

Neue Ergebnisse einer solar thermisch betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine kleiner Leistung

Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob¹, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider¹, Prof. Dr. Ursula Eicker¹,
Dr. Malcolm J. Cook², Dr. Ahmed H. Taki³

¹ Forschungszentrum nachhaltige Energietechnik zafh.net, Fachhochschule
Stuttgart - Hochschule für Technik, Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart

Tel.: +49/(0)711/121-2889, Fax: +49/(0)711/121-2698

E-Mail: uli.jakob@hft-stuttgart.de, Internet: <http://www.fht-stuttgart.de>

² IESD, De Montfort University, Leicester LE1 9BH, U.K.

³ School of Architecture, De Montfort University, Leicester LE1 9BH, U.K.

1. Einleitung

Solar thermisch angetriebene oder unterstützte Absorptionskältemaschinen (AKM) gewinnen immer mehr an Bedeutung, da aus Komfortgründen der Klimatisierungsbedarf in allen Bereichen wie in Ein-/ Zweifamilienhäusern sowie Büro- oder Hotelräumen stetig zunimmt. Im mittleren Leistungsbereich liegen bisher mehrjährige Projekterfahrungen für die einstufige Wasser-Lithiumbromid (H₂O-LiBr) AKM der Fa. Yazaki aus Japan mit 35 kW Kälteleistung vor. Erste Feldtests von neu entwickelten einstufigen AKM's werden derzeit mit einer 10 kW H₂O-LiBr AKM der Fa. PHÖNIX SonnenWärme AG und des ZAE Bayern, einer 15 kW H₂O-LiBr AKM der Fa. EAW Energieanlagenbau GmbH in Zusammenarbeit mit dem ILK Dresden und einer 10 kW Ammoniak-Wasser (NH₃-H₂O) AKM des Joanneum Research – Institut für Energieforschung mit der Fa. S.O.L.I.D. GmbH, beide aus Österreich, durchgeführt. Im kleinen Leistungsbereich (unter 10 kW) gibt es derzeit nur Prototypenentwicklungen auf Basis der Diffusions-Absorptionstechnik. So hat die Fa. SolarFrost aus Österreich verschiedene Prototypen mit 100 W bis 2 kW Kälteleistung und dem Arbeitsstoffpaar NH₃-H₂O und Wasserstoff als Hilfgas entwickelt und getestet. An der HfT Stuttgart wurden zwei Prototypen mit dem Arbeitsstoffpaar NH₃-H₂O und Helium als Hilfgas mit einer projektierten Kälteleistung von 2.5 kW entwickelt.

2. Prototyp

Der zweite Prototyp der Diffusions-Absorptionskältemaschine (DAKM) wurde von Juni 2002 bis Frühjahr 2003 in den Werkstätten der HfT Stuttgart aufgebaut und fertig gestellt (Abb.1). Nach einer Reihe von Sicherheits- und Drucktests im Juli 2003 wurde die Kältemaschine mit einer Ammoniak-Wasser Lösungskonzentration von 30% befüllt und angefahren. Zur gleichen Zeit wurde der Anschluss an die bestehende 19 m² große Vakuumröhrenkollektoranlage der HfT Stuttgart verwirklicht, so dass anstatt dem bisherigen indirekten Flüssigkeitsbeheizungsgerät ein Betreiben der DAKM mittels der Kollektoranlage möglich ist.



Abb.1: Zweiter Prototyp der DAKM kleiner Leistung.

3. Messergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen des zweiten Prototyps konzentrierten sich auf den neu konstruierten Austreiber, den überarbeiteten Hilfgaskreislauf und den Bypass zur Vorkühlung des Ammoniakdampfes zwischen Kondensator und Verdampfer. Im Zeitraum Juli 2003 bis Oktober 2003 wurden erste Messungen mit stabilen und kontinuierlichen Temperatur-, Druck- und Leistungslevels durchgeführt (Abb.2), z.B. auch 24 Stunden Messungen.

