

# **Entwicklung einer direkt solar angetriebenen Kälteanlage auf Basis des Diffusions-Absorptions-Kälteprozesses**

**Fabian Schmid, Marco Zetzsche, Klaus Spindler**

*schmid@itw.uni-stuttgart.de*

**Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)**

**Universität Stuttgart**

**Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart**

## **Kurzfassung**

In den letzten Jahren lag der Fokus der solaren Kühlung auf Ad- und Absorptionskälteanlagen. Diese Anlagen haben einen Leistungsbereich von mehr als 10 kW. Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik wird ein neues Konzept zur dezentralen solaren Kühlung entwickelt. Grundlage ist der Diffusions-Absorptionskälteprozess. Hierbei erfolgt der Lösungsmittelumlauf durch das Thermosiphonprinzip. Dadurch hat die entwickelte Anlage den Vorteil, dass sie verschleißfrei, strom- und geräuschlos arbeitet. Die Bauteile der Kälteanlage werden teilweise direkt in den Solarkollektor integriert (Thermosiphonpumpe/Austreiber). Es wird eine Kälteleistung von circa 400 W angestrebt. Für größere Kälteleistungen sollen mehrere Anlagen modular verschaltet werden. Durch den im Solarkollektor ebenfalls integrierten Mäander, kann der Solarkollektor bei Bedarf auch zur Brauchwassererwärmung eingesetzt werden.

Die Anlage wurde im Labor vermessen. Dabei wurde der Einfluss von unterschiedlichen Heizleistungen sowie der Einfluss von Rückkühlung durch freie und erzwungene Konvektion auf die Kälteleistung der Anlage untersucht. Die inneren Wärmeübertrager haben einen großen Einfluss auf die Leistung sowie die Leistungszahl der Anlage. Im Zuge der Entwicklung sind verschiedene Wärmeübertrager untersucht und in der Anlage getestet worden.

Es wird das Verfahren zur Kälteerzeugung detailliert beschrieben und die Laboranlage vorgestellt. Weiterhin wird über die ersten Betriebserfahrungen und die gewonnenen Messwerte berichtet. Die zukünftigen Entwicklungsschritte und Potentiale der Technik werden erläutert.

*Stichworte: Solare Kühlung, Ammoniak-Wasser, Helium, Diffusion-Absorption, Thermosiphonprinzip*

## 1. Einleitung

Der Markt der dezentralen Gebäudekühlung wird bisher von Split-Geräten dominiert. Der Leistungsbereich dieser Geräte liegt zwischen 1 und 3 kW Kälteleistung. Die Anlagen haben einen hohen Strombedarf und damit verbunden einen hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Durch solarthermisch angetriebene Kältemaschinen wird zunehmend versucht, den Strombedarf zur Gebäudekühlung zu senken. Jedoch sind viele dieser Kältemaschinen noch sehr teuer und überwiegend im Leistungsbereich größer 10 kW angesiedelt. Anlagen mit kleinerer Kälteleistung, die solarthermisch angetrieben werden, sind bislang nicht verfügbar.

In einem Forschungsprojekt am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) wird der Diffusions-Absorptionsprozess für die solare Kühlung untersucht. Das Anlagenkonzept sieht eine Kälteleistung von 400 W vor. Im Unterschied zu den bislang verfügbaren solarthermisch angetriebenen Kälteanlagen, kann der Kälteprozess direkt und ohne Zwischenkreislauf in einen Solarkollektor integriert werden.

## 2. Projektidee

Der Betrieb der Diffusions-Absorptionskälteanlage ist geräuschlos und unabhängig von der Stromversorgung. Deshalb wird der Prozess heute noch für Kühlschränke, die geräuschlos funktionieren müssen (z.B. Minibars im Hotelzimmer) und für Campingkühlschränke, die mit Propangas beheizt werden, eingesetzt.

Als Arbeitsstoffe kommen Ammoniak (Kältemittel), Wasser (Lösungsmittel) und Wasserstoff oder Helium (als druckausgleichendes Hilfsgas) zum Einsatz. Die Besonderheit des Prozesses ist, dass im Verdampfer der gleiche Gesamtdruck wie im Kondensator herrscht. Der Phasenwechsel des Kältemittels erfolgt durch Verdunstung aufgrund eines geringeren Ammoniakpartialdrucks. Deshalb wird in diesem Zusammenhang die Bezeichnung *Verdunster* statt *Verdampfer* verwendet. Um den Partialdruck von Ammoniak abzusenken wird ein druckausgleichendes Hilfsgas benötigt.

