

Zwischenbericht 2005, 14. September 2005

Sorptionsspeicher

Studie Temperaturprofile / Leistungsdichte

Autor und Koautoren	Paul Gantenbein
beauftragte Institution	Institut für Solartechnik SPF
Adresse	Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
Telefon, E-mail, Internetadresse	055 222 48 21, paul.gantenbei@solarenergy.ch , www.solarenergy.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100809, 150938
Dauer des Projekts	1. 7. 2003 - 31. 12. 2006

ZUSAMMENFASSUNG

Die Leistung eines thermisch getriebenen Sorptionsspeichers hängt von angeschlossenen Wärmequellen und der konstruktiven Gestaltung des korreliert ablaufenden Stoff- und Wärmetransportes ab. Dazu wurde ein neues Sorptionmodul mit 6 parallel geschalteten, zylindrischen Wärmetauscher-Patronen zur Aufnahme des festen Sorbens hergestellt und dem System eingebaut. Diese Wärmetauscher-Patronen haben eine Anströmfläche von 0.55 m^2 und nehmen 7 kg Sorbent Molekularsieb Zeolith 13 X auf. Als Sorbat wird Wasser bzw. Wasserdampf eingesetzt. Zur Reduktion der Wärmeverluste durch Wärmeleitung und Wärmekonvektion wurde ein Hüllrohr aus dünnwandigem, rostfreiem Stahl gefertigt. Zwischen diesem und dem äusseren Schutzrohr ist Vakuum. Der Kondensator besteht aus einem Plattenwärmetauscher mit einer Oberfläche von 1.6 m^2 .

In der Adsorption von Wasserdampf auf Molekularsieb Zeolith 13 X wurde im Leerlaufbetrieb im Glykolkreislauf eine Temperaturerhöhung von 24°C auf 66°C erreicht. Diese Erhöhung liegt zwar im nutzbaren Bereich, sinkt aber bei Entnahme von Wärmeenergie ab, weil die Leistung durch die Temperatur und den Sättigungszustand des Molekularsieb Zeolith 13 X sowie dem tiefen Wärmeübergang limitiert ist.

Der Kühleffekt im Wassertank wird durch die Reduktion der Austrittstemperatur des zu kühlenden Wassers sichtbar. Diese Austrittstemperatur erreicht 10°C , nachdem sie am Anfang 20°C betragen hat und liegt ebenfalls im zur Kühlung nutzbaren Bereich. Der bereits nach einer Betriebszeit von 250 s bis 300 s einsetzende Anstieg dieser Austrittstemperatur des Wassers ist auf die gewählte Betriebsart zurück zu führen. Das System strebt einen stabilen Zustand an.

Die Kühlleistungsdichte bezogen auf die Anströmfläche des Sorptionsmoduls in Abhängigkeit der Wassertemperatur im Wassertank steigt von 1.8 kW/m^2 bei 10°C auf 2.8 kW/m^2 im Temperaturbereich von 20°C bis 30°C .

Die erreichten Resultate wurden am IEA Task 32 Treffen im Mai 2005 in Lleida Spanien publiziert.

In weiter führenden Versuchen wird der Dampfdruckabfall bei der Durchströmung eines Festbettes aus Molekularsieb Zeolith 13 X gemessen. Dazu werden entsprechende Versuche aufgebaut. Zur Regulierung des Dampfdruckflusses wird in die Rohrleitung zwischen dem Sorptionsmodul und der Wasservorlage ein spezielles Vakuumventil eingebaut. Die Leistung und Regulierbarkeit des Systems soll damit gesteigert werden.

Projektziele

Der solare Deckungsgrad des thermischen Energiebedarfs eines Hauses soll mit einem solar betriebenen Sorptionspeicher erhöht werden.

Die Leistung eines Sorptionspeichers hängt von den verwendeten Materialien, den zur Verfügung stehenden Wärmequellen, der Wahl des Systemtyps und der Gestaltung der Systembauteile ab. Für eine geschlossene Sorptionspeicheranlage, die Wärme und Kälte liefern soll, wurde ein Sorptionsmodul gebaut. In Fig. 1 ist eine thermische Solaranlage mit integriertem Sorptionspeicher schematisch dargestellt.