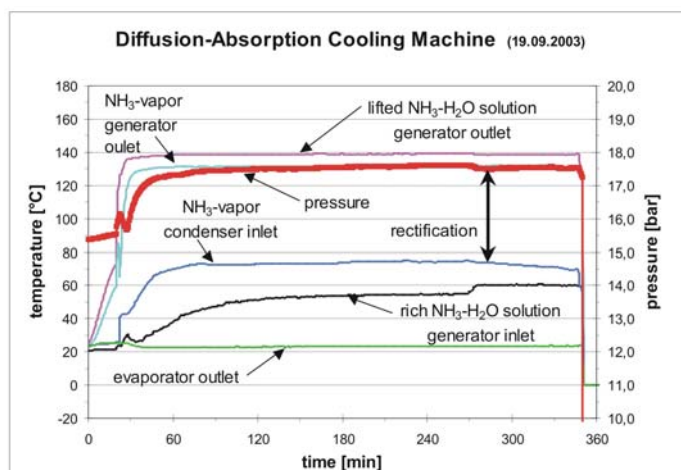


Abb.2: Druck- und Temperaturverläufe der DAKM Nr.2 (NH₃-Einfüllkonzentration 30%).

Die ermittelten Antriebstemperaturen der Gasblasenpumpe / Austreiber reduzierten sich von 150-170°C beim ersten Prototyp [1,2] auf 130-150°C beim zweiten Prototyp. Aufgrund der geringeren Bauhöhe des zweiten Prototyps der DAKM reduzierte sich die Förderhöhe der Gas-

blasenpumpe von 1,03 m auf 0,54 m. Dies führt bei gleichgroßer Wärmeübertragungsfläche zu einer höheren Leistungsfähigkeit der Gasblasenpumpe, was sich durch eine Reduzierung der Antriebstemperaturen bemerkbar macht.

Bei den ersten Messungen ergaben sich Leistungszahlen (COP) zwischen 0.1 und 0.2 und eine maximale Kälteleistung von 0.8 kW. Im Regelfall betrug die kontinuierliche Kälteleistung 500 W.

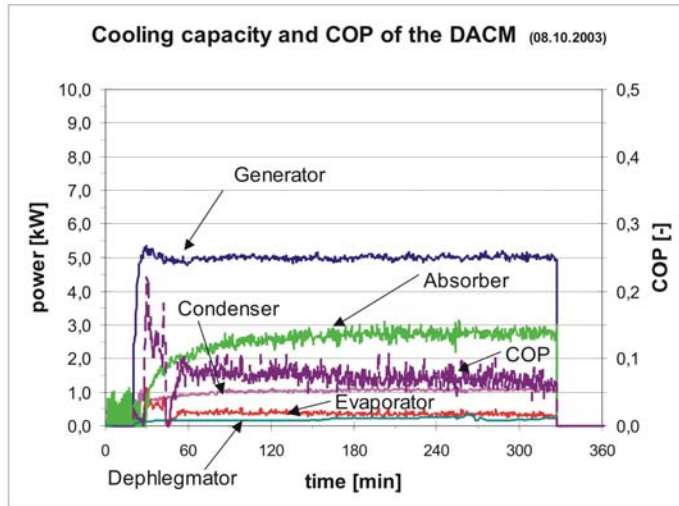


Abb.3: Gemessene zu- und abgeführte Heiz- und Kälteleistungen der einzelnen Komponenten und COP der DAKM Nr.2 (NH₃-Einfüllkonzentration 40%).

Nach den ersten Tests wurde die Kältemaschine Anfang Oktober 2003 mit einer höheren Ammoniak Einfüllkonzentration von 40% neu befüllt. Die weiteren Messungen

wurden bis Ende November 2003 durchgeführt und die dann erreichte kontinuierliche Kälteleistung betrug ebenfalls 500 W bei Leistungszahlen um 0.1 (Abb.3).

4. Auswertung und Analyse

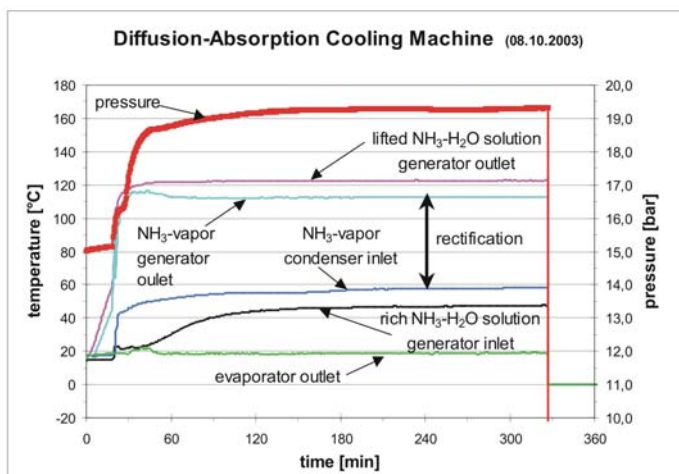
Für den Austreiber Nr.5 der DAKM Nr.2 wurden die folgenden Austreiberkennwerte nach [4] ermittelt. Die Werte sind in der Tabelle 1 aufgeführt und mit den früher gemessenen und ermittelten Werten für den Austreiber Nr.3 der DAKM Nr.1 verglichen.

