

- [4] Fischer, H.-M.: Auswirkungen der europäischen Normung auf die deutsche Normungssituation im Bereich der Bauakustik, wksb 40 (1997)
- [5] DIN EN 12354 Teile 1 bis 4: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften; Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen (Dez. 2000); Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen (Dez. 2000); Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außengeräusche (Sept. 2000); Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie (April 2001);
- [6] Beiblatt 1 zu DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren (Nov. 1989)
- [7] Späh, M., Blessing, S., Fischer, H.-M.: Verifizierung des Rechenverfahrens für die Luftschalldämmung nach EN 12354-1 für den Massivbau; Teil 1: Einfluß von Eingangsgrößen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2001 Hamburg
- [8] Blessing, S., Späh, M., Fischer, H.-M., Schneider, M.: Verifizierung des Rechenverfahrens für die Luftschalldämmung nach EN 12354-1 für den Massivbau; Teil 2: Erreichbare Genauigkeit. Fortschritte der Akustik, DAGA 2001 Hamburg
- [9] Fischer, H.-M., Schneider, M., Blessing, S.: Einheitliches Konzept zur Berücksichtigung des Verlustfaktors bei Messung und Berechnung der Schalldämmung massiver Wände. Fortschritte der Akustik, DAGA 2001 Hamburg
- [10] Schneider, M., Fischer, H.-M.: Schalldämmung von Mauerwerk aus Lochsteinen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2001 Hamburg
- [11] Europäischer Normentwurf prEN 10848-1: Acoustics - Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms - part 1: frame document (neueste Version: März 2001)
- [12] Schneider, M., Fischer, H.-M.: Messung des Stoßstellendämmmaßes  $K_{ij}$  an Wänden aus Mauerwerk im Labor. Fortschritte der Akustik, DAGA 2000 Oldenburg

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer  
Fachhochschule Stuttgart / Hochschule für Technik  
Fachbereich Grundlagen und Bauphysik  
Schellingstraße 24  
70174 Stuttgart  
Telefon 07 11/1 21-28 39  
Fax 07 11/1 21 26 98  
e-mail: fischer.fbp@fht-stuttgart.de  
privat: Westerstraße 3  
72135 Dettenhausen  
Telefon 0 71 57/56 19 47  
Fax 0 71 57/56 19 86  
e-mail: h-m.fischer@t-online.de

## Diffusions-Absorptionskältetechnik zum Solaren Kühlen

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. +49/07 11/1 21-28 89, Fax: +49/07 11/1 21-26 98  
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. Jahrhundert 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-/Kondensatortemperaturen 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 Verdampferetemperatur von +5 °C und die Absorber-/Kondensatortemperatur von +45 °C.

### 3. Prototypen Entwicklung

Die Entwicklung eines ersten Prototyps der einstufigen solar betriebenen Ammoniak-Wasser ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) 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, Gaswärmewechslers, Absorber und Lösungswärmetauscher sind als vertikale oder horizontale Rohr-bündelwärmetauscher 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 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  $130^\circ\text{C}$  und für den Rücklauf  $120^\circ\text{C}$ .

### 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  $135\text{-}145^\circ\text{C}$  können Verdampfertemperaturen von  $0^\circ\text{C}$  erzeugt werden (Abb. 2). Problematisch sind derzeit noch Instabilitäten im Druck- und Temperaturniveau, die durch Optimierung der Stoffkreisläufe reduziert werden sollen.

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 Ammoniakdampftemperaturen oft über  $100^\circ\text{C}$  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.

