

Entwicklung einer solar betriebenen Diffusions-Absorptions-Kältemaschine

Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider, Prof. Dr. Ursula Eicker
Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik, Fachbereich Bauphysik
Schellingstraße 24, D-70174 Stuttgart, Germany
Tel: +49 / (0)711 / 121-2889, Fax: +49 / (0)711 / 121-2698
e-mail: jakob.fbp@fht-stuttgart.de, Internet: <http://www.fht-stuttgart.de>

1. Einleitung

Thermisch betriebene Kältemaschinen und Klimaanlage erfahren derzeit eine Renaissance, da sowohl die Umweltverträglichkeit herkömmlicher Kältemittel als auch der Energieeinsatz von elektrisch betriebenen Kompressionsanlagen kritisch diskutiert werden. Für die Bereitstellung von Kälte bei tiefen Temperaturen waren bisher im kleinen Leistungsbereich unter 10 kW keine thermisch betriebenen Kältemaschinen verfügbar.

Ein neuer Ansatz für die Entwicklung solcher Kältemaschinen liegt in der Anwendung der seit den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts bekannten Diffusions-Absorptionstechnik, die auf dem Druckausgleich zwischen Hoch- und Niederdruckseite durch ein Hilfsgas (hier Helium) basiert, so daß im ganzen Aggregat keine mechanisch bewegten Teile erforderlich sind. Durch den rein thermosyphonischen Betrieb des Hilfsgaskreises müssen Druckverluste in Wärmetauscher und Verdampfer extrem niedrig gehalten werden. Eine weitere besondere Anforderung an die Kältemaschine ist die indirekte Beheizung bei möglichst niedrigen Temperaturen durch ein Solarkollektorfeld. Im Gegensatz zu direkt mit Gas oder Strom beheizten Generatoren sind bei indirekter Beheizung im Temperaturbereich 100-140°C nur niedrige Wärmestromdichten verfügbar, die einen Betrieb der rein thermisch arbeitenden Gasblasenpumpe erschweren.

In einem europäischen Forschungsprojekt wurde eine solar beheizbare Ammoniak-Wasser Diffusions-Absorptionskältemaschine (DAKM) entwickelt, die mit indirekter Beheizung durch Vakuumröhrenkollektoren eine Kälteleistung von 2,5 kW bei Temperaturen zwischen -10 und +5°C erzeugen soll.

2. Leistungszahlberechnung

Für die Kältemaschine wurde ein Simulationsmodell für stationäre Bedingungen entwickelt, welches die Berechnung von Leistungszahlen als Funktion der wesentlichen Betriebsparameter, d.h. Austreiber-, Verdampfer- und Absorber-/Kondensator-temperaturen sowie Wärmeverluste bei der Rektifikation und Wärmerückgewinnung ermöglicht. Umfangreiche Untersuchungen zu den Leistungszahlen ergeben für die DAKM einen COP (Coefficient of Performance = Wirkungsgrad) von 0.53 und bei Rückgewinnung der Rektifikationswärmeverluste von 0.72. Die Leistungszahlen gelten für die Verdampfertemperatur von +5 °C und die Absorber-/Kondensator-temperatur von +45 °C.

3. Prototypen Entwicklung

Die Entwicklung eines ersten Prototyps der einstufigen solar betriebenen Ammoniak-Wasser (NH₃-H₂O) Diffusions-Absorptionskältemaschine wurde an der Fachhochschule Stuttgart realisiert. Für den projektierten und umgesetzten Leistungsbereich der Kältemaschine von 2,5 kW mußten dafür neue Austreiber mit indirekter Beheizung, leistungsfähige Dampfblasenpumpen sowie neue Wärmetauschergeometrien entwickelt werden.

Standardkomponenten: Die Standardkomponenten Kondensator, Verdampfer, Gaswärme-wechsler, Absorber und Lösungswärmetauscher sind als vertikale oder horizontale Rohrbündelwärmetauscher konstruiert und ausgeführt worden. Der Kondensator und der Absorber sind wassergekühlt. Für den Kältekreislauf des Verdampfers wird eine Kühlsole verwendet.

