

## **Nachhaltiges Heizen und Kühlen mit solarer Diffusions-Absorptionstechnik in Verbindung mit Geothermienutzung**

Prof. Dr. U. Eicker, Dipl.-Ing. C. Vorschulze, Dipl.-Ing.(FH) A. Teusser  
Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 8926 2831, Fax: +49 (0) 711 8926 2698  
E-Mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de  
Internet: www.zafh.net

### **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wurde die Systemkombination einer solarthermisch betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine/Wärmepumpe mit Erdsonden-ankopplung experimentell realisiert und erste Messungen sowie Erdsonden-simulationen durchgeführt. Die Antriebsenergie der Maschine wird durch Solarkollektoren bereitgestellt, im Winter unterstützt durch eine Nachheizung. Zwei Erdwärmesonden mit einer Länge von jeweils 80 m können im Sommer sowohl zur direkten Kühlung, als auch als Wärmesenke für den Kondensator / Absorber der Maschine genutzt werden. Im Winter kann die auf diese Weise in den Boden eingebrachte Energie wieder entzogen werden. Bei einem Gebäude mit einem Heizenergiebedarf von 13500 kWh und einem Kühlenergiebedarf von 1750 kWh kann mit einer 17,5 m<sup>2</sup> solarthermischen Anlage kann der Primärenergiebedarf gegenüber einer elektrischen reversiblen Wärmepumpe um 56% gesenkt werden. Erste Betriebsergebnisse zeigen, dass die projektierte Leistung der Kältemaschine realisiert werden kann und die Sonden mit unterschiedlicher Bohrlochverfüllung von dem entwickelten Simulationsmodell gut abgebildet werden.

### **Abstract**

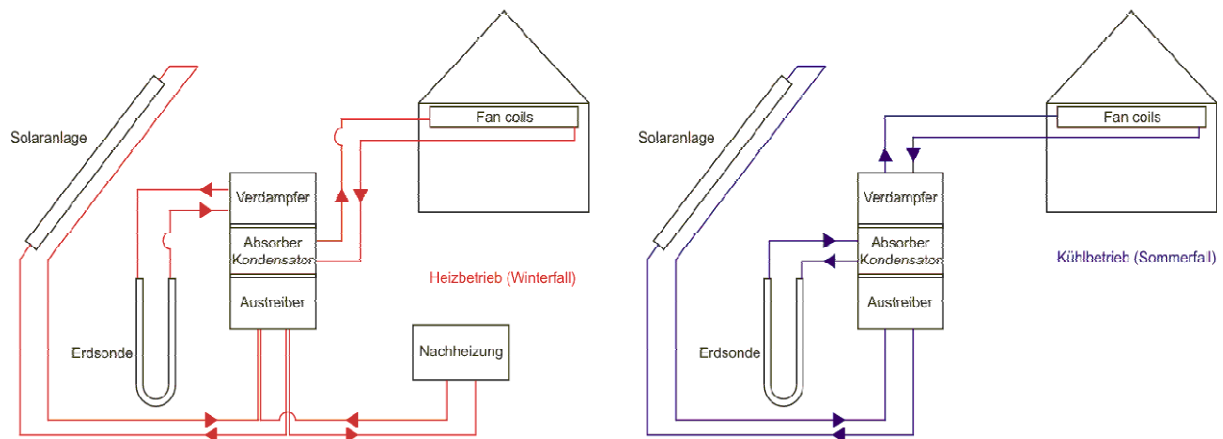
Earth heat exchangers in combination with reversible electrical heat pumps are regularly used for air-conditioning of recent low-energy buildings. At the University of Applied Sciences in Stuttgart, the exchange of the electrical heat pump by a thermal powered diffusion-absorption machine with a nominal cooling power of 3.5 kW and heating power of 7.5 kW is investigated. The driving energy is supplied by solar power, in the wintertime assisted by an auxiliary heater. Two earth heat exchangers with a length of 80 m each can be used for direct cooling of the building during summertime as well as for removal of heat from the condenser / absorber of the machine. During wintertime this energy can be retracted from the ground for heating purposes. The projected saving of primary energy is 56%.