In einem Forschungsprojekt soll der Einsatz des Diffusions-Absorptionskälteprozesses für die solare Kühlung untersucht werden. Dabei bestehen wesentliche wissenschaftliche Herausforderungen:

- Erhöhung der Kälteleistung auf ca. 400 W unter Beibehaltung der Wärmeübertragerkonstruktion (keine Behälterbauweise)
- Integration des direkt solar beheizten Austreibers in den Kollektor
- Untersuchung des Förderverhaltens von parallelen, geneigten und über die komplette Länge beheizten Austreiberrohren

Mit diesem Anlagenkonzept eröffnen sich neue Möglichkeiten für die solare Kühlung. Das Kälteaggregat befindet sich direkt am Solarkollektor. Eine Anlage zur Kälteversorgung kann aus mehreren Kollektoren modular aufgebaut werden. Zusätzlich zur Kälteproduktion kann Heizwärme über den üblichen Kupfermäander

am Solarkollektor, der parallel zu den Kältemittelrohren installiert ist, ausgekoppelt werden. Die Regelung des Systems ist sehr einfach. Wenn Wärme über den Heizkreis abgeführt wird, kann die Kältemaschine nicht in Betrieb gehen, da das benötigte Temperaturniveau für den Austreiber nicht zur Verfügung steht. Wenn keine Wärme aus dem Heizkreis abgeführt wird und die Temperatur auf über 100 °C ansteigt, wird der Kälteprozess in Gang gesetzt.

### **3. Literaturübersicht**

Der Diffusions-Absorptionskälteprozess wurde erstmalig 1925 von v. Platen und Munters in einem Kühlschrankschrank realisiert. Der Prozess wurde z.B. von Altenkirch [1] und Stierlin [2] für die Kühlschrankschrankanwendung vielfältig untersucht und optimiert. In einer Forschungsarbeit an der HfT Stuttgart [3] im Jahr 2007 wurde der Prozess für die solare Kühlung angewendet. Dabei wurde die Kälteleistung im Vergleich zum Kühlschrankschrank deutlich gesteigert. Bei der Konstruktion musste dabei auf eine Behälterbauweise übergegangen werden. Dadurch konnte eine Kälteleistung von 2,5 kW erreicht werden. In der entwickelten Kältemaschine sind alle wärmeübertragenden Bauteile an externe Heiz- und Kühlkreisläufe mit Wasser als Wärmeübertragerfluid angeschlossen.

Weiterhin wurden in Bezug auf die Kühlschrankschrankanwendung zahlreiche Berechnungen und Simulationen verschiedener Schaltungen von Zohar et al. [4],[5],[6] durchgeführt. Speziell mit der Modellierung der Verdunstungsvorgänge mit drei Komponenten (Ammoniak, Wasserstoff, Wasser) beschäftigte sich Kouremenos et al. [7],[8].

### **4. Der Diffusions-Absorptionskälteprozess**

Abbildung 4.1 zeigt den Prozess. Im Unterschied zur klassischen Prozessdarstellung (z.B. nach [9] und [10]) ist ein solar beheizbarer Austreiber dargestellt. Im Kollektorbau wird diese Bauform als „Harfe“ bezeichnet. Aus dem Verteilrohr führen parallel durchströmte Steigrohre zum Sammelrohr. Der Wärmeeintrag erfolgt über Wärmeleitung vom Absorberblech des Solarkollektors auf die Steigrohre. Weiterhin wird als Lösungsmittelwärmeübertrager ein Plattenwärmeübertrager an Stelle eines Doppelrohrwärmeübertragers verwendet.