Neuentwickelte Komponente: Als Neuentwicklung sind drei verschiedene Austreiberprototypen



Abb.1: Diffusions-Absorptions-Kältemaschine mit System- und Meßtechnik

entwickelt und gebaut worden. Die komplexen thermodynamischen Prozeßvorgänge (z.B. die Gasblasenbildung in den einzelnen Steigrohren) verlangen bei indirekt beheizten Austreibern geeignete konstruktive Maßnahmen, um im Bereich der solaren Beheizung bei niedrigen Wärmestromdichten eine Verbesserung der Wärmeübergänge zu erlangen. Der Austreiberprototyp 3 ist im ausgeführten Prototyp (Abb.1) der Diffusions-Absorptionskältemaschine eingebaut und wird in Zusammenhang mit dem kompletten Aggregat getestet und vermessen. Die Temperaturen für die solare Beheizung der Austreiber sind für den Zulauf vom Solarkollektor 130 °C und für den Rücklauf 120 °C.

4. Erste Meßergebnisse

Die komplette Anlage der solar betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine wird derzeit im Labor der HfT Stuttgart mit einer indirekten Flüssigkeitsbeheizung betrieben und getestet (Abb.1). Bei Generatortemperaturen von 135-145 °C können Verdampfertemperaturen von 0 °C erzeugt werden (Abb.2). Problematisch sind derzeit noch Instabilitäten im Druck- und Temperaturniveau, die durch Optimierung der Stoffkreisläufe reduziert werden sollen.