## 1. Einleitung

Die Schaffung eines angenehmen Raumklimas ist eine der Hauptaufgaben bei der Errichtung von Wohngebäuden. Im mitteleuropäischen Klima liegt das Hauptaugenmerk dabei naturgemäß auf der Gebäudeheizung. Darüber hinaus ist jedoch auch eine stetig steigende Nachfrage nach Kühlung zu verzeichnen. In Verbindung mit der kostenlosen Erdwärme sind thermisch betriebene Wärmepumpen eine interessante Alternative zu herkömmlichen elektrischen Wärmepumpen. Ausgereifte Absorptionskältemaschinen mit kleiner Leistung sind jedoch bislang nicht auf dem Markt erhältlich. Ziel des hier vorgestellten Projektes ist die Entwicklung eines thermisch betriebenen Gebäudeheizungs- und Kühlsystems unter Nutzung von Solarenergie und Geothermie. Die Kombination dieser Technologien ermöglicht eine emissions- und geräuscharme Klimatisierung von Gebäuden mit geringen laufenden Kosten. Darüber hinausgehend ist im Vergleich zur konventionellen Kompressionswärmepumpe eine erhebliche Einsparung an Primärenergie und damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erwarten. Für ein Wohngebäude mit einer maximalen Heizlast von 7,5 kW und 2,5 kW Kühllast sowie einem Jahresheizwärmebedarf von 13500 kWh bzw. 1750 kWh Kühlenergiebedarf wurde die Primärenergieeinsparung gegenüber einem vergleichbaren System mit elektrischer Wärmepumpe/Kältemaschine abgeschätzt. Bei einer 100% solaren Deckung des Kühlenergiebedarfs und einer 20 prozentigen Heizungsunterstützung ergibt sich eine jährliche Primärenergieeinsparung von 56%.

Als energetisch vorteilhafte Lösung soll die gewöhnliche elektrische Wärmepumpe durch eine rein thermisch angetriebene Diffusions-Absorptionswärmepumpe/-kältemaschine (DAKM) ersetzt werden. Die Antriebswärme kann im Sommer fast vollständig, im Winter teilweise durch thermische Solarkollektoren bereitgestellt werden. Die Erdsonden können äußerst vorteilhaft im Sommer entweder zur direkten Kühlung des Gebäudes oder aber zur Abfuhr von Kondensator/Absorberwärme bei niedrigem Temperaturniveau genutzt werden, was die Leistungszahl der thermischen Kältemaschine im Vergleich zur Nutzung eines herkömmlichen Nasskühlturms deutlich steigert. In den Wintermonaten kann diese Energie dem Boden wieder entzogen werden und zum Heizen des Gebäudes genutzt werden. Dabei ergibt sich eine optimale Systemkombination, wenn die DAKM als Wärmepumpe genutzt wird. Der angestrebte Leistungsbereich der Anlage in diesem Vorhaben liegt bei 3,5 kW Kälteleistung bei einer Leistungszahl (COP) von 0,5 und 7,5 kW Heizleistung (COP 1,5).

Die folgenden Abbildungen zeigen Systemskizzen der geplanten Anlage im Heiz- und Kühlbetrieb.