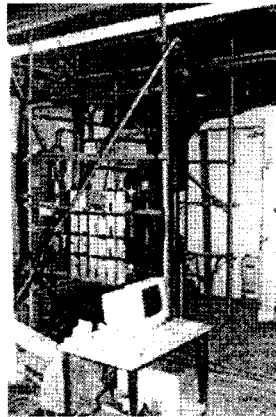


Abb. 1: Diffusions-Absorptions-Kältemaschine mit System- und Meßtechnik

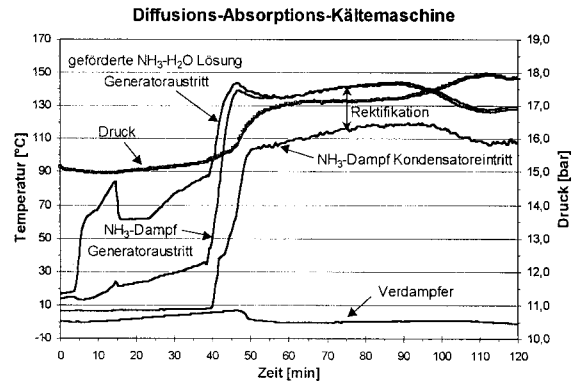


Abb. 2: Temperaturverläufe des Austreibers, Kondensators und Verdampfers

### 5. Kopplung mit solarthermischen Kollektoren

Um die für den Kreisprozeß der Diffusions-Absorptionskältemaschine benötigten Austreibertemperaturen von  $100\text{-}140^\circ\text{C}$  bereitstellen zu können, sind entsprechende Solarkollektoren notwendig. So sind für den Einsatz der Kältemaschine zur Raumklimatisierung gute Flachkollektoren mit mittleren Kollektortemperaturen von bis zu  $100^\circ\text{C}$  und einem damit verbundenen Wirkungsgrad von ca. 30-50% (bei  $800\text{-}1000\text{ W/m}^2$  Einstrahlung) ausreichend. Der Einsatzbereich ist somit aber in Kombination mit Flachkollektoren auf die Klimatisierung mit Kühltemperaturen oberhalb von  $+10^\circ\text{C}$  eingeschränkt. Dafür können dann Röhrenkollektoren die für den Absorptionsprozeß benötigten Temperaturen mit hohem Wirkungsgrad bereitstellen. Vakuumröhrenkollektoren können Temperaturen von  $100\text{ bis }150^\circ\text{C}$  mit einem akzeptablen Wirkungsgrad erreichen (bei  $100^\circ\text{C} \Rightarrow \eta = 50\text{-}65\%$  und bei  $150^\circ\text{C} \Rightarrow \eta = 30\text{ bis }50\%$  - bei Einstrahlungen im Intervall  $800\text{-}1000\text{ W/m}^2$ ).

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 in Bezug auf hohe Kollektortemperaturen von über  $100^\circ\text{C}$  untersucht. Die gesamte Aperturfläche beträgt  $19,3\text{ m}^2$ . Bei den Messungen wurden Kollektorausgangstemperaturen von bis zu  $140^\circ\text{C}$  bei einem Kollektorstufenwirkungsgrad von 0,40 erreicht.

## MS Baumanagementberatung Prof. Dipl.-Ing. Martin Schlenker

öbuv. Sachverständiger:  
 Baupreisermittlung - Bauablaufstörungen

## Nachtragsmanagement

bei Bauleistungsänderungen - Bauablaufstörungen  
 für Auftraggeber und Auftragnehmer

Beratung - Prüfung - Dokumentation - Gutachten

August-Lämmle-Weg 18/3 · 71229 Leonberg  
 Telefon/Fax (0 71 52) 7 38 39/7 56 57  
 martin@schlenker.net

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.

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

Bei den erforderlichen Auslegungstemperaturen für die Diffusions-Absorptions-Kältemaschine von 122 °C und Auslegungsumgebungstemperatur von 32 °C liegt der Kollektorwirkungsgrad bei 1000 W/m<sup>2</sup> bei 45%.

#### 6. Ausblick

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

## 3D-Visualisierung und 3D-Animation aus einer verformungstreuen Bauaufnahme Schloss Ludwigsburg

Prof. Dr.-Ing. Peter Breuer

Im Jahr 2004 wird das 300-jährige Gründungsjubiläum des Schlosses Ludwigsburg gefeiert. Aus diesem Anlass und zu diesem Datum sollen die Gärten rund um die einstige württembergische Herzogsresidenz wieder so präsentiert werden, wie sie im barocken Urzustand aussahen. Zu den geplanten Umgestaltungsmaßnahmen gehört auch die Wiederherstellung des ehemaligen „Brunnenhöflein“ auf der Südseite des Neuen Corps de Logis, das heute durch ein Gewölbe abgedeckt unter der Terrasse zum Barockgarten liegt.