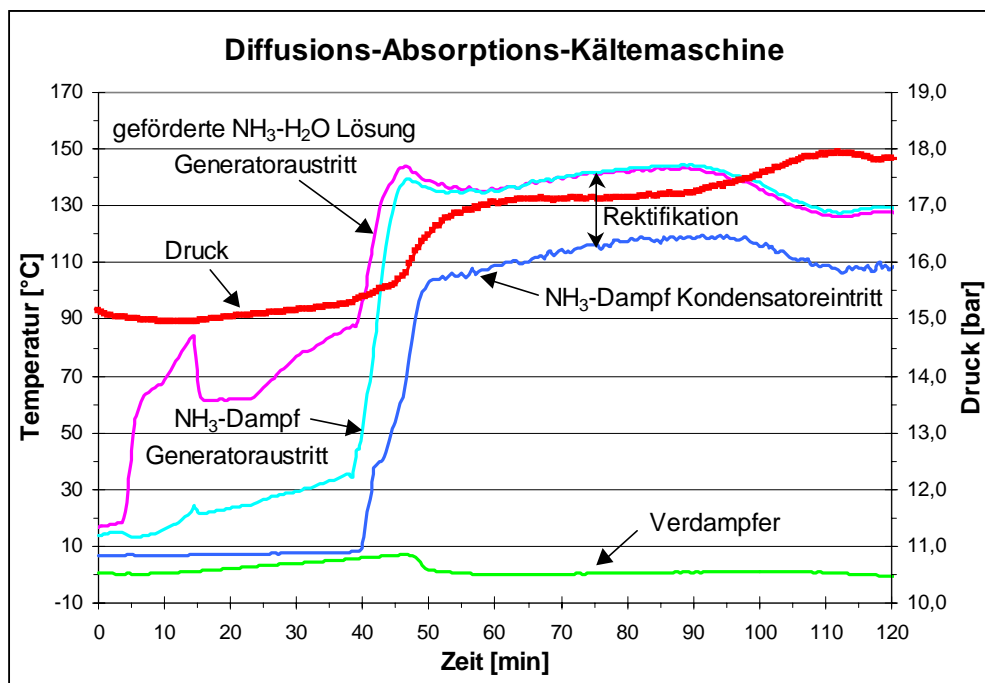


Abb.2: Temperaturverläufe des Austreibers, Kondensators und Verdampfers

Die bisher erreichten COP's liegen zwischen 0.20 und 0.35. Um eine Steigerung der Leistungszahlen auf die berechneten Werte von 0.5 bis 0.6 zu ermöglichen, ist der zusätzliche Einbau einer Rektifikationsstrecke zwischen Austreiber und Kondensator für den ausgetriebenen Ammoniakdampf noch notwendig, da die Ammoniakdampf-temperaturen oft über 100 °C liegen und somit auch Wasserdampf in den Kondensator gelangt. Dies führt dann zur Herabsetzung der Kondensatorkühlleistung. Die ersten Erfahrungen für einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage zeigen, daß darauf besonders zu achten ist, daß der Kühlkreislauf des Kondensators mit einem maximalen Durchfluß und der Absorber nur mit einem geringen Durchfluß betrieben wird.

5. Kopplung mit solarthermischen Kollektoren

Um die für den Kreisprozeß der Diffusions-Absorptionskältemaschine benötigten Austreibertemperaturen von 100-140 °C bereitstellen zu können, sind entsprechende Solarkollektoren notwendig. So sind für den Einsatz der Kältemaschine zur Raumklimatisierung gute Flachkollektoren mit mittleren Kollektortemperaturen von bis zu 100 °C und einem damit verbundenen Wirkungsgrad von ca. 30 – 50 % (bei 800 - 1000 W/m² Einstrahlung) ausreichend. Der Einsatzbereich ist somit aber in Kombination mit Flachkollektoren auf die Klimatisierung mit Kühltemperaturen oberhalb von +10 °C eingeschränkt. Dafür können dann Röhrenkollektoren die für den Absorptionsprozeß benötigten Temperaturen mit hohem Wirkungsgrad bereitstellen. Vakuumröhrenkollektoren können Temperaturen von 100 bis 150 °C mit einem akzeptablen Wirkungsgrad erreichen (bei 100 °C $\Rightarrow \eta = 50 - 65 \%$ und bei 150 °C $\Rightarrow \eta = 30$ bis 50 % - bei Einstrahlungen im Intervall 800 - 1000 W/m²).

Gemessene Wirkungsgrade einer CPC-Solaranlage: An der HfT Stuttgart wurde eine Solaranlage bestehend aus direkt durchströmten „PARADIGMA CPC 21“ Vakuumröhrenkollektoren zur Bestimmung der Wirkungsgradkennlinie (Abb.3) und dem Betriebsverhalten im Bezug auf hohe Kollektortemperaturen von über 100 °C untersucht. Die gesamte Aperturfläche beträgt 19,3 m². Bei den Messungen wurden Kollektorausgangstemperaturen von bis zu 140 °C bei einem Kollektorwirkungsgrad von 0,40 erreicht.

Die meßtechnisch ermittelte und berechnete Kollektorwirkungsgradkennlinie (Abb.3) basiert auf den Auswertungen mittels der linearen Regression über alle stationären Meßwerte. Die Wirkungsgradkennlinie kann mit den in der Gleichung (1) angegebenen Werten berechnet werden.

