

Stand der Entwicklung einer kompakten 2,5 kW Diffusions-Absorptionskältemaschine zur solaren Kühlung

Dr. Uli Jakob, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider, Dipl.-Ing.(FH) Tina Päßler,

Dipl.-Ing.(FH) Andreas Biesinger, Prof. Dr. Ursula Eicker

Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik - zafh.net

Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart

Tel.: +49/(0)711/8926-2889, Fax: +49/(0)711/8926-2698

E-Mail: jakob@zafh.net, Internet: <http://www.zafh.net>

1. Einleitung

Aus Komfortgründen nimmt weltweit der Klimatisierungsbedarf stetig zu. Wegen des hohen Strombedarfs von herkömmlichen Klimaanlage stoßen die nationalen Stromnetze in den Sommermonaten immer häufiger an ihre Kapazitätsgrenzen. Beispiele von vereinzelt Stromausfällen in Europa waren schon in den letzten Jahren zu beobachten. Eine intelligente Alternative ist die Erzeugung von Kälte aus Sonnenenergie. Da bislang keine Absorptionskältemaschinen im kleinen Kälteleistungsbereich (1 kW bis 10 kW) marktverfügbar waren und sind, wurden an der HfT Stuttgart seit 1998 Forschungsarbeiten für die Entwicklung und den Bau dreier einstufiger, solar beheizter Ammoniak/Wasser ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) Diffusions-Absorptionskältemaschinen (DAKM) mit einer projektierten Kälteleistung von 2,5 kW durchgeführt.

2. Prototypenentwicklung

Die aktuelle Weiterentwicklung der DAKM führte zu einem kompakten, dritten Prototyp der solar betriebenen Kältemaschine, welcher im Oktober 2005 an der HfT Stuttgart aufgebaut und in Betrieb genommen wurde (Abb.1). Die bisherige Konstruktion des Rieselfilm-Verdampfers wurde vollständig für eine optimierte Kältemittelverteilung neu konstruiert, die Verdampferoberfläche vergrößert und in



eine kombinierte Verdampfer-Gaswärmetauscher-Absorber Einheit integriert. Des weiteren wurde ein kompakterer Kondensator verwendet und ein leistungsfähiger Austreiber entwickelt. Die konstruktiven Änderungen führten zu einer geringeren Bauhöhe (2,20 m) und einer Reduzierung der benötigten Aufstellfläche des Gesamtapparates (60 x 60 cm), mit entsprechender Gewichtsreduzierung auf 240 kg.

Abb.1: Dritter Prototyp der DAKM im Solarlabor des zafh.net an der HfT Stuttgart.

3. Erste Ergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen des dritten, kompakteren Prototyps konzentrierten sich auf den überarbeiteten Verdampfer plus Hilfsgaskreislauf und den neu konstruierten Austreiber. Ab Oktober 2005 wurden erste Messungen mit stabilen und kontinuierlichen Temperatur-, Druck- und Leistungslevels durchgeführt.

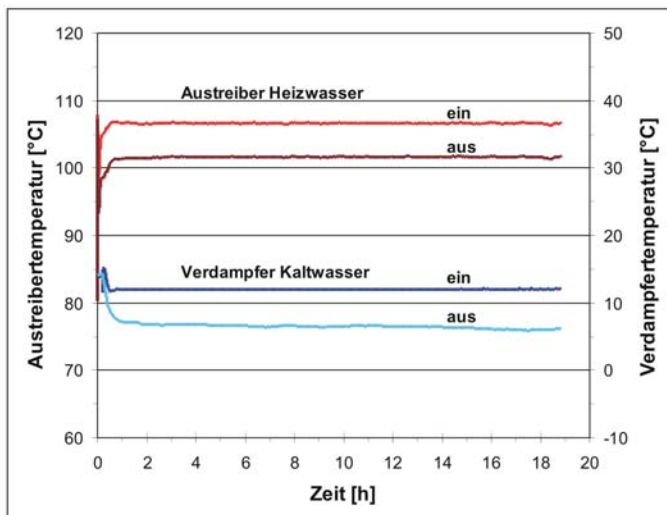


Abb.2: Gemessene Verdampfer und Austreiber Eingangs- bzw. Ausgangstemperaturen der DAKM Nr.3 (NH_3 -Einfüllkonzentration 40%) bei kontinuierlichen 0,7 kW Kälteleistung und COP von 0,19.