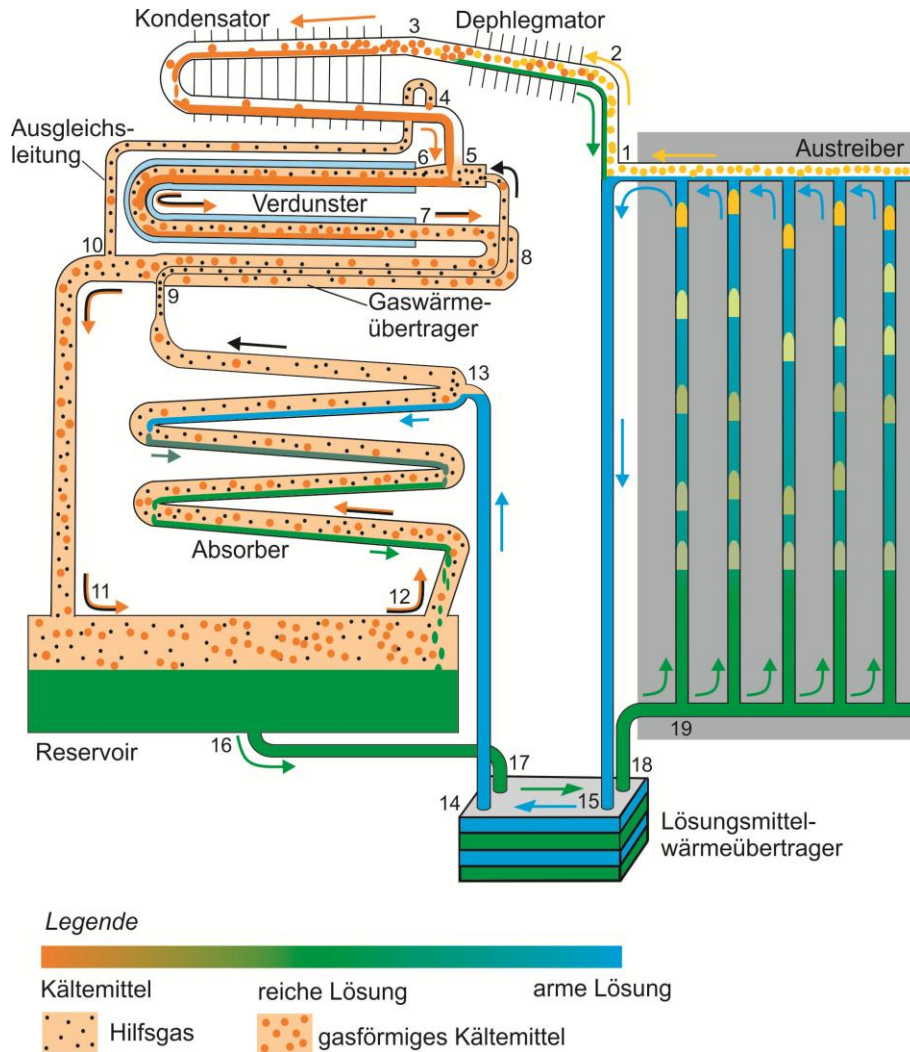


Abbildung 4.1 Prozessschaubild der neu entwickelten Diffusions-Absorptionskältemaschine.

## 5. Prozessbeschreibung

### Definitionen:

<i>Reiche Lösung</i>	Flüssige Ammoniak/Wasser-Mischung mit hohem Ammoniakanteil (ca. 45 %)
<i>Arme Lösung</i>	Flüssige Ammoniak/Wasser-Mischung mit niedrigem Ammoniakanteil (ca. 40 %)
<i>Reiches Gas</i>	Gasgemisch aus Ammoniak und Helium mit hohem Ammoniakanteil
<i>Armes Gas</i>	Gasgemisch aus Ammoniak und Helium mit niedrigem Ammoniakanteil

Im Ruhezustand befindet sich im Reservoir, im Lösungsmittelwärmeübertrager und im Austreiber flüssige reiche Lösung. Der Austreiber ist zu ca. 1/3 der Steigrohrlänge flüssigkeitsgefüllt. Wenn der Austreiber beheizt wird, verdampft Ammoniak aus der reichen Lösung. Es bilden sich Gasblasen, die aufgrund der geringeren Dichte nach oben steigen. In den Steigrohren der „Harfe“ entsteht eine Zweiphasenströmung. Im oberen Sammelrohr erfolgt eine Trennung in Flüssigkeit, die nun arm an Ammoniak ist und den Ammoniakdampf. Die arme Lösung fließt in den Lösungsmittelwärmeübertrager ab. Der Dampf strömt in den Dephlegmator, einen

Wärmeübertrager der mit Umgebungsluft gekühlt wird. Aufgrund der Kühlung, verringert sich die Temperatur des Dampfes und das darin noch enthaltene Wasser kondensiert und fließt ebenfalls in den Lösungsmittelwärmeübertrager. Das Kältemittel (Ammoniak mit geringen Wasseranteilen) wird im Kondensator unter Wärmeabgabe verflüssigt. Es strömt in den Verdunster. Dieser wird ebenfalls vom druckausgleichenden Hilfgas (hier: Helium) durchströmt. Der Partialdruck von Ammoniak im Verdunster entspricht dem Niederdruck in einer herkömmlichen Absorptions- oder Kompressionskältemaschine. Die Summe der Partialdrücke von Ammoniak und Helium ergibt den Gesamtdruck, der in der kompletten Anlage herrscht. Der Verdunstungsvorgang ähnelt dem Verdunsten von Wasser in Luft. Das durch das Zuführen von Wärme verdunstete Ammoniak diffundiert in die Hilfgasatmosphäre hinein (Siehe Abbildung 5.1). Im Verdunster entsteht die nutzbare Kälteleistung. Am Austritt des Verdunsters liegt ein Gasgemisch aus Ammoniak und Helium vor. Dieses Gasgemisch strömt durch den Gaswärmeübertrager. Dabei wird die noch enthaltene Kälteenergie dieses „reichen Gases“ (hoher Ammoniakanteil) auf das im Gegenstrom geführte „arme Gas“ (niedriger Ammoniakanteil) übertragen. Das reiche Gas strömt über das Reservoir in den Absorber. Dort wird es im Gegenstrom mit der flüssigen armen Lösung geführt. Dabei findet der Stoffübergang durch Absorption des Ammoniaks aus dem reichen Gas in die arme Lösung statt. Die Partialdruckunterschiede im Gas werden durch Diffusionsvorgänge ausgeglichen (Siehe Abbildung 5.2). Infolge des Stoffübergangs verringert sich die Dichte des Gases und dieses steigt in den Absorber auf und strömt in den Gaswärmeübertrager.

Die arme Lösung, die den Austreiber verlässt, hat einen hohen Wasseranteil und einen niedrigen Ammoniakanteil. Durch den Höhenunterschied zwischen Austreiberaustritt und Absorbereintritt strömt die arme Lösung zum Absorber. Im Absorber wird Ammoniak aus dem reichen Gas von der armen Lösung absorbiert. Dadurch wird diese zur reichen Lösung.

