C. Damit diese geringe Temperatur effizient genutzt werden kann, muss das herkömmliche Heizspeichersystem überarbeitet werden. Eine Möglichkeit der effizienten Nutzung der zur Verfügung gestellten Energie ist durch das Einbinden eines Latentwärmespeichers in das Heizungssystem gegeben. Das Arbeitsprinzip eines LWS ist der Phasenwechsel. Es können während der Phasenänderung des Latentwärmespeichermaterials bei kleinen Temperaturänderungen große Energiemengen gespeichert werden. D.h. durch das Einbinden eines Latentwärmespeichers in das Heizungssystem kann eine effiziente Nutzung der zur Verfügung gestellten Energie erreicht werden, indem z.B. die Speicherverluste aufgrund der niedrigen Speichertemperaturen gesenkt werden können.
Gerade beim Einsatz von Solarthermie kann durch die Verwendung eines LWS die vorhandene Energie effizienter genutzt werden und in der Übergangszeit Frühjahr und Herbst kann durch die niedrigen benötigten Vorlauftemperaturen des Heizungssystems ein Beitrag zur Heizungsunterstützung geleistet werden.
Mit Hilfe von Gesamtsystemsimulationen wird die Kombination von LWS und Solarthermie betrachtet und ausgewertet.

ABSTRACT

Modern heating systems for buildings need a supply temperature of approximately 35°C. In order to use such supply temperatures efficiently, the standard heat storage systems must be redesigned. The integration of a latent heat storage system in a modern heating system ought to enhance the overall system performance.
The combination of a latent heat storage model with a solar heating system and dynamic building simulation models provides a closed simulation model to study major influences on the overall system performance.

EINLEITUNG

In dieser Arbeit wird mit Hilfe von ersten Simulationen ermittelt, wie sich für ein Standardsystem (Kessel und Solarthermie) die Integration eines Latentwärmespeichers im Vergleich zum Warmwasserspeicher auswirkt. Hierfür wird ein Gesamtsystem, welches aus einem Gebäude und Solarthermieanlage besteht, thermohydraulisch untersucht.
Die verwendete Modellierungssprache ist Modelica. Für die thermo- hydraulische Simulation des Gebäudes kann auf die im Institut für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen entwickelten Bibliotheken zurückgegriffen werden. Die *Building Bibliothek* enthält zum Beispiel verschiedene Wände, Fenster und Türen. In der *HVAC Bibliothek* sind Rohrleitungen, Pumpen, Radiatoren und viele weitere Komponenten, die für die Gebäudesimulation benötigt werden, hinterlegt.
Der im Fokus des Projektes stehende modellierte Latentwärmespeicher besteht aus mehreren einzelnen Platten, die umströmt werden. Die einzelnen Speichermatten können bei Bedarf in zwei Richtungen diskretisiert werden. Weiterhin ist es möglich unterschiedliche Phasenwechselmaterialen einzusetzen, um für die jeweilige Anwendung das optimale Paraffin oder Salzhydrat zu finden.
Das Solarthermiemodell soll zunächst wirkungsgradbasiert abgebildet werden und später durch ein detailliertes Modell ersetzt werden.

SOLARTHERMIE

Über das Jahr verteilt schwankt das Solarangebot.

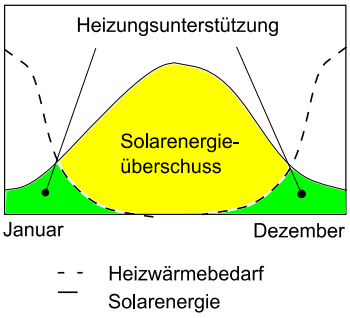

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Solarenergie und des Heizwärmebedarf für ein Jahr

Abbildung 1 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen dem Solarangebot und dem, für das Heizen, benötigten Wärmebedarf. Die in den Übergangsmonaten (März bis Mai und August bis November) und darüber hinaus vorhandene Solarenergie kann zur Heizungsunterstützung verwendet werden. Hier stellt gerade die Kombination mit einem Latentwärmespeicher und den niedrigen Vorlauftemperaturen (35 °C) einer modernen Heizungsanlage eine aussichtsreiche Anwendung dar.