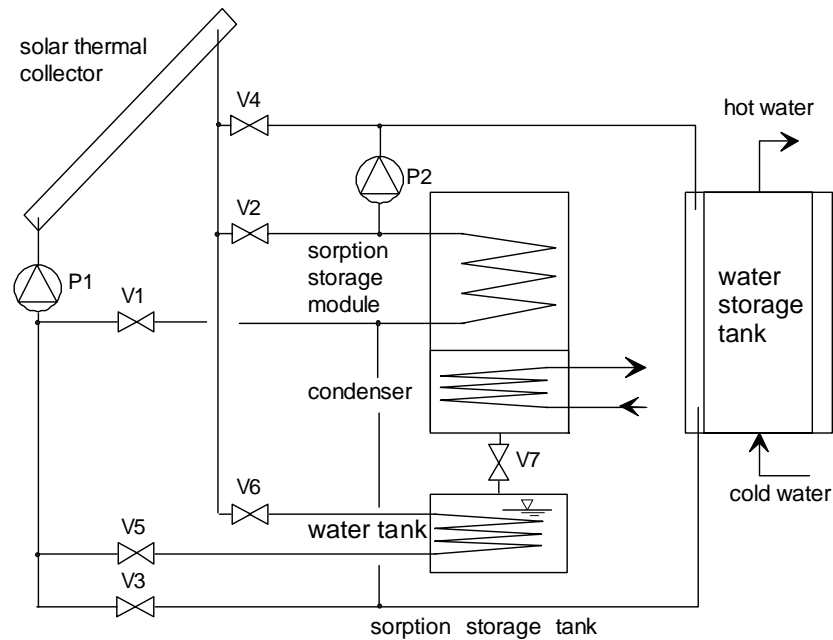


Fig. 1: Schematische Darstellung eines geschlossenen Sorptionspeichers, der in eine thermische Solaranlage integriert ist.

Der Sorptionspeicher besteht aus einem Sorptionsmodul, einem Kondensator und einem Wassertank. Der Wärmetauscher im Wassertank des Speichers kann über die Ventile V5 und V6 auch an einer anderen Wärmequelle als dem Sonnenkollektor angeschlossen werden. Diese Wärmequelle kann ein zu kühlender Raum eines Gebäudes sein.

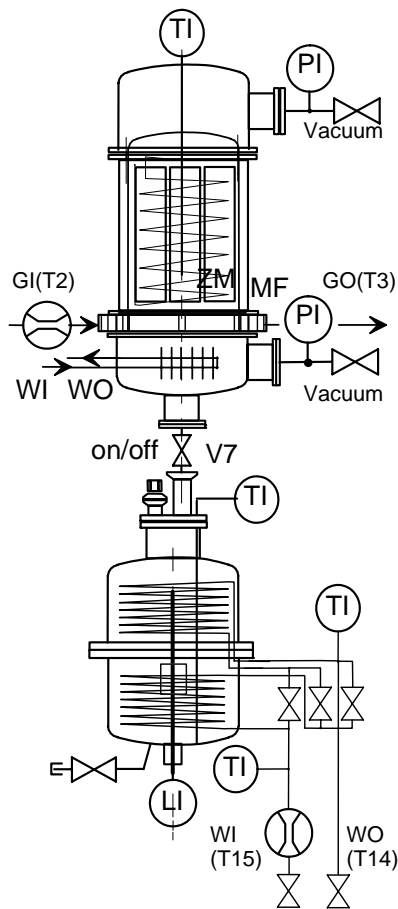
Da der Prozess beim Partialdruck des Wassers abläuft, sind die Bauteile des Systems in Vakuumausführung gebaut. Die Leckrate der Vakuumanlage muss so klein wie möglich sein. Bei Verwendung fester Sorptionsmaterialien ist der Druckverlust des durch das Sorptionsmaterial strömenden Wasserdampfs zu berücksichtigen. Der maximal zur Verfügung stehende Druckunterschied entspricht dem Wasserdampfdruck.