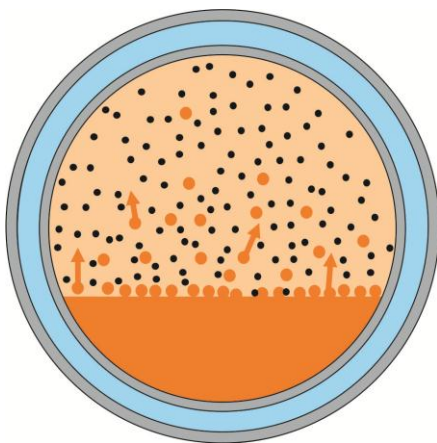


Abbildung 5.1

*Verdunstung von Kältemittel in das Hilfgas*

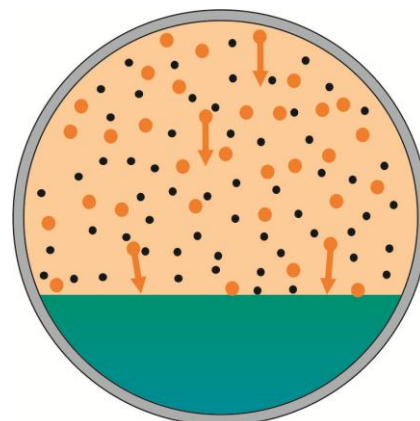


Abbildung 5.2

*Absorption von Kältemittel aus dem Gasgemisch*

 Hilfgas
  Kältemittel

Die Umläufe von Flüssigkeit und Gas in der Anlage beruhen ausschließlich auf Höhen- und Dichteunterschieden:

***Flüssigkeitsumlauf:***

Die reiche Lösung strömt vom Reservoir zum Austreiber und wird in diesem nach oben gefördert, da sich die Dichte aufgrund der Beheizung verringert. Dabei muss der Druckverlust des Lösungsmittelwärmeübertragers überwunden werden. Die arme Lösung strömt vom Austreiber zum Absorber aufgrund des Höhenunterschieds zwischen Austreiberaustritt und Absorbereintritt. Dabei muss ebenfalls der Druckverlust des Lösungsmittelwärmeübertragers kompensiert werden. Weiterhin kommt es durch die Temperaturabsenkung im Lösungsmittelwärmeübertrager zu einer Erhöhung der Dichte. Dieser Effekt wirkt der Zirkulation entgegen und muss ebenfalls durch den Höhenunterschied der Anschlüsse kompensiert werden.

***Gasumlauf:***

Aufgrund seiner höheren Dichte sinkt das reiche Gas, das mit Ammoniak beladen ist vom Verdunster in das Reservoir. Durch den Stoffübergang im Absorber zwischen armer Lösung und reichem Gas sinkt die Dichte des Gases. Das leichtere Gas steigt nach oben in den Verdunster.

Die Lage der Bauteile zueinander sowie die Höhenunterschiede von Ein- und Austrittsöffnungen sind von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren des Kälteprozesses. Weiterhin dürfen keine großen Druckverluste zugelassen werden, was die Wärme- und Stoffübertragung sowie die Prozessführung erschwert.

## **6. Aufbau der Versuchsanlage**

Die Diffusions-Absorptionskältemaschine wurde komplett aus Edelstahlbauteilen gefertigt. Um eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Weiterentwicklung der Anlage zu erreichen, wurden alle Komponenten durch Swagelok-Schraubverbindungen miteinander verbunden. Dadurch können einzelne Bauteile schnell ausgetauscht und getestet werden. Der gesamte Aufbau der Versuchsanlage ist in Abbildung 6.1 dargestellt. Der Austreiber ist gegenüber der Horizontalen um 60° geneigt. Er besteht aus fünf parallel angeordneten Steigrohren mit einer Länge von jeweils 1,9 m. Diese werden im Laborbetrieb von außen mit Heizbändern beheizt. Die Brutto-Heizleistung pro Strang kann zwischen 0 und 500 W variiert werden. Somit kann eine maximale Gesamtheizleistung von 2500 W realisiert werden. Die Heizbänder sind zur Umgebung hin wärmegeklämt. Durch Messungen der Oberflächentemperatur konnten die Wärmeverluste der Heizbänder zur Umgebung berechnet werden. Diese liegen bei circa 10% der eingestellten Brutto-Heizleistung. Der Dephlegmator, der Kondensator und der Absorber bestehen aus luftgekühlten Rippenrohren. Als Lösungsmittelwärmeübertrager wird ein Plattenwärmeübertrager eingesetzt. Der Gaswärmeübertrager und der Verdunster sind Doppelrohr-Wärmeübertrager und werden im Gegenstrom durchströmt. Der externe Verdunsterkreislauf wird von Wasser durchströmt und mit einem Laborthermostat beheizt. Die Umgebungstemperatur wurde über die Raumlüftung auf 26°C - 28°C geregelt. Über

direkt am Kondensator und am Absorber angebrachte Lüfter kann der Einfluss von freier und erzwungener Konvektion zur Wärmeabfuhr untersucht werden.