Solarthermiemodell

Der simulierte Solarkollektor ist zunächst optimal für die Heizungsunterstützung ausgerichtet, d.h. er ist südlich orientiert und besitzt eine Neigung von 60 ° - für eine überwiegende Sommernutzung und Trinkwarmwasserbereitung müsste entsprechend eine Neigung von 30 ° gewählt werden, um die Solarenergie optimal zu nutzen. Das Kollektormodell wird mit Hilfe der Wirkungsgradgleichung abgebildet. Der Kollektorwirkungsgrad wird beschrieben durch Gleichung (1) und ist abhängig von der Eintritt- und Austrittstemperatur des Kollektors, der Außentemperatur, der Sonneneinstrahlung und der Sonnenposition.

$$\eta = \eta_0 \cdot K_\theta - \frac{a_1 \cdot (t_m - t_a)}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left[\frac{(t_m - t_a)}{G}\right]^2 \qquad (1)$$

mit:

η	Kollektorwirkungsgrad
η_0	optische Verluste
K_θ	Winkelkorrekturfaktor oder IAM: Incident Angle Modifier
a_1	Verlustbeiwert 1
a_2	Verlustbeiwert 2
$(t_m - t_a)$	Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Kollektortemperatur und der Außentemperatur
G	Globalstrahlung (Orientierung und Einstrahlung berücksichtigt)

Die Parameter η_0, a_1, a_2 und K_θ können aus Datenblättern getesteter Kollektoren entnommen werden (z.B. [SPF]). Die Beschreibung des Kollektors über diesen Wirkungsgrad bietet die Möglichkeit auch die Abhängigkeiten vom Einfallswinkel (K_θ) zu berücksichtigen.

Weiterhin bietet das Kollektormodell die Möglichkeit verschiedene Kollektortypen (z.B. Röhrenkollektoren und Flachkollektoren – insgesamt 10 verschiedene Typen sind bisher implementiert) für die jeweilige Simulation auszuwählen.

Die untenstehende Abbildung zeigt das Kollektormodell in der grafischen Ansicht in Dymola. Insgesamt besteht das Modell aus Wetterdaten (links im Bild), dem Kollektor selbst (rechts im Bild) und dem hydraulischen System, das an die weitere Anlagetechnik des Gebäudes angeschlossen werden kann. Weiter unten im Bild befindet sich ein Ausschnitt des Kollektors, hier werden unter anderem die Winkelkorrekturfaktoren und weiteren Parameter eingelesen.

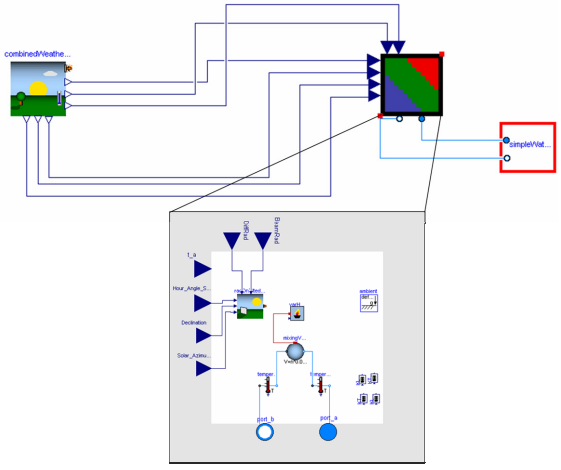

Abbildung 2 Solarthermiemodell in Modelica

Die ersten Berechnungen wurden mit einem Röhrenkollektor durchgeführt.