Zur Steigerung der Systemleistung wurde ein neues Sorptionsmodul aus zylindrischen Wärmetauscher-Patronen hergestellt und in die Apparatur eingebaut sowie Messungen durchgeführt.

Weiterhin wird in regelmässigen durchgeführten Literaturrecherchen nach neuen Sorptionsmaterialien, Komponenten und Systemkonfigurationen gesucht, sowie die Aktivitäten im Bereich der Sorptionswärmepumpen und der Sorptionswärmespeicher anderer Institute verfolgt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Experimenteller Aufbau



In Fig. 2 ist eine schematische Darstellung des Laborsorptionspeichers zur Bestimmung der Temperaturverläufe $T(t)$ in der Adsorption und Desorption am Sorptionsmodul (GI T2, GO T3) im oberen Tank sowie am Ein- (WI T15) und Austritt (WO T14) am Wassertank unten. Dem oberen Tank wurden für die Versuche zur Aufnahme des Sorbens ein neues Sorptions-Speichermodule, bestehend aus den Wärmetauscher-Patronen ZM und zur Wasserdampf Kondensation ein neuer Plattenwärmetauscher mit den Anschlüssen WI und WO eingebaut [1]. Der Tank unten enthält das Wasser bzw. den Wasserdampf. Diesem Tank ist ein zweiteiliger Spiralschlauch Wärmetauscher mit den Anschlüssen WI (T15) und WO (T14) eingebaut. Die Verbindungsrohrleitung der beiden Tanks enthält das Ventil V7. Dieses dient zum Starten (offen) und Stoppen (geschlossen) des Sorptionsprozesses. Zur Durchführung der Versuche wurde die Anlage evakuiert. Der Plattenwärmetauscher wurde bei der Adsorption nicht betrieben. Während der Desorption wurde dieser mit Wasser aus einem Thermostatbad mit einer Temperatur von 20°C durchströmt.

Fig. 2: Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus. Der obere Tank enthält das Sorptionsmodul und den Kondensator. Der untere Tank enthält das Wasser.

TI, PI, LI: Temperatur-, Druck-, Niveaufühler.
 GI, GO: Glykolvorlauf / Glykolrücklauf.
 WI, WO: Wasservorlauf / Wasserrücklauf
 MF: Messflansch.

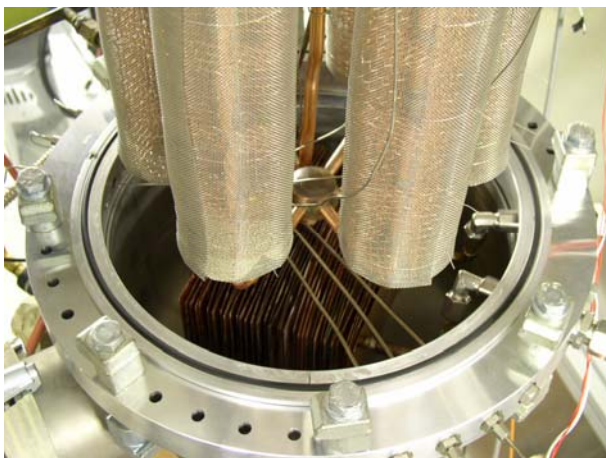


Fig. 3: Foto des Messflansches und der zylindrischen Wärmetauscher-Patronen zur Aufnahme des Sorptionsmaterials. Unterhalb der Wärmetauscher-Patronen ist der Plattenwärmetauscher zu sehen.

In Fig. 3 ist ein Foto des Sorptionsmoduls (ZM) und des Messflansches (MF) zu sehen. Unterhalb der Wärmetauscher-Patronen ist der Plattenkondensator sichtbar. Am Messflansch sind die radial angeordneten Vakuum Durchführungen für den Glykolvorlauf und Glykolrücklauf sowie die Temperaturfühler zu erkennen [1]. Die Wärmetauscher-Patronen sind mit einem Drahtgewebe aus rostfreiem Stahl umwickelt, damit die Molekularsieb Zeolithkugeln nicht herausfallen können. Die Anströmfläche der sechs Patronen beträgt 0.55 m^2 und die Molekularsieb Zeolith 13 X Menge beträgt 7 kg. Der Plattenkondensator hat eine Oberfläche von 1.6 m^2 .