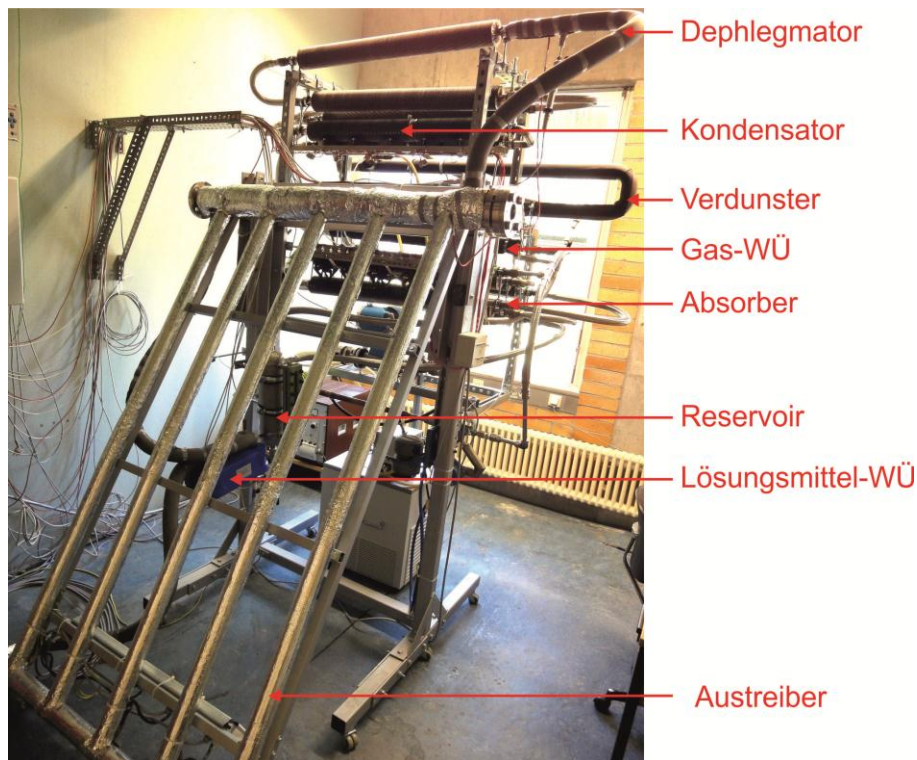


Abbildung 6.1 Messaufbau am ITW

Die Versuchsanlage ist mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. Der Messaufbau ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Die Temperaturen zur Bilanzierung des Gas- und des Lösungsmittelwärmeübertragers ( $T_4 - T_{11}$ ) werden direkt im Hilfgas und Lösungsmittel mit PT-100 Widerstandsthermometern der Klasse 1/10 B gemessen. Die Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  werden am Ein- und Austritt des externen Verdunsterkreislaufs gemessen. Der Volumenstrom  $\dot{V}_3$  wird mittels eines magnetisch induktiven Durchflussmessers MID (Aquaflux 090C, Firma Krohne) gemessen. Somit kann die Kälteleistung berechnet werden:

$$\dot{Q}_{Kälte} = \dot{V}_3 \cdot \rho_3(T_3) \cdot c_p(T_3) \cdot (T_1 - T_2)$$

Durch einen Drucksensor (0-25 bar) wird der Gesamtdruck der Anlage gemessen. Des Weiteren werden zwei Coriolis-Messgeräte zur kontinuierlichen Messung der Massenströme und der Dichte eingesetzt. Im Strang der armen Lösung (Messstelle 12) wird ein Coriolis-Messgerät (CMF025, Firma Emerson) verwendet. Für die Messung des Kondensats (Messstelle 19) wird ebenfalls ein Coriolis-Messgerät (CMFS010, Firma Emerson) eingesetzt. Durch die kontinuierliche Messung der Dichte  $\rho$  kann die Ammoniakkonzentration  $\xi$  für jeden Messpunkt ermittelt werden:

$$\xi = f(\rho, T, p)$$

Aus dem Druck, der Temperatur und der Dichte kann somit die Konzentration für jeden Messpunkt berechnet werden. Dafür wurde die Stoffwertbibliothek für Ammoniak/Wasser der Hochschule Zittau [11] verwendet.

Über PT-100 Anlege-Widerstandsthermometer ( $T_{13} - T_{18}$ ) werden die Temperaturen im Austreiber, Dephlegmator und Kondensator gemessen. Die Spannung und die Gesamtstromstärke der Heizbänder werden über Messumformer in ein Signal von 4 - 20 mA umgewandelt.