LATENTWÄRMESPEICHER

Allgemein dient ein Speicher dazu die zeitliche Diskrepanz zwischen dem Energieangebot und des Energiebedarfs zu entzerren. Besonders attraktiv ist er dann, wenn er in Zeiten des „kostenlosen“ Wärmeangebots aus der Umwelt (Solarenergie) geladen werden kann und dann in der Nacht diese Energie für die Gebäudeheizung genutzt werden kann. Optimal ist der Fall dann, wenn gespeicherte Energie und Bedarf übereinstimmen, so dass der Bedarf vollständig gedeckt werden kann. Wie bereits im Abschnitt Solarthermie angesprochen wurde, sind die Übergangsmonate ein viel versprechender Anwendungsbereich und durch die Verwendung des Latentwärmespeichers kann diese eingespeicherte Energiemenge noch effizienter genutzt werden (siehe Abbildung 3). Dies ist möglich, da der LWS den Phasenwechsel nutzt, um bei kleinen Temperaturdifferenzen eine größere Energiemenge als im Falle der sensibeln Speicherung zu speichern.

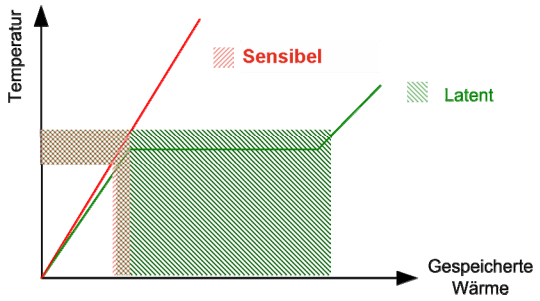

Abbildung 3 Gegenüberstellung der sensibeln und der latenten Wärmespeicherung

Als mögliche Latentwärmespeichermaterialien bietet sich Paraffin oder Salzhydrat (siehe Abbildung 4) an, da diese Materialien bei 35 °C einen Phasenwechsel aufweisen können.

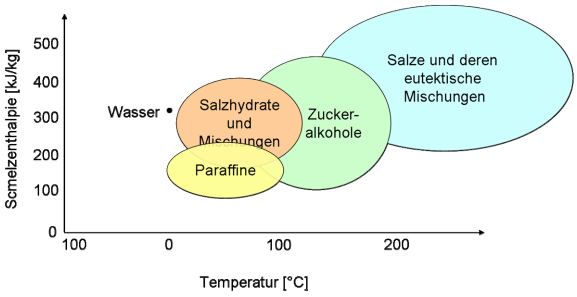

Abbildung 4 Verschiedene LWS- Materialien

Latentwärmespeichermodell

Es wurde ein thermo- hydraulisches Modell des LWS entwickelt, welches auf einer einfachen Energiebilanz in der Form:

$$\sum \dot{Q}_i = m_{LWS} \cdot c_{LWS} \cdot \frac{dT_{LWS}}{dt} \qquad (2)$$

basiert. Die Summe aller Wärmeströme ist demnach gleich dem Produkt aus der Masse m_{LWS}, der spezifischen Wärmekapazität c_{LWS} und der Ableitung der Temperatur T_{LWS} nach der Zeit. Die spezifische Wärmekapazität des Latentwärmespeichermaterials wird in Abhängigkeit der Temperatur beschrieben. Den Hintergrund hierfür bietet eine Näherung der Enthalpie über die Beschreibung mittels einer Arcustangens Funktion. Ein typischer Verlauf ist in dem untenstehenden Diagramm zu sehen.

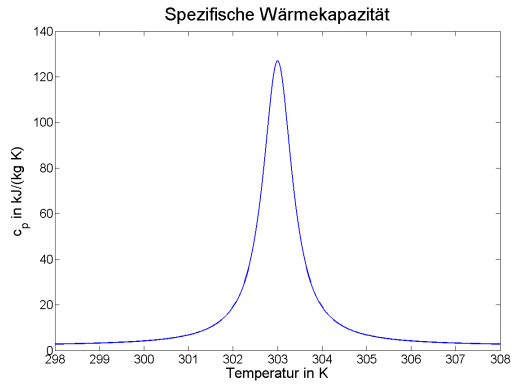

Abbildung 5 spezifische Wärmekapazität in Abhängigkeit von Temperatur

Gezeigt ist hier der Verlauf für ein typisches Latentwärmespeichermaterials mit einer Schmelz-temperatur von 30 °C und einer Schmelzenthalphie von 120 kJ/kg.