Um Wärmeleitung und Wärmekonvektion von den mit Zeolith gefüllten Wärmetauscher-Patronen an die Umgebung zu verhindern wurde eine Hülle aus rostfreiem Stahl mit geringer Wandstärke gebaut, s. Fig. 4. Über diese Hülle wird für die Versuche ein Schutzrohr montiert und der Zwischenraum wird evakuiert. Schutzrohr und Hülle bilden eine Vakuumisolation. Damit werden Wärmeleitung und Wärmekonvektion zwischen der Hülle und dem Schutzrohr reduziert. Die Versuche wurden mit Molekularsieb Zeolith 13 X Kugeln mit einem Durchmesser von 1-2 mm durchgeführt, s. Fig. 5. In Fig. 6



Fig. 4: Foto der Wärmeisolationshülle aus rostfreiem Stahl zu den Wärmetauscher-Patronen.



Fig. 5: Foto des kugelförmigen Molekularsieb Zeolith 13 X mit einem Durchmesser im Bereich von 1-2 mm.

In Fig. 6 ist eine Darstellung zur Temperaturfühler-Position am an einer Wärmetauscher-Patrone, wie sie zum Aufbau des Sorptionsmoduls gebaut wurden.

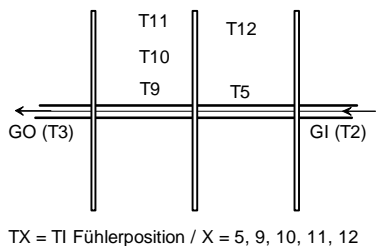


Fig. 6: Schematische Darstellung eines Ausschnittes aus einer Wärmetauscher Patrone.

Messungen und Resultate

Temperaturprofile – Adsorption – Desorption

Zur Messung der Temperaturprofile $T(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit und der Temperatur im Wassertank bei der Adsorption und der Desorption von Wasserdampf an Molekularsieb Zeolith 13 X wurden die vollständigen Zyklen durchlaufen. Die Temperaturen im Wassertank wurden mit einem Thermostatbad auf 10 °C, 20 °C und 30 °C gehalten. In Fig. 7 ist ein Adsorptions-Desorptions-Zyklus für die Temperatur 20 °C in der Wasservorlage dargestellt. Deutlich sichtbar ist die Umkehrung der Reihenfolge der Temperaturkurven in der Adsorption und in der Desorption von den an verschiedenen Positionen angebrachten Temperaturfühlern. So ist beim aussen auf einer Wärmetauscher Patrone montierten Temperaturfühler bei der Adsorption die höchste Temperatur von $T_{11} = 105$ °C messbar. Bei der Desorption ist T11 hingegen die tiefste Temperatur.

Die Zeitkonstanten für den Temperaturanstieg in den zwei Zyklusschritten Adsorption und Desorption sind sehr unterschiedlich. So ist in der Adsorption wegen des Dampftransportes durch die Festbettschüttung der maximale Temperaturanstieg im für die Nutzung gebauten externen Kreislauf (s. Fig 2, GO, T3) in 0.5 h zu erreichen. In der Desorption (Trocknung) bei $T_2 = 80$ °C sind durch die geringe Wärmeleitung im Molekularsieb Zeolith 13 X die Temperaturen T11 und T12 nach fast 3 h bei knapp 75 °C.