Die ermittelten Antriebstemperaturen der Gasblasenpumpe / Austreiber reduzierten sich von 150-170°C beim ersten Prototyp [1,3] auf 110-155°C beim zweiten Prototyp [2,3] und nun auf 100-145°C beim dritten Prototyp (Abb.2). Bei den ersten Messungen ergaben sich Leistungszahlen (COP) zwischen 0,12 und 0,25 und im

Regelfall eine kontinuierliche Kälteleistung von 0,8 kW (Abb.3) bei Verdampfertemperaturen von 12/6°C.

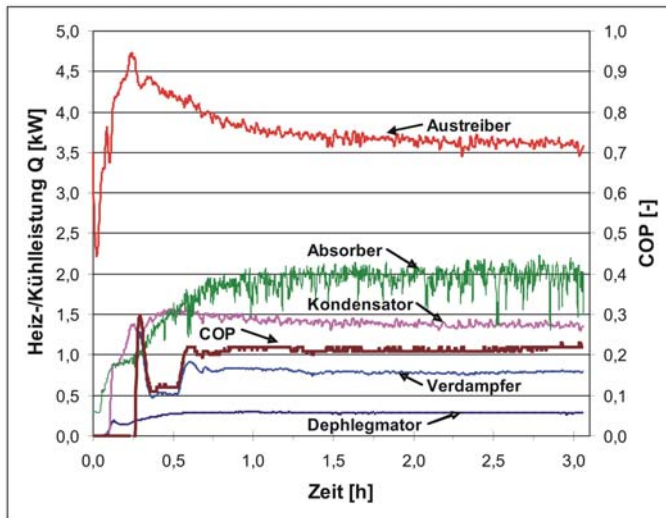


Abb.3: Gemessene zu- und abgeführte Heiz- und Kühlleistungen der einzelnen Komponenten und COP der DAKM Nr.3 (NH_3 -Einfüllkonzentration 40%) bei Heizwasser-Vorlauf-temperaturen von 105°C und Verdampfertemperaturen von 12/10°C.

Eine maximale Kälteleistung von 1,4 kW wurde bei Verdampfertemperaturen von 20/17°C erzielt. Die niedrigsten erreichten Verdampfertemperaturen sind -7,4°C und -11,5°C bei 40% bzw. 30% Ammoniak-Einfüllkonzentration. Die Analyse der Rückwärmezahlen im Gaswärmetauscher (GHX), mit Werten > 1 , zeigte, dass teils noch flüssiges Ammoniak im GHX verdampfte, welches im Verdampfer nicht in Kälteleistung umgesetzt werden konnte. Um die Auslegungs-Kälteleistung erreichen zu können, muss die Ammoniakverteilung und damit die Benetzung der Verdampferrohre bzw. die Rohrbeschaffenheit weiter optimiert werden.

4. Betriebsbegleitende Online-Simulation und Visualisierung

Für die betriebsbegleitende Online-Simulation der DAKM wurde basierend auf der charakteristischen Gleichung für Sorptionsprozesse, die eine exakte Lösung der internen Massen- und Enthalpiebilanzen darstellt, ein Simulationsmodell erstellt. Mit diesem Ansatz kann das Lastverhalten von Absorptionskältemaschinen ausgehend von einem festgelegten Auslegungspunkt, für den die Wärmeübertragungsleistung (UA-Werte) am Generator und Absorber bzw. Kondensator und Verdampfer mittels festgelegter Temperaturspreizung und den Enthalpien des Kältemittels und der Absorptionslösung ermittelt wurden, rein aus den externen Temperaturen berechnet werden. Für das Simulationsmodell wurden weitere DAKM spezifische Koeffizienten eingeführt, die den Hilfsgaskreislauf mit Gaswärmetauscher und Kälteverlusten, verursacht durch das Hilfsgas sowie den Dephlegmator, berücksichtigen. Die

erforderlichen Parameter für das Modell wurden an die experimentellen Messdaten angepasst. Dabei zeigten Vergleiche zwischen Messungen und Simulation eine sehr gute Übereinstimmung der ermittelten Werte [3,4].