Das gesamte LWS- Modell besteht aus zwei Hauptkomponenten: Latentwärmespeichermaterial als Kapazität und einer Fluidkomponente – hier Wasser.

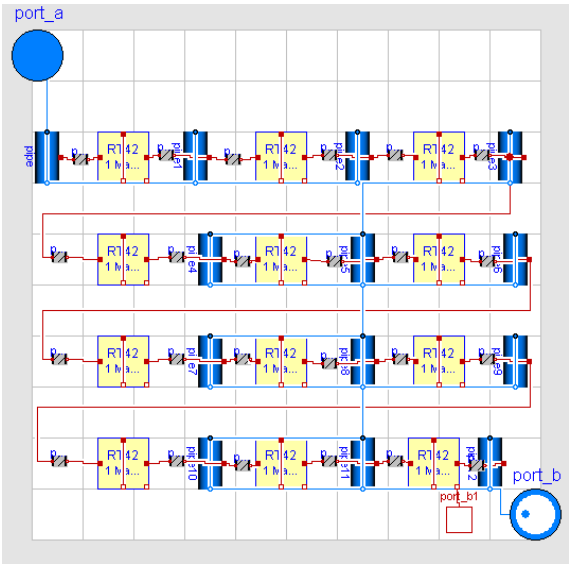

Abbildung 6 Latentwärmespeichermodell

In Abbildung 6 ist ein Modell eines Latentwärmespeichers gezeigt, welcher aus 12 einzelnen Platten (gelbe Komponenten), die mit Wasser (blaue Komponenten) umströmt werden, besteht. Die Platten sind mit Latentwärmespeichermaterial gefüllt und können, ausgehend von Herstellerdaten, verschiedene Materialien abzubilden.

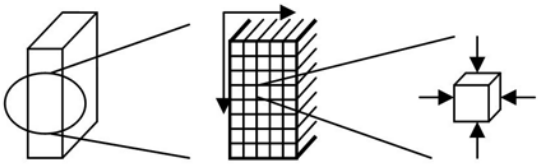

Abbildung 7 Latentwärmespeichermodell

Dabei kann jede Platte bei Bedarf weiter diskretisiert werden, so dass ein Temperaturverlauf über eine Platte ermittelt werden kann (siehe Abbildung 7). Für die hier vorgestellten Ergebnisse ist aufgrund des durch die höhere Diskretisierung entstehenden Rechenaufwands auf eine höhere Diskretisierung verzichtet worden.

Zurzeit handelt es sich um ein ideales LWS- Modell, ohne hydraulischen und thermischen Verluste. Das Latentwärmespeichermodell lässt sich einfach um die Verlustterme erweitern, jedoch fehlen hier noch Informationen, wie und in welcher Höhe diese Verluste überhaupt auftreten.

Damit das Modell möglichst alle Effekte abbilden kann, wird am Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik ein Latentwärmespeicher gebaut, so dass die Verluste bald an einem Leistungs-prüfstand (siehe Abbildung 8) am Institut ermittelt werden können.