Das früher offene, in den Barockgarten eingetieftes Brunnenhöflein (Bild 1) wurde erst im Jahre 1814 mit einem Gewölbe nach Plänen des Architekten Thouret überbaut und zu einer geschlossenen Grotte umgestaltet. Diese Baumaßnahme sollte den Höhenunterschied zwischen dem inneren Schlosshof und dem Barockgarten, der etwa eine Stockwerkshöhe beträgt, kaschieren.

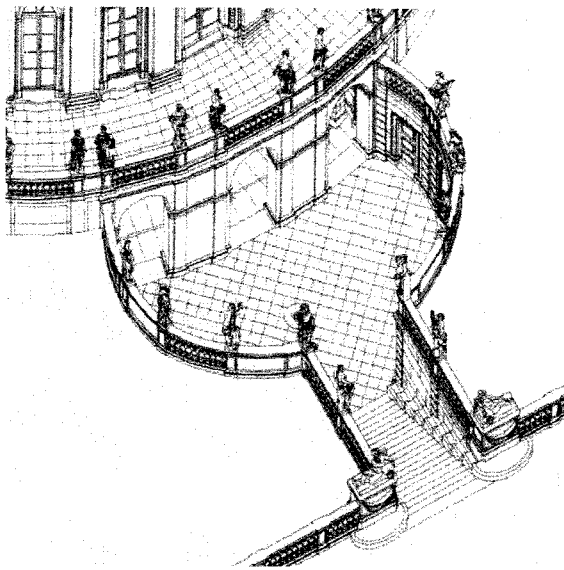


Bild 1: Das Brunnenhöflein um 1732 nach einem Riß des Baumeisters Frisoni  
190

Die Absicht zum Rückbau des kleinen Hofes gab den Anlass zu einer großmaßstäblichen 3D-Bauaufnahme, die innerhalb einer Diplomarbeit ausgeführt und in einem CAD-System aufbereitet wurde. Neben der Herstellung von Grundrissen und Schnitten bestand das Ziel darin, den barocken und den heutigen Bauzustand in 3D-Animationen darzustellen.

Für die geplante 3D-Animation musste zuerst ein 3D-Gebäudemodell erzeugt werden. Die bereits in früheren Diplomarbeiten für Teile des Neuen Corps de Logis erstellten Grundrisspläne mussten durch Höhenaufnahmen ergänzt werden. Die an das Neue Corps de Logis südlich anschließende Terrasse zum Barockgarten und ein Teil des Gartenparterre musste tachymetrisch erfasst werden, da bisher für diesen Bereich noch keine großmaßstäblichen Grundrisspläne existierten.

Für die Erstellung des 3D-Modells wurde das 3D-CAD-System RIBCON von RIB gewählt. Dieses System ist besonders für 3D-Modellierung im Architekturbereich geeignet. Zur Einarbeitung in das System RIBCON wurde eine Probearbeit über die Räume des Lapidariums (Bild 2) angefertigt.

Der große Vorteil von RIBCON besteht darin, dass aus einem 3D-Modell beliebig ausgewählte Schnitte und Axonometrien erzeugt werden können. Für die Schnitterzeugung sind die Schnittlinien und die Blickrichtungen anzugeben. Axonometrien werden über eine Dialogmaske definiert, in der die horizontalen und die vertikalen Sichtwinkel festzulegen waren.

Die vom System erzeugten Ansichten mussten zum Teil anschließend überarbeitet werden, da einzelne unerwünschte Kanten sichtbar geblieben waren. Mit dem Hilfsmittel „Radierer“ konnten die betreffenden Linien in den Ansichten gelöscht werden. Die bearbeiteten Bauteile bleiben jedoch im Gebäudemodell vollständig erhalten.

Das eingangs beschriebene Brunnenhöflein, das heute nur noch als unterirdische Grotte vorhanden ist und die darüber liegende Terrasse zum Barockgarten mussten vermessungstechnisch in Beziehung gesetzt werden, um die gegenseitige räumliche Beziehung für die 3D-Visualisierung zu erfassen.

Der erste Schritt bestand in der Erzeugung eines 3D-Gebäudemodells, von dem Schnitte und Axonometrien ab-