**Abbildung 1** Systemskizzen der geplanten Anlage im Heiz- und Kühlbetrieb

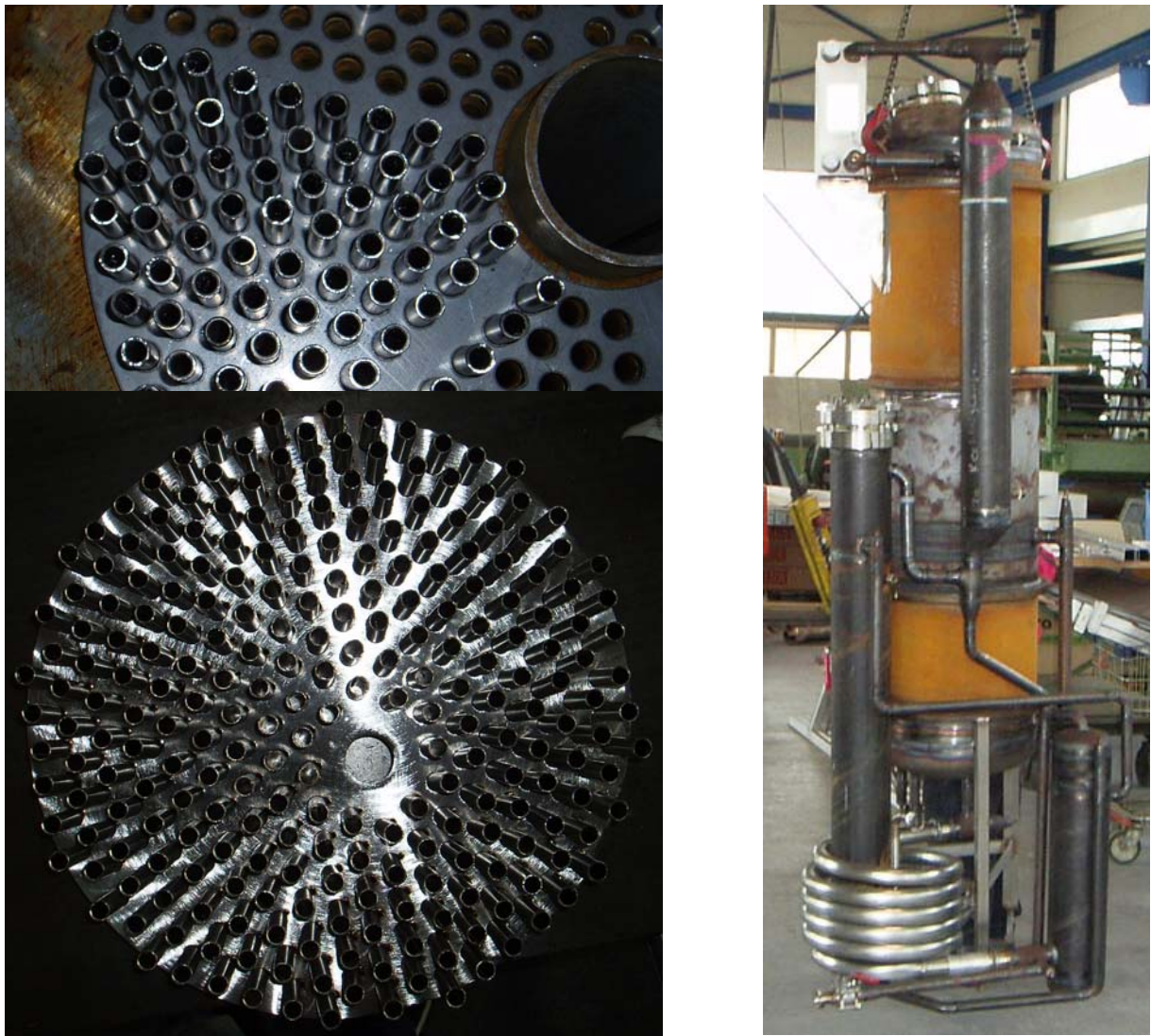
## 2. Diffusions-Absorptionswärmepumpe / -kältemaschine

Thermisch angetriebene Diffusions-Absorptionskältemaschinen auf Ammoniak-Wasserbasis werden derzeit nur im kleinsten Leistungsbereich (bis ca. 100 W) kommerziell eingesetzt, wobei die vorrangigen Einsatzkriterien absolute Geräuschfreiheit (Hotelkühlschränke) und Autonomie der Energieversorgung (Campinggaskühlschränke) sind. Diese Kältemaschinen weisen bei einer einfachen mechanischen Konstruktion sehr geringe Leistungszahlen und dementsprechend hohen Energieverbrauch auf. Für Wärmepumpenanwendungen im Ein- bzw. Mehrfamilienhausbereich stehen zurzeit nur eingeschränkt thermisch betriebene Kälteaggregate im niedrigen bis mittleren Leistungsbereich zur Verfügung.