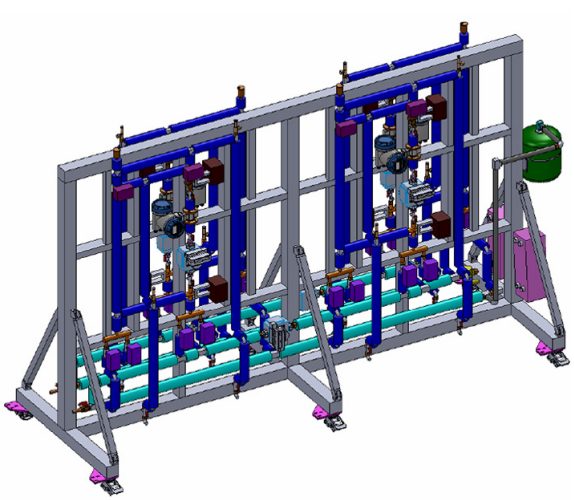

Abbildung 8 Latentwärmespeicherprüfstand

GESAMTSYSTEM

Abbildungen 9a und 9b zeigen das betrachtete Gesamtsystem, welches aus einem Boiler, Solarkollektor, Gebäude, Speicher und einem Wettermodell besteht.

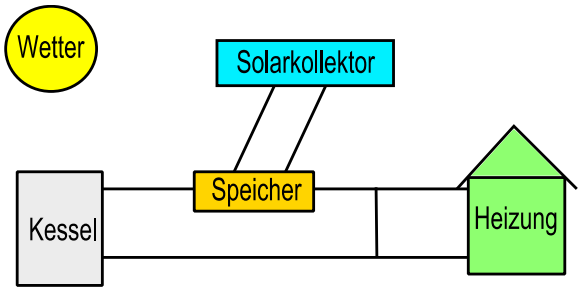

Abbildung 9a Schema des Gesamtsystems

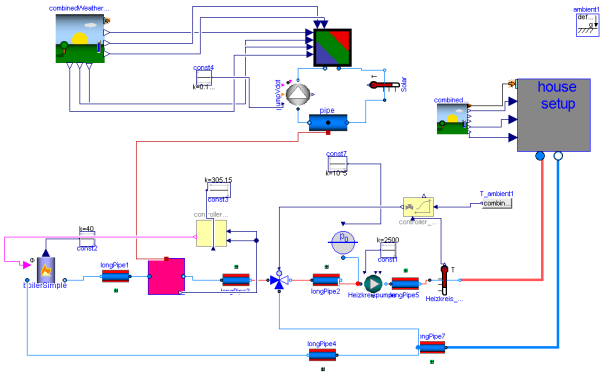

Abbildung 9b Modelica- Ansicht des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem besteht aus einem Vier- Raum-Gebäude mit jeweils 24 m² Grundfläche. Es ist an das Wettermodell angeschlossen. Dieses Gebäude wird bei Bedarf über einen Kessel mit Wärme versorgt, sobald die Speichertemperatur eine festgelegte Temperatur von z.B. 35 °C unterschreitet. Daran schließt sich der Speicher an. In dem einen Fall handelt es sich hier um einen einfachen Warmwasserspeicher und in dem anderen Fall um den Latentwärmespeicher. Der Speicher ist über einen idealen Wärmeübertrager mit der Solarthermieanlage verbunden. Dieses System ist mit einem Wettermodell verbunden, in welchem die Wetterdaten der deutschen Testreferenzjahre (TRY) hinterlegt sind, so dass unterschiedliche Standort in Deutschland simuliert werden können.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Um eine erste Aussage treffen zu können, wie eine effiziente Kombination von Solarthermieanlage und Latentwärmespeicher aussehen kann, werden verschiedene Systemvariantionen miteinander verglichen. Dabei wird als Zeitraum die letzte Aprilwoche des Testreferenzjahres 04 gewählt. Die Außentemperatur erreicht in diesem Zeitraum Werte zwischen minimal 3 °C und maximal 17 °C.

Ausgangspunkt der Berechnungen ist jeweils das System ohne Latentwärmespeicher. Für den Vergleichsfall wird in diesem System nur der Speicher geändert, d.h. alle anderen Parameter (einschließlich der Regelung und des Solarkollektors) bleiben unverändert. Die untenstehende Tabelle gibt eine Übersicht der

Ergebnisse. Dabei sind die Kollektoranzahl, das Wasservolumen des Speichers, die im Falle des Latentwärmespeichers verwendete Masse und die Einsparung gezeigt. Die Einsparung beschreibt, wie viel Prozent an thermischer Energie des Kessels, durch den Einsatz eines Latentwärmespeichers eingespart werden kann.