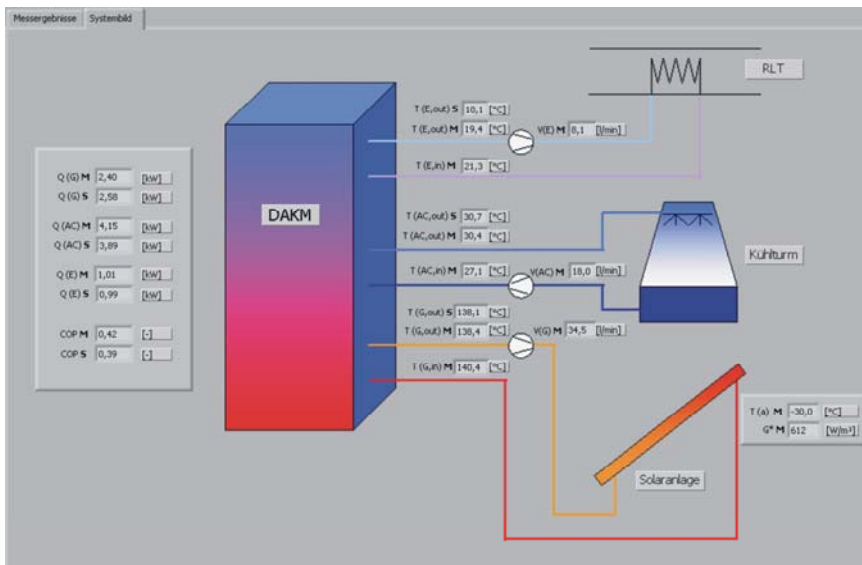


Abb.4: Online-Anlagensvisualisierung der DAKM Nr.2 in LabVIEW mit Anzeige der Mess- und Simulationsergebnisse.

Das entwickelte Modell wurde zuerst für die betriebsbegleitende Simulation des zweiten DAKM Prototyps verwendet (Abb. 4). Damit ergab sich eine direkte Analyse des Betriebsverhaltens der DAKM. Die in Echtzeit eingelesenen Messdaten der externen Heiz- und Kühlkreisläufe werden auf einen DataSocketServer geschrieben und gleichzeitig werden die gemessenen Eingangstemperaturen und Massendurchflüsse der Kältemaschine auf einem Simulationsrechner als Inputs für das Simulationsmodell in der Simulationsumgebung INSEL eingelesen und direkt verwendet. Die durchgeführten Betriebsläufe zeigten eine sehr gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den Messsignalen.

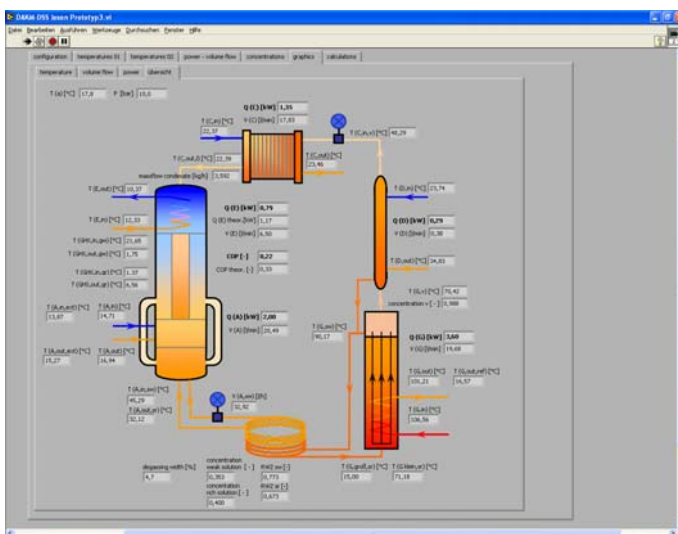


Abb.5: Online-Visualisierung der DAKM Nr.3 in LabVIEW mit Anzeige der Messwerte.