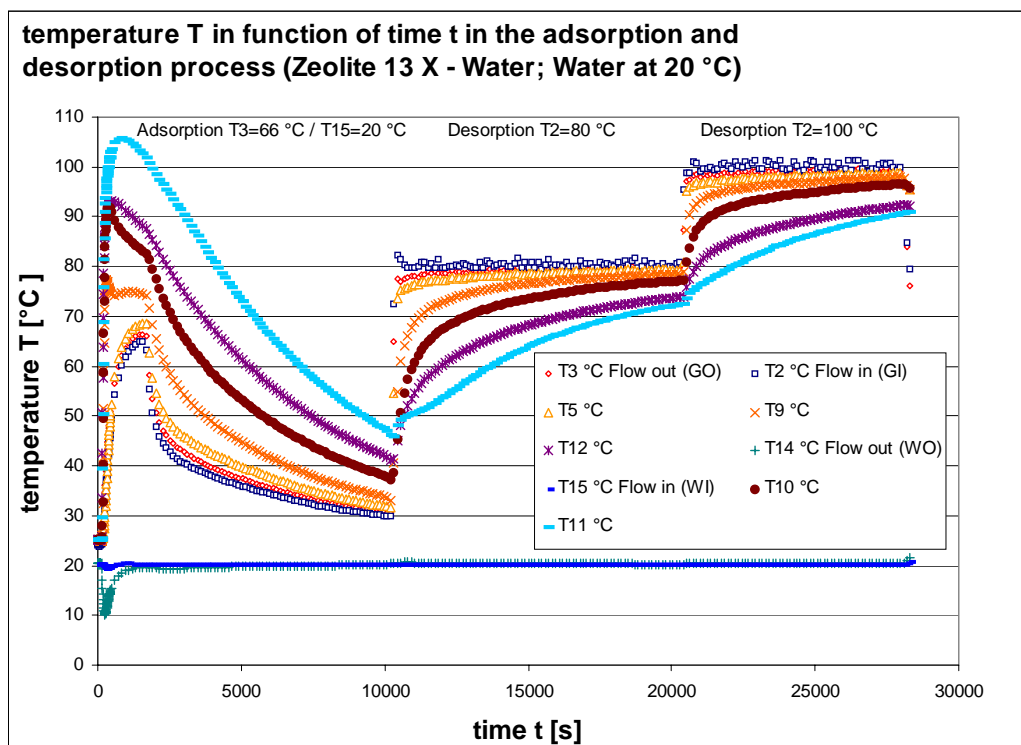


Fig. 7: Temperaturverläufe $T(t)$ im Sorptionsmodul und im Wassertank während der Adsorption und Desorption von Wasserdampf an Molekularsieb Zeolith 13 X.

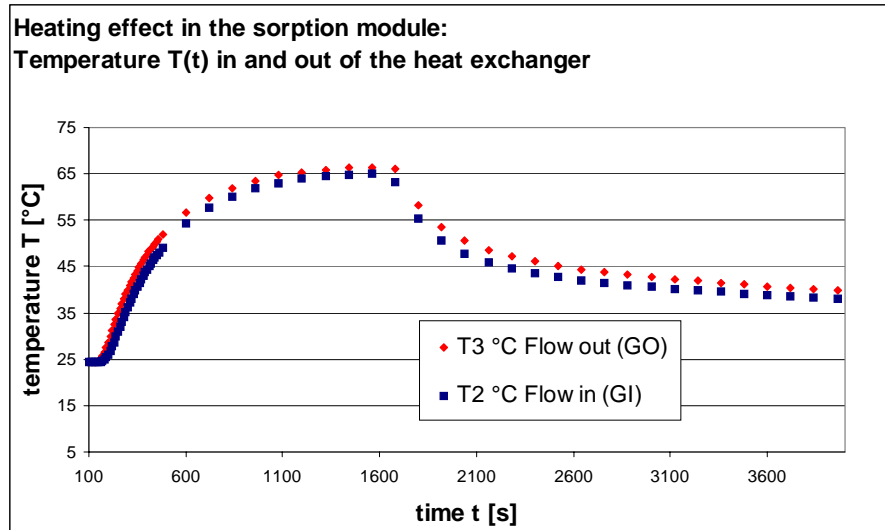


Fig. 8: Temperaturverlauf $T(t)$ im Heiz- bzw. Wärmeabfuhrkreislauf (s. Fig. 2: GO, GI) bei der Adsorption von Wasserdampf an Molekularsieb Zeolith 13 X bei einer Wassertemperatur von 20 °C im Wassertank.