Tabelle 1 Erste Ergebnisse

Kollektoranzahl	Wasservolumen	LWS- Masse	Einsparung
2	154.5 l	180 kg	5,5%
2	309 l	360 kg	6,2%
4	154.5 l	180 kg	10,4%

In dem ersten Fall wurden zwei Kollektoren gewählt, das sind ca. 4 m² Kollektorfläche. Das Wasservolumen im Speicher beträgt 154.5 Liter und im Falle des Latentwärmespeichers wurden 180 kg Material verwendet, diese Menge an Material entspricht einer Masse von 1,88 kg pro m² Raumfläche. Es ergibt sich eine Einsparung von 5,5 %.

Anschließend wurde die Masse des Latentwärmespeichers auf 360 kg verdoppelt und somit hat sich auch das Wasservolumen auf 309 Liter geändert. Die erreichbare Einsparung beträgt 6,2 %.

Im letzten Fall wurde im Vergleich zum ersten Fall die Kollektoranzahl von zwei auf vier erhöht und dies hatte eine deutliche Einsparung von 10,4 % zur Folge.

Es ist zu erkennen, dass sich für den betrachteten Zeitraum der Einsatz eines Latentwärmespeichers für alle drei Fälle lohnt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die äußeren Bedingungen optimal für den Einsatz des Latentwärmespeicher in der betrachten Aprilwoche waren, d.h. der LWS konnte zum einen durch Solarthermie geladen werden und zum anderen lagen die Temperaturschwankungen beim Be- und Entladen des LWS im Bereich der Phasenwechseltemperatur des gewählten Materials.

Abschließende Simulationen werden klären, wie sich das System über das gesamte Jahr verhält.

AUSBLICK

Aktuelle Studien beschäftigen sich mit den Jahressimulationen und parallel mit der Optimierung einzelnen Komponenten. Insgesamt werden in einem nächsten Schritt die einzelnen Komponenten überarbeitet. Hier soll der Warmwasserspeicher durch einen Schichtenspeicher ersetzt werden und auch das Latentwärmespeichermodell mit den Verlusttermen aus den Messungen erweitert werden. Auf Seiten der Solarthermie wird die Frage beantwortet werden, wie die Ergebnisse für einen Flachkollektor aussehen werden. Ein weiterer Teil der aktuellen Untersuchungen ist, die Frage zuklären, ob ein physikalisches Modell andere Ergebnisse als das Wirkungsgrad basierte liefert.

Weiter daran anschließende Studien werden sich sowohl mit der Auswertung der Kombination mit einer Wärmepumpe beschäftigen, als auch der Betrachtung, wie sich in dicht besiedelten Gebieten eine Verschattung durch Bäume oder Gebäude auf das System auswirken würde.

FAZIT

Die ersten Simulationen zeigen das Potential der Kombination von Solarthermieanlagen und Latentwärmespeichern, so dass in weiteren Analysen dieses System noch genauer untersucht werden wird.

DANKSAGUNG

Wir danken der E.ON gGmbH für ihre finanzielle Unterstützung.

LITERATUR

Buschle J., Analysis of steam systems using Modelica: Modelica 2006, September 4-5

Duffi, J. A., Beckman, W. A. , Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, 2nd ed, New York 1991

Kleemann, M., Meliss, M., Regenerative Energiequellen. Springer Verlag, 2.Aufl., Berlin et al., 1993

Mehling, Cabeza, Heat and Cold Storage with PCM: Heat and Mass Transfer, Springer, Berlin 2008

Quaschning, V., Regenerative Energiesysteme. Hanser Verlag, 2006

Späte, F., Ladener, H., Solaranlagen, ökobuch, Staufen bei Freiburg 2007

SPF, Solartechnik Prüfung Forschung, 13.05.2010 http://www.solarenergy.ch/index.php?id=111