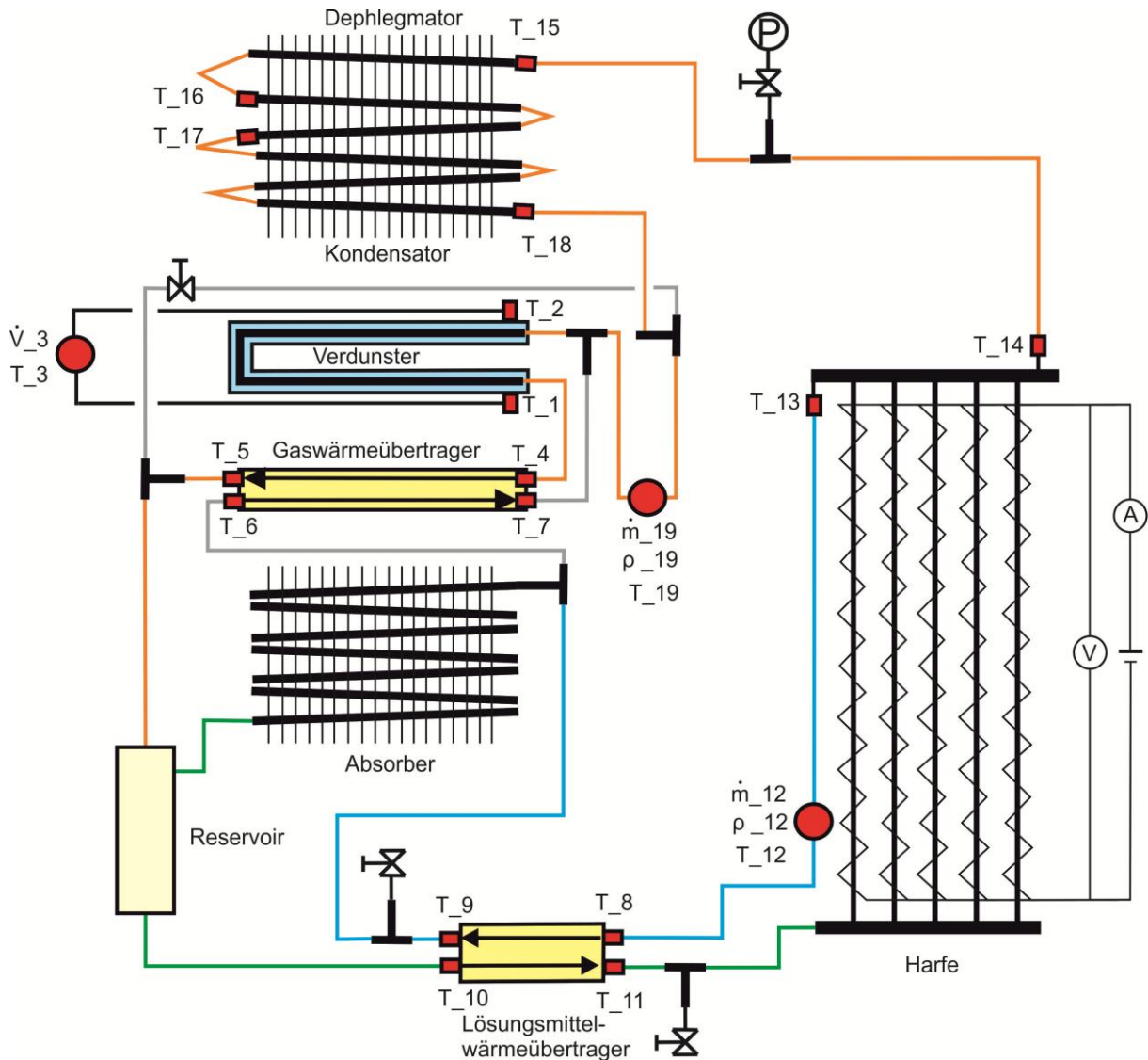


Abbildung 6.2 Messaufbau der Diffusions-Absorptionskältemaschine



## 7. Erste Messungen

Die Rahmenbedingungen der durchgeführten Messung sind:

- Massenstrom im externen Verdunsterkreislauf = 100 l/h
- Externe Verdunstereintrittstemperatur = 15°C
- Elektrische Beheizung über Heizbänder

In Abbildung 7.1 ist die Kälteleistung bei freier Konvektion am Kondensator und Absorber, das bedeutet bei ausgeschalteten Lüftern, dargestellt. Es ist eine zyklisch schwankende Kälteleistung während der Messung erkennbar. Die Ursachen sind der ebenfalls stark schwankende, geförderte Massenstrom des Austreibers (Thermosiphonpumpe) und der schwankende Dampfmassenstrom. Dadurch kommt es zu starken Schwankungen der Temperatur der armen Lösung und des Kondensators. In Phasen mit einer hohen Kondensatortemperatur strömen größere Mengen an Ammoniakdampf über die Ausgleichsleitung. Dadurch verringert sich der Umlauf des Hilfsgases, wodurch die Kälteleistung sinkt. Die Änderung der Kondensatortemperatur bewirkt eine Änderung des Gesamtdrucks der Anlage. Zusätzlich führt eine höhere Temperatur der armen Lösung zu einem größeren Wärmestrom im Lösungsmittelwärmeübertrager. Dadurch steigt die Eintrittstemperatur der reichen Lösung am Austreiber. Der Gesamtdruck der Anlage und die Eintrittstemperatur der reichen Lösung führen wiederum zu einer Rückkopplung auf das Betriebsverhalten der Thermosiphonpumpe und beeinflussen den geförderten Massenstrom.