Zur Darstellung der für Heizzwecke relevanten Temperaturen sind in Fig. 8 die Temperaturen T2 und T3 des Glykolkreislaufes, wie sie schon in Fig. 7 dargestellt sind, separat aufgezeichnet. Zwei Bereiche des Temperaturverlaufes sind sichtbar. Der Erste vom Start bis 1680 s zeigt den Anstieg der Temperatur T im externen Kreislauf ohne Entnahme von Wärmeenergie, der Zweite ab 1680 s zeigt den Verlauf mit Entnahme von Wärmeenergie. Bei dieser Messung stieg die Temperatur T3 von 24 °C auf 66 °C an und liegt damit im Bereich der Anwendung. In diesem Bereich des Temperaturverlaufes wurde aber aus dem Kreislauf keine Wärme entnommen – das System lief quasi im Leerlaufbetrieb. Erst ab einer Betriebszeit von 1680 s wurde Energie aus dem Kreislauf abgeführt. Der schnelle Temperaturabfall zeigt eine noch relativ tiefe Leistung dieses Laborsystems bei der gewählten Betriebsart.

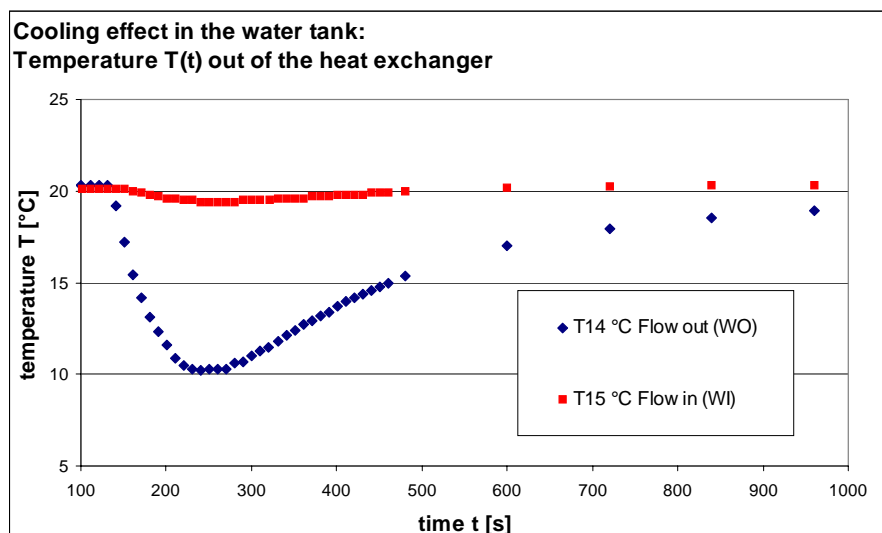


Fig. 9: Temperaturverlauf $T(t)$ am Ein- und am Austritt des Wassertanks während der Adsorption von Wasserdampf an Molekularsieb Zeolith 13 X bei einer Wassertemperatur von 20 °C im Wassertank.

Zur Darstellung der für Kühlzwecke relevanten Temperaturen sind in Fig. 9 die Temperaturen T14 und T15 des externen Wasserkreislaufes, wie sie schon in Fig. 7 dargestellt sind, separat aufgezeichnet. Bei dieser Messung ist die Temperatur T14 von 20 °C auf 10 °C gesunken und liegt im Bereich der Anwendung zu Kühlzwecken. In diesem Abschnitt des Versuches wurde aber aus dem Kreislauf im Sorptionsmodul keine Wärme entnommen – das System lief im Leerlauf. Der Temperaturanstieg am Austritt T14 nach 250 s - 300 s zeigt eine in diesem Betriebszustand nicht konstante Leistung des Laborsystems – das System strebt einen stabilen Gleichgewichtszustand an.

In Fig. 10 ist die Leistungsdichte P der Laborapparatur bezogen auf die Wärmetauscherfläche A im Sorptionsmodul in Abhängigkeit von der Wassertemperatur im Wassertank aufgezeichnet. Mit zunehmender Temperatur steigt die Kühlleistungsdichte bei 10 °C von 1.8 kW/m² auf 2.8 kW/m² im Bereich von 20 °C und 30 °C an. Da der Dampfdruck $p(T)$ des Wassers aber von $p(T=10^{\circ}\text{C})=12$ mbar auf $p(T=30^{\circ}\text{C})=42$ mbar [2] steigt wäre eine höhere Leistungsdichte zu erwarten.