Abb. 5 zeigt die mittels LabVIEW visualisierten online Messwerte der aktuellen DAKM Nr.3. Die betriebsbegleitende Simulation stellt in Zukunft ein wichtiges Element zur Regelung und weiteren systemtechnischen Optimierung neuer Prototypen sowie der Auslegung einzelner Komponenten der DAKM dar.

5. Zusammenfassung und Ausblick

An der HfT Stuttgart wurden bisher drei solar betriebene Diffusions-Absorptionskältemaschinen entwickelt und gebaut. Die aktuellen Messergebnisse des dritten Prototyps der DAKM kleiner Leistung ergaben bisher Leistungszahlen von 0,12 bis 0,25 und Kälteleistungen von 0,8 kW bis 1,4 kW bei Verdampfertemperaturen von 12/6°C bzw. 20/17°C. Zur systemtechnischen Optimierung und Vermessung der DAKM wurde eine Online-Visualisierung bzw. betriebsbegleitende Online-Simulation mittels LabVIEW verwirklicht. Das dabei verwendete Simulationsmodell der DAKM basiert auf der charakteristischen Gleichung für Sorptionsprozesse. Dabei zeigten Vergleiche zwischen Messungen und Simulation eine sehr gute Übereinstimmung der ermittelten Werte.

6. Literatur

- [1] JAKOB, U., EICKER, U., TAKI, A.H., COOK, M.J. (2003). „*Development of an optimised solar driven Diffusion-Absorption Cooling Machine*“. Tagungsband ISES Solar World Congress 2003. International Solar Energy Society (ISES), Göteborg. ISBN 91-631-4740-8.
- [2] JAKOB, U., EICKER, U., SCHNEIDER, D., COOK, M.J., TAKI, A.H. (2004). „*Neue Ergebnisse einer solar thermisch betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine kleiner Leistung*“. Tagungsband Vierzehntes Symposium Thermische Solarenergie. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Staffelstein. Seite 482-487. ISBN 3-934681-33-6.
- [3] JAKOB, U., EICKER, U., TAKI, A.H., COOK, M.J. (2005). „*Development of a solar powered Diffusion Absorption Cooling Machine*“. Tagungsband 1st International Conference Solar Air-Conditioning. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Staffelstein. Seite 111-115. ISBN 3-934681-41-7.
- [4] JAKOB, U. (2005). „*Investigations into Solar Powered Diffusion-Absorption Cooling Machines*“. Dissertation. De Montfort University Leicester.

State of the development of a compact 2.5 kW Diffusion-Absorption Cooling Machine for Solar Cooling

Dr. Uli Jakob, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider, Dipl.-Ing.(FH) Tina Päßler,

Dipl.-Ing.(FH) Andreas Biesinger, Prof. Dr. Ursula Eicker

Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik - zafh.net

Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart

Tel.: +49/(0)711/8926-2889, Fax: +49/(0)711/8926-2698

E-Mail: jakob@zafh.net, Internet: <http://www.zafh.net>

Abstract

The world-wide demand of air-conditioning continually increases. Simultaneously, in many southern countries, the conventional electrically driven compressors have been the main reason for the bottleneck in the electric networks in summertime in the last few years. Therefore, it is important to search for alternative air-conditioning units that are driven by either waste heat or solar thermal energy. Considering the circumstances that no suitable indirectly driven absorption cooling machines with small-scale cooling performance (1 kW to 10 kW) are available on the market, the Stuttgart University of Applied Sciences has developed and set up three single-effect solar driven Diffusion-Absorption Cooling Machines (DACM) each with a design cooling capacity of 2.5 kW.

The third prototype, DACM No.3, was set up in October 2005; this new prototype has now marketable dimensions (0.6 x 0.6 x 2.2 m). The first results of the prototype showed stable and continuous temperature and pressure levels. The values of coefficient of performance (COP) were between 0.12 and 0.25, while the continuous evaporator cooling capacity was between 0.8 kW and 1.4 kW, depending on the evaporator temperatures of 12/6°C or 20/17°C. Up to now the lowest logged constant evaporator outlet temperature is -7.4°C and -11.5°C for initial ammonia mass concentrations of 40% and 30%, respectively.

Moreover an expanded, steady-state DACM model based on the characteristic equation of sorption chillers was set up, which is also used for online-simulation.