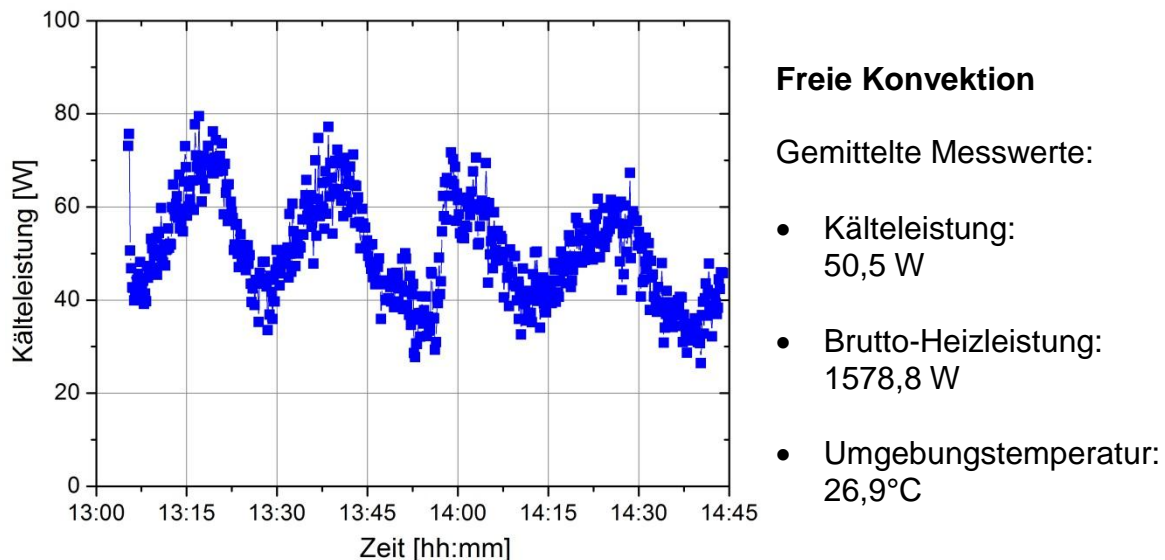
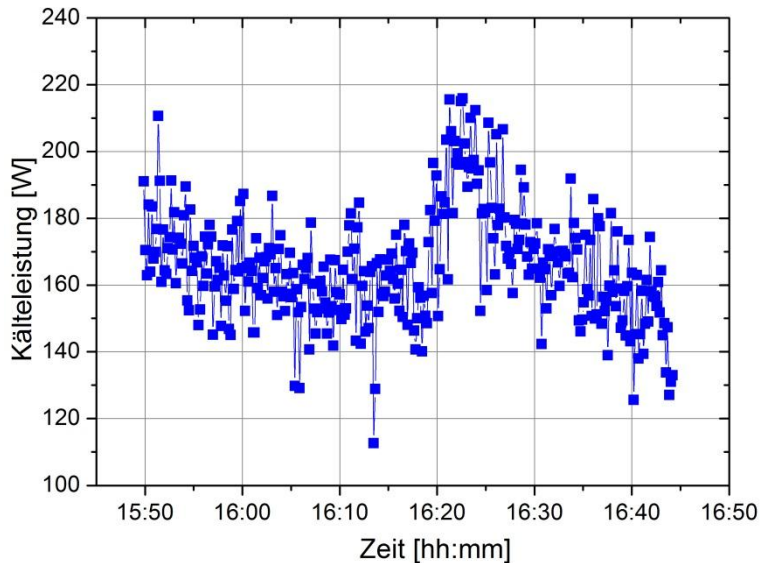


Abbildung 7.1 Kälteleistung bei freier Konvektion am Kondensator und Absorber

In Abbildung 7.2 ist Kälteleistung bei erzwungener Konvektion, das heißt angeschalteten Lüftern, am Kondensator dargestellt. Die Kälteleistung ist circa dreimal so hoch wie bei freier Konvektion. Durch die bessere Kühlung des Kondensators steigen der Kondensatmassenstrom und dadurch auch die Kälteleistung an. Durch die erzwungene Konvektion bleiben die Kondensatortemperatur und in Folge dessen der Gesamtdruck stabiler. Außerdem

strömt kein Ammoniakdampf mehr durch die Ausgleichsleitung (an der Temperatur der Ausgleichsleitung fühlbar). Diese beiden Effekte führen zu einer konstanteren Kälteleistung bei erzwungener Konvektion am Kondensator.



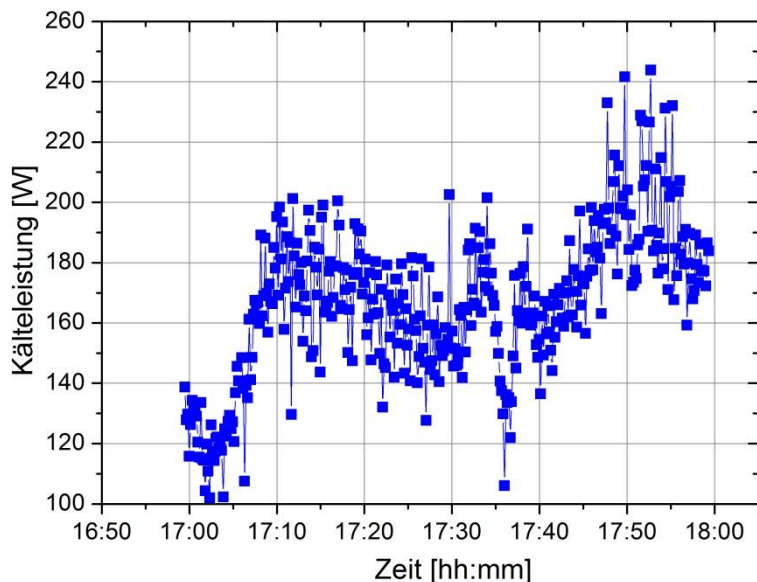
**Erzwungene Konvektion  
(Kondensator)  
freie Konvektion (Absorber)**