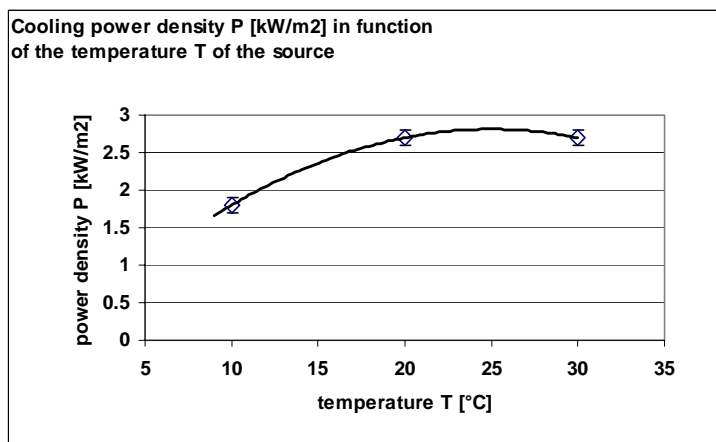


Fig. 10: Kühlleistung P des Systems bezogen auf die Anströmfläche A im Sorptions-Speichermodule in Abhängigkeit von der Wassertemperatur T im Wassertank.

Nationale Zusammenarbeit

In der laufenden Projektphase waren keine Arbeiten mit nationalen Partnern vorgesehen. Bei Bedarf soll jedoch im Rahmen des IEA Task 32 „Storage concepts for solar buildings“ im Bereich Solar Heating & Cooling mit inländischen Instituten zusammen gearbeitet werden.

Internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen des IEA Task 32 „Storage concepts for solar buildings“ im Bereich Solar Heating & Cooling findet ein regelmässiger Informationsaustausch mit ausländischen Instituten statt. Dazu wurde Ende Mai in Lleida (Spanien) ein Vortrag zum Projekt gehalten.

Bewertung erstes Halbjahr 2005 und Ausblick 2005

Die erzielten Messergebnisse zeigen die Funktionalität des mit dem festen Sorbens Material Molekularsieb Zeolith 13 X und dem dampfförmigen Sorbat Wasser arbeitenden Systems zur Heizung oder zur Kühlung auf. Die Erhöhung der Temperatur von Umgebungstemperatur auf 66 °C im

Glykolkreislauf im Fall der Nutzung zu Heizzwecken ist beachtlich. Ebenfalls im nutzbaren Bereich liegt die Wassertemperatur mit 10 °C am Austritt aus des Wassertanks im Fall der Nutzung zu Kühlzwecken. Die Leistung ist hingegen durch die tiefen Wärmeübergänge limitiert.

Die treibenden Kräfte eines Sorptionsspeichers sind die Temperaturniveaus der angeschlossenen Wärmequellen und -Senken. In den folgenden Versuchen wird in Modellexperimenten der Druckabfall beim Durchströmen von Wasserdampf durch eine Festbettschüttung gemessen. Diese Messungen sollen das Verständnis des gekoppelten Stoff- und Wärmetransportes in einer Festbettschüttung erhöhen [3]. Um einen genügend hohen und regulierbaren Dampfmassenstrom aus der Wasservorlage in das Sorptionsmodul zu erzielen, wird in die Rohrleitung zwischen den beiden Tanks ein spezielles Vakuumventil eingebaut. Damit soll eine Steigerung der Leistung des Systems erzielt werden.

Referenzen

- [1] **Sorptionsspeicher – Sorptionsmaterial / Studie Temperaturprofile & Sorptionsmodelle.** Jahresbericht 2004, P. Gantenbein.
- [2] **VDI-WÄRMEATLAS Recherchieren – Berechnen –Konstruieren.** Herausgeber: Verein Deutscher Ingenieure, Springer Verlag Berlin Heidelberg 1997.
- [3] **Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics.** Duong D. Do. Imperial College Press ICP. 1998.