

Forschungsbericht BWPLUS

## **Forschungsberichtsblatt – Zusammenfassung**

### **Stratisorp: Neuartiges Schichtspeichersystem zur Effizienzsteigerung von Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen**

von

Chirag Joshi  
Hadi Taheri

Valentin Schwamberger  
Dr. Ferdinand Schmidt



KIT Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Fachgebiet Strömungsmaschinen  
Shared Research Group Energie- und Gebäudetechnologie  
(Kooperationspartner der SRG: Fraunhofer ISE, Freiburg)

Förderkennzeichen: BWE 27005

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung  
werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

November 2010

# 1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Es wurde ein neuartiger thermodynamischer Zyklus für Adsorptionswärmepumpen bzw. -kältemaschinen analysiert, bei dem ein thermischer Schichtspeicher zur internen Wärmerückgewinnung in den Zyklus integriert wird. Für den Speicher wurden zwei verschiedene Wärmeträgerfluide (Thermoöl und Wasser) für unterschiedliche Temperaturbereiche untersucht. Daraus resultierten ein Hochtemperatur- und ein Niedertemperatursystem. Weiterhin wurden experimentelle Daten zur Adsorptionskinetik neuartiger Adsorbens-Metallfaser-Komposite den verwendeten Adsorbermodellen zugrundegelegt. Die Ergebnisse sind daher für neue Hochleistungsadsorber relevant, die bisher nur in einem F&E-Projekt der Fraunhofer-Gesellschaft als Demonstrator realisiert wurden. Um die Bandbreite möglicher Entwicklungsergebnisse bei den Adsorbieren abzubilden, wurden je zwei Wärmeübertragerstrukturen („extrudiert“ und „lasergeschweißt“) und zwei Komposit-Typen („experimentell“ und „optimiert“) betrachtet, woraus sich vier Adsorber-Kombinationen ergeben. Eine Validierung des Adsorbermodells sowie Systemsimulationen mit konventionellen, marktverfügbaren Adsorbieren sind für ein Anschlussprojekt geplant.

Mittels detaillierter System- und CFD-Simulationen konnte in einer Systembewertung ein positives Fazit für potentiell erreichbare Leistungszahlen in einzelnen Betriebspunkten gezogen werden. In Parametervariationen mit dem Systemmodell wurden für das Hochtemperatursystem in Anlehnung an DIN 4702 Teil 8 Jahresheizzahlen für einen Wärmepumpenbetrieb mit Erdsonde ermittelt. Sie liegen zwischen 1,9 (Adsorber „extrudiert/experimentell“) und gut 2,2 (Adsorber „lasergeschweißt/optimiert“) und übertreffen damit den Stand der Technik deutlich.

Für weitere Untersuchungen steht nun ein detailliertes und numerisch effizientes Systemmodell zur Verfügung, das leicht an verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden kann. Am Speicher konnten durch CFD-Simulationen kritische Punkte identifiziert werden (großräumige Wirbel im Speicher, hydraulische Kurzschlüsse zwischen Lanze und Ausströmöffnung) und es wurden Optionen zur Behebung der Schwachpunkte identifiziert. Diese sollen in einem Anschlussprojekt auch experimentell näher untersucht und optimiert werden.

## 2 Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Dieses Vorhaben ist aufgrund seiner Kombination mit der Adsorptionstechnik den innovativen Speichertechnologien und alternativen Technologien zuzuordnen und hat in unseren Augen ein großes Potential für die Zukunft.

Die Projektergebnisse stellen nach unserer Einschätzung einen signifikanten Fortschritt für die Systemtechnik von Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen dar. Für das hier untersuchte Systemkonzept mit dem Schichtspeicher zur Wärmerückgewinnung zwischen Adsorption und Desorption konnten die erhofften Vorteile gegenüber dem Standardzyklus von Adsorptionskältemaschinen und -wärmepumpen durch die dynamischen Systemsimulationen bestätigt werden. Die Vorteile bezüglich der erreichbaren Jahresheizzahl in einer Wärmepumpen-Anwendung fallen um so größer aus, je besser die Wärmeübertragungseigenschaften der verwendeten Adsorbier sind. Die Projektergebnisse stellen daher auch einen Anreiz zur weiteren Verbesserung der Adsorbiertechnologie dar.

Durch die gegenüber dem bei Vorhabensbeginn vorliegenden Systemkonzept verbesserte Anordnung der Komponenten und die enge Kopplung von Antriebs-Wärmequelle (Heizer) und Mitteltemperatur-Wärmesenke (Kühler) an den Speichertank wurde eine hohe Flexibilität bezüglich verschiedener Betriebsbedingungen sowie eine sehr gute Regelbarkeit erreicht. Der Stratisorp-Zyklus für ein Hochtemperatur-System mit Thermoöl als Wärmeträger hat sich als sehr robust gegenüber einer Variation der Temperaturen in den drei äußeren Fluidkreisen erwiesen. Dies eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sowohl in Heizanwendungen (Wärmepumpe) als auch in Kühlanwendungen (Kältemaschine) mit unterschiedlichen Wärmequellen und -senken.

Für die hier angenommenen technologisch weiterentwickelten Adsorber erscheint ein  $COP_{cool} \approx 1,2$  erreichbar, der bisher nur mit zweistufigen Absorptionskältemaschinen im Leistungsbereich größer 50 kW erreichbar ist. Dabei wäre das Stratisorp-System wesentlich flexibler bezüglich der Rückkühltemperatur, d. h. auch an heißen Tagen wäre eine trockene Rückkühlung möglich. Zudem hätte das System für die Solare Kühlung, also bei Antrieb mit konzentrierenden thermischen Solarkollektoren, deutliche Vorteile aufgrund der erreichbaren großen Temperaturspreizung im Antriebskreis. Eine Weiterentwicklung von Stratisorp-Systemen größerer Leistung in diese Richtung erscheint daher aussichtsreich.