Tabelle 1: Ermittelte Austreiberkennwerte der Austreiber Nr.5 und Nr.3.

	Austreiber Nr.5		Austreiber Nr.3 [3,4]
NH ₃ -Einfüllkonzentration	30%	40%	38% [2]
reiche NH ₃ -Lösungskonz. X _{Sr} [-]	30%	40%	42 – 45%
arme NH ₃ -Lösungskonz. X _{Sw} [-]	26 – 24%	33 – 31%	34 – 31 %
Entgasungsbreite E [-]	4 – 6%	7 – 9%	8 – 14 %
Dampfkonzentration X _{V1} [-]	82 – 85%	89 – 91%	89 – 91 %
spezifischer Lösungsumlauf f [-]	11 – 15	6,5 – 8,5	4 – 5

Die ermittelten Austreiberkennwerte zeigen, dass der für die Charakterisierung des Austreibers wichtig spezifische Lösungsumlauf beim Austreiber Nr.5 um den Faktor 1,5 bis 3 höher liegt als beim alten Austreiber Nr.3.

Die Analyse der gemessenen geringen Kälteleistung des zweiten Prototyps zeigt unter anderem, dass die vom Austreiber erzeugte Ammoniak-Dampfmenge nach Berechnung aus Messergebnissen nur 1-4 kg/h beträgt und nicht wie nach Auslegung 5-8 kg/h. Trotz Erhöhung der Ammoniak Einfüllkonzentration von 30% auf 40% konnte bei gleichen Beheizungstemperaturen des Austreibers keine Steigerung der Ammoniak-Dampfmenge und somit der Kälteleistung erzielt werden. Es ergibt sich nur



eine niedrigere Ausgangstemperatur der geförderten, armen Ammoniak-Wasser Lösung aus dem Austreiber von 140°C (Abb.2) auf 120°C (Abb.4).

Abb.4: Druck- und Temperaturverläufe der DAKM Nr.2 (NH₃-Einfüllkonzentration 40%).

Der Grund für die geringe Kälteleistung könnte darin liegen, dass die im Verdampfer zur Verfügung stehende Verdunstungsfläche konstruktiv bedingt nicht ausreichend genutzt werden kann.

Ein weiterer Grund ist die niedrige Eingangstemperatur der vom Lösungswärmetauscher (SHX) in den Austreiber zufließenden reichen Ammoniak-Wasser Lösung von nur 50-60°C (Abb.2 und 4), anstatt nach Auslegung von mindestens 100°C [3]. Zum anderen ist die Eingangstemperatur der ankommenden armen Ammoniak-Wasser Lösung vom SHX in den Absorber viel zu hoch. Sie betrug bei den Messungen zwischen 70 und 90°C, anstatt nach Auslegung 40-50°C. Somit kann im Absorber trotz maximaler externer Kühlung (Absorbereingangstemperatur 10-15°C) nur beschränkt das Ammoniak aus dem ankommenden reichen Helium-Ammoniak Gasgemisch vom Gaswärmetauscher in den Rieselfilm der armen Ammoniak-Wasser Lösung absorbiert werden. Der Absorber ist somit viel zu heiß. Die Ermittlung der Rückwärmzahl Φ des SHX nach Gleichung (1) mittels der gemessenen Ein- und Ausgangstemperatur der reichen Ammoniak-Wasser Lösung aus dem SHX $T_{SrSHX,out}$ [K] und vom

Absorber $T_{\text{SrSHX,in}}$ [K], sowie der armen Lösung vom Austreiber $T_{\text{SwSHX,in}}$ [K]:

$$\Phi = \frac{T_{\text{SrSHX,out}}}{T_{\text{SwSHX,in}}} \frac{T_{\text{SrSHX,in}}}{T_{\text{SrSHX,in}}} \quad (1)$$

ergibt für den Plattenwärmetauscher sehr schlechte Werte um 11%. Zum Vergleich: die ungenügende Rückwärmzahl des im ersten Prototyp verwendeten Rohrbündelwärmetauschers [1] betrug rund 40%.