Gemittelte Messwerte:

- Kälteleistung:  
165,8 W
- Brutto-Heizleistung:  
1577,8 W
- Umgebungstemperatur:  
27,3°C

Abbildung 7.2 Kälteleistung bei erzwungener Konvektion am Kondensator und freier Konvektion am Absorber

In Abbildung 7.3 ist die Kälteleistung der Anlage bei erzwungener Konvektion am Kondensator und Absorber dargestellt. Man erkennt, dass durch verbesserte Wärmeabfuhr durch erzwungene Konvektion am Absorber die Kälteleistung der Anlage kaum gesteigert werden kann. Das bedeutet, dass bei der momentanen Anlagenkonfiguration die Leistungsfähigkeit des Absorbers nicht durch die Wärmeabfuhr beschränkt ist.



**Erzwungene Konvektion  
(Kondensator+Absorber)**

Gemittelte Messwerte:

- Kälteleistung:  
166,8 W
- Brutto-Heizleistung:  
1577,6 W
- Umgebungstemperatur:  
27,7°C

Abbildung 7.3 Kälteleistung bei erzwungener Konvektion am Kondensator und Absorber

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Auf Basis des Diffusions-Absorptionskälteprozesses wurde eine elektrisch beheizte Laboranlage aufgebaut. Daraus soll eine Anlage zur solaren Kühlung entwickelt werden. Das Konzept sieht vor, dass der Austreiber direkt in einen Solarkollektor integriert wird. Die übrigen Komponenten der Kältemaschine werden auf der Rückseite des Kollektors installiert. Die Antriebswärme wird direkt und ohne Zwischenkreislauf auf das Kältemittel/Lösungsmittelgemisch im Kollektor übertragen. Der Kondensator und der Absorber sind direkt luftgekühlt.

In ersten Messungen wurde die Kälteleistung gemessen und dabei der Einfluss der Wärmeabfuhr am Kondensator und am Absorber untersucht. Bei freier Konvektion am Kondensator stellt sich kein stationärer Zustand ein. Es kommt zu Schwankungen aufgrund des Förderverhaltens der thermisch angetriebenen Thermosiphonpumpe. Bei erzwungener Konvektion am Kondensator konnte eine mittlere Kälteleistung von 166 W erzielt werden. Die zusätzliche Verbesserung der Wärmeabfuhr am Absorber durch erzwungene Konvektion zeigte keine signifikante Erhöhung der Kälteleistung. Um die Zielgröße von 400 W Kälteleistung zu erreichen, muss der Prozess weiter erforscht werden. Dies beinhaltet die Gestaltung und Optimierung der Wärmeübertrager sowie der Prozessführung.

Weiterhin soll ein Solarkollektor mit integriertem Austreiber gebaut und im Sonnensimulator am Institut vermessen werden. Abschließend wird eine neue Kälteanlage gebaut und in einem Freiluftprüfstand vermessen.

## 9. Literatur

- [1] Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 23: *Edmund Altenkirch – Pionier der Kältetechnik*. Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV), Hannover, 2010
- [2] Stierlin, H.: *Große Reduktion des Energieverbrauchs bei den lautlosen Kühlschränken – Eine neue Generation von Absorptionskühlschränken*. KI Klima-Kälte-Heizung Nr.9, S. 363-368, 1980
- [3] Eicker, U., Schneider, D., Teußler, A., Biesinger, A., Päßler, T.: *Optimierung einer Diffusions-Absorptionskältemaschine mittlerer Leistung*. 2007, Bundesministerium für Bildung und Forschung FKZ: 0327351A
- [4] Zohar, A., Jelinek, M., Levy, A., Borde, I.: *The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance*. Applied Thermal Engineering 27, S. 2213–2219, 2007
- [5] Zohar, A., Jelinek, M., Levy, A., Borde, I.: *The influence of the generator and bubble pump configuration on the performance of diffusion absorption refrigeration (DAR) system*. International Journal of Refrigeration 31, S. 963-969, 2008

- [6] Zohar, A., Jelinek, M., Levy, A., Borde, I.: *Numerical investigation of a diffusion absorption refrigeration cycle*. International Journal of Refrigeration 28, S. 515–525, 2005
- [7] Kouremenos, D. A, Stegou-Sagia, A., Antonopoulos, K. A.: *Three-dimensional evaporation process in aqua-ammonia absorption refrigerators using helium as inert gas*. International Journal of Refrigeration, Vol. 17, 1994
- [8] Kouremenos, D. A, Stegou-Sagia, A.: *Measuring the evaporation of NH<sub>3</sub> in triple-fluid gas absorption units*. International Journal of Refrigeration, Vol. 11, 1988
- [9] Niebergall, W., Plank, R.: *Handbuch der Kältetechnik*. Siebenter Band: Sorptionskältemaschinen, Springer-Verlag Berlin, 1959
- [10] Jungnickel, H., Agsten, R., Kraus, W. E.: *Grundlagen der Kältetechnik*. Verlag, Technik GmbH Berlin (1990)
- [11] Hochschule Zittau: *Stoffwert-Programmbibliothek LibAmWa*. Stand: 2010

### **Danksagung**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des *Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* (BMU) unter dem Förderkennzeichen 0325965A gefördert.