In der Wärmepumpen-Anwendung bedeutet die hohe Flexibilität bezüglich der Systemtemperaturen, dass das System für die Altbausanierung sehr interessant ist. Die für die Berechnung der Jahresheizzahl herangezogenen Randbedingungen entsprechen eher einem Neubau als einem sanierten Altbau (insbesondere wenn vorhandene Heizkörper weiterverwendet werden sollen), auch für Altbauten sind aber realisierbare Jahresheizzahlen größer 1,5 zu erwarten, zumindest wenn ganzjährig nutzbare Wärmequellen (Erdwärme) zur Verfügung stehen.

Angesichts dieser Vorteile des Systems sollte jedoch nicht übersehen werden, dass die Hürden für eine Produktentwicklung auf Basis des Hochtemperatur-Systems mit Thermoöl immer noch sehr hoch sind. Dies liegt vor allem an der fehlenden Komponentenverfügbarkeit für den Temperaturbereich um 200°C. Insbesondere fehlen regelbare Pumpen kleiner Leistung und hoher Effizienz für Thermoöl in diesem Temperaturbereich.

Wesentlich geringer sind die Hürden für eine Produktentwicklung von Systemen mit Wasser als Wärmeträger für einen Temperaturbereich bis etwa 140°C. Dieses Anwendungsgebiet stand zwar nicht im Fokus dieses Vorhabens, es konnte jedoch gezeigt werden, dass auch hier signifikante Vorteile gegenüber marktverfügbaren Adsorptionssystemen erreicht werden können. Besonders aussichtsreich erscheint eine Weiterentwicklung des Systems für kombinierte Anwendungen wie eine solare Kühlung im Sommer und einen Gaswärmepumpen-Betrieb im Winter. Auch eine Kombination von solarer Kühlung mit Warmwasserbereitung durch überschüssige (nicht für die folgende Desorption verwendbare) Adsorptionswärme, die im Speicher bei genügend hoher Temperatur vorliegt, erscheint aussichtsreich.

### **3 Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen**

Für eine Nutzung der Projektergebnisse in Baden-Württemberg ist die Gaswärmepumpen-Anwendung hinsichtlich ihres Klimaschutz-Potenzials sicherlich am bedeutendsten.

Es wurde aufgezeigt, dass prinzipiell mit dem untersuchten System die Jahresheizzahlen gegenüber marktverfügbaren Gaswärmepumpen deutlich gesteigert werden können. Auch für die bessere Integration der thermischen Solarenergienutzung mit der Gaswärmepumpen-Technologie bietet das Stratisorp-Systemkonzept exzellente Voraussetzungen.

Aufgrund der hohen Hürden für die Realisierung des Hochtemperatur-Systems mit Thermoöl erscheint eine Fokussierung auf die Weiterentwicklung des Systems mit Wasser und verringerten Antriebstemperaturen sinnvoll. Zunächst müssen die durch die Simulationsrechnungen vorhergesagten Vorteile des Systems experimentell nachgewiesen werden. Dazu wird ein Anschlussvorhaben mit einem Fokus auf der experimentellen Untersuchung und Charakterisierung des Schichtspeichers mit den entsprechenden Be- und Entladeeinrichtungen und einer Zusammenschaltung des Speichers mit einem Adsorptionsmodul zur Vermessung des gekoppelten Systems als Adsorptionswärmepumpe angestrebt.

Das Anschlussvorhaben soll die Brücke zu industriellen Umsetzungsprojekten schlagen, d.h. auf Basis der im Anschlussprojekt experimentell nachgewiesenen Systemperformance soll dann eine Weiterentwicklung mit interessierten Industriepartnern (bevorzugt aus Baden-Württemberg) erfolgen.

## **4 Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen**

In diesem Vorhaben wurde das Stratisorp-System in einer Auslegung auf kleine Leistungen untersucht, wie sie zum Heizen und Kühlen von Ein- und Zweifamilienhäusern relevant sind. Die Ergebnisse legen jedoch nahe, dass das System auch für Anwendungen bei größerer Leistung (z.B. gewerbliche Kühlung in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung oder solare Kühlung großer Objekte) mit deutlichen Vorteilen gegenüber dem Stand der Technik eingesetzt werden könnte. Bevor Arbeiten in dieser Richtung initiiert werden, wird jedoch zunächst eine experimentelle Validierung eines Systems mit kleiner Leistung im Rahmen eines Anschlussvorhabens angestrebt.

Die Ergebnisse des Projekts sollen auf verschiedene Art einem breiten Publikum vorgestellt werden. Dabei handelt es sich sowohl um wissenschaftliche Publikationen als auch um populärwissenschaftliche Darstellungen. Im einzelnen sind folgende Veröffentlichungen erfolgt / geplant:

- Die Projektergebnisse zur Systemsimulation wurden als Posterbeitrag auf der „1st International Conference on Materials for Energy (EnMat2010)“ vorgestellt.
- Ein Beitrag für die „International Sorption Heat Pump Conference 2011“ wurde eingereicht.
- Ein Beitrag für den „23rd IIR International Congress of Refrigeration“ (im August 2011) wurde eingereicht.
- Eine Journal-Veröffentlichung in „Applied Thermal Engineering“ ist geplant.
- Im LUBW-Journal „Einblicke 2010“ wurden die Projektergebnisse unter dem Titel „Speicherpotenzial ausreizen“ vorgestellt.
- Im Journal des KIT-Zentrums Energie „KIT energy news“ werden die Projektergebnisse im Dezember 2010 vorgestellt werden.