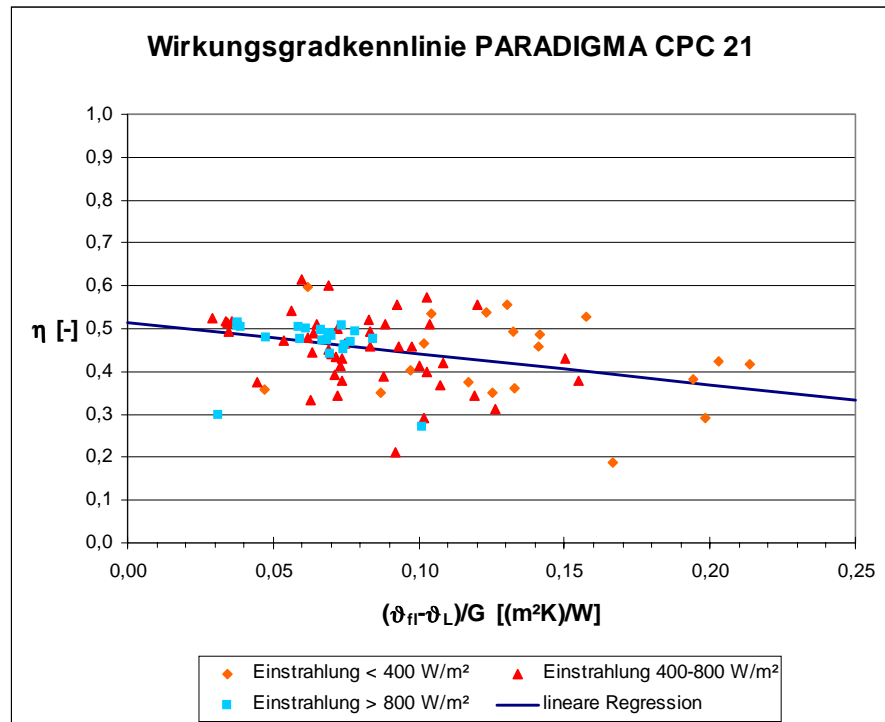


Abb.3: Wirkungsgradkennlinie PARADIGMA CPC 21

$$\eta = F' \tau \alpha - F' U \frac{(\overline{\vartheta}_f - \vartheta_L)}{G} = 0,515 - 0,726 \frac{(\overline{\vartheta}_f - \vartheta_L)}{G} \quad (1)$$

Bei den erforderlichen Auslegungstemperaturen für die Diffusions-Absorptions-Kältemaschine von 122 °C und Auslegungsumgebungstemperatur von 32 °C liegt der Kollektorwirkungsgrad bei 1000 W/m² bei 45 %.

6. Ausblick

Die Entwicklung und die ersten Betriebserfahrungen der indirekt beheizten Diffusions-Absorptionskältemaschine stellen eine äußerst vielversprechende Grundlage für eine weitere Verwertung dieser Technologie dar.

Development of a Solar Powered Diffusion-Absorption Cooling Machine

Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob, Dipl.-Ing. Dietrich Schneider, Prof. Dr. Ursula Eicker
University of Applied Sciences Stuttgart, Department of Building Physics
Schellingstraße 24, D-70174 Stuttgart, Germany
Tel: +49 / (0)711 / 121-2889, Fax: +49 / (0)711 / 121-2666
e-mail: jakob.fbp@fht-stuttgart.de, Internet: <http://www.fht-stuttgart.de>

Summary

Until now there have been no thermally driven cooling machines providing cold at low temperatures with a power range under 10 kW. In a European research project a solar heated ammonia-water Diffusion-Absorption Cooling Machine (DACM) was developed, which provides 2,5 kW cooling capacity at temperatures between -10 and $+5$ °C with indirect heating through vacuum tubes collectors. The first prototype is realized at the HfT Stuttgart and the first measurement results are available.

The principle of the diffusion-absorption technique is based on the pressure equilibration between high and low pressure side through an auxiliary gas (in this case helium), so that inside the unit no mechanically moving parts are necessary. Through the thermosyphon operation of the auxiliary gas circuit the pressure losses in the heat exchanger and in the evaporator have to be extremely low. A further special request on this type of cooling machine is the indirect heating through a solar collector field at temperature levels as low as possible. In contrast to a directly heated generator using gas or electricity there are only low heat flux densities available from indirectly heated generators using temperatures between 100 °C and 140 °C which makes the operation of a thermally driven gas bubble pump more difficult.

At applications to air-conditioning of buildings i.e. evaporator temperatures above $+5$ °C, coefficients of performance of 0.75 at condenser temperatures between 30 – 45 °C are possible. If low temperatures of -10 °C are required, the coefficient of performance is falling under 0.65.