Aufgrund der niedrigen Rückwärmzahlen des SHX wurde der nickelgelötete Plattenwärmetauscher durch einen Edelstahl coaxial Wärmetauscher ausgetauscht. Dies hat auch zum Vorteil, das eine Gewichtsreduzierung für den SHX von 60kg auf 13kg erzielt werden konnte. Der Umbau erfolgte im März 2004.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die aktuellen Messergebnisse des zweiten Prototyps der DAKM kleiner Leistung ergaben bisher Leistungszahlen von 0.1 bis 0.2 und eine maximale Kälteleistung von 0.8 kW. Erste Umbauarbeiten wurden aufgrund der unzureichenden Leistungszahlen durchgeführt, dabei wurde der bisherige Lösungswärmetauscher (nickelgelöteter Plattenwärmetauscher) durch einen Edelstahl coaxial Wärmetauscher ersetzt.

Wesentlicher Bestandteil der weiteren Forschungstätigkeit ist das Erreichen höherer Leistungszahlen von 0.5 und entsprechend die projektierte Kälteleistung von 2.5 kW.

6. Literatur

- [1] JAKOB, U. und SCHNEIDER, D. und EICKER, U. (2001). „*Entwicklung einer solar betriebenen Diffusions-Absorptions-Kältemaschine*“. Tagungsband Elfte Symposium Thermische Solarenergie. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Staffelstein. Seite 170 - 175, ISBN: 3 934681-14-X.
- [2] JAKOB, U. und EICKER, U. (2002). „*Solar Cooling with Diffusion Absorption Principle*“. Tagungsband World Renewable Energy Congress VII. World Renewable Energy Network (WREN), Köln. ISBN: 0-08-044079-7.
- [3] JAKOB, U. und EICKER, U. und SCHNEIDER, D. und TAKI, A.H. und COOK, M.J. (2003). „*Entwicklung einer optimierten solar betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine*“. Tagungsband Dreizehntes Symposium Thermische Solarenergie. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Staffelstein. Seite 259-264, ISBN: 3-934681-26-3.
- [4] JAKOB, U. und EICKER, U. und TAKI, A.H. und 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.

New results of a small scale solar thermal driven Diffusion-Absorption Cooling Machine

Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob¹, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider¹, Prof. Dr. Ursula Eicker¹,
Dr. Malcolm J. Cook², Dr. Ahmed H. Taki³

¹ Forschungszentrum nachhaltige Energietechnik zafh.net, Fachhochschule
Stuttgart - Hochschule für Technik, Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart

Tel.: +49/(0)711/121-2889, Fax: +49/(0)711/121-2698

E-Mail: uli.jakob@hft-stuttgart.de, Internet: <http://www.fht-stuttgart.de>

² IESD, De Montfort University, Leicester LE1 9BH, U.K.

³ School of Architecture, De Montfort University, Leicester LE1 9BH, U.K.

Abstract

Solar thermal driven or assisted absorption cooling machines get more and more importance, because of the continually increasing demand of air-conditioning in single family houses as well as office and hotel rooms.

The second prototype of the Diffusion-Absorption Cooling Machine was set up between June 2002 and Spring 2003. After a number of safety and pressure tests the cooling machine was tested in the period of July 2003 to November 2003. The evaluated ammonia mass flow of the first measurements is in a range between 1-3 kg/h at 30% initial ammonia mass fraction of the whole ammonia-water solution and a maximum cooling power of 800 W. The continuous cooling power is around 500 W with COP's between 0.1 to 0.2. The designed and required ammonia mass flow is approximately 5-8 kg/h for 2.5 kW cooling power. So in a first step the initial ammonia mass fraction was concentrated to 40%. The new results showed that the ammonia mass flow increased to 2-4 kg/h, but the cooling power is again in a range of 500 W. The only effect that was observed is that the generator outlet temperature of the weak solution decreased from 140 °C to 120 °C at the same external heating inlet temperature of 150 °C by increasing of the degassing width. The heat recovery factor Φ of the solution plate heat exchanger was determined around 11%. Therefore the plate heat exchanger was replaced by a stainless steel coaxial heat exchanger.