Für das hier vorgestellte Projekt ist eine an der HFT Stuttgart entwickelte Diffusions-Absorptionskältemaschine systemtechnisch modifiziert worden. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Hydraulikentwicklung und der Modifikation der externen Kreisläufe. Die bisher entwickelten Prototypen waren ausschließlich für die solarthermische Kälteerzeugung vorgesehen. Anders als bei der Systemtechnik für den reinen Kühlbetrieb, bei dem die einzelnen Komponenten der DAKM stets an dieselben Komponenten der Peripherie angeschlossen bleiben, müssen im kombinierten Betrieb abhängig vom Betriebsmodus andere Verschaltungen gewählt werden können. Im Kühlfall wird der Verdampfer der DAKM direkt mit einem Klimakonvektor verbunden. Im Betrieb als Wärmepumpe wird der Verdampfer von den Erdsonden mit Energie versorgt. Diese dienen im Kühlfall dazu, die Kondensations- und Absorptionswärme der DAKM an das Erdreich abzugeben. Im Heizfall wird diese Wärme über den Klimakonvektor zur Raumbeheizung verwendet.

Um die Möglichkeit zu erhalten die einzelnen Komponenten mit unterschiedlichen Medien und Volumenströmen zu betreiben, werden sie mittels Wärmetauscher hydraulisch entkoppelt. Verdampfer und Klimakonvektor stellen hierbei eine Funktionseinheit dar, und kommen somit ohne gegenseitige Entkopplung aus.

Für den Kombinationsbetrieb Solaranlage/Erdsonde liegen bislang keine Erfahrungen vor. Vorrangig soll untersucht werden, wie sich die Erdsonden auf das Betriebsverhalten, maßgeblich auf die Leistungszahlen sowie den Jahresnutzungsgrad des Wärme/ Kälteaggregats auswirken.



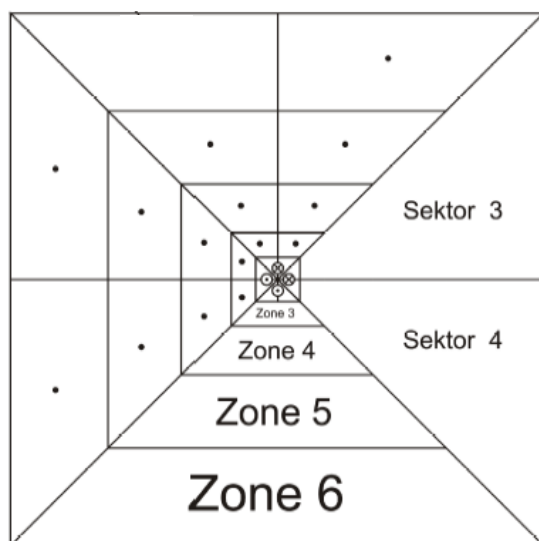
**Abbildung 2** Bauteile der DAKM und fertiger Prototyp

### 3. Geothermie

Nach der Erteilung der Bohrgenehmigung für die Erdwärmesonden durch das Umweltamt der Stadt Stuttgart und das Universitätsbauamt Stuttgart wurden im Juni 2007 zwei Sonden mit einer Länge von je 80 m hergestellt.

Um den Einfluss der Bohrlochverfüllung auf die Leistungsfähigkeit der Erdsonden untersuchen zu können, wurden die beiden Sonden unterschiedlich verfüllt – die eine mit einer Standardverfüllmasse aus Bentonit und Zement, die andere mit einer Hochleistungsverfüllmasse mit hohem Quarzanteil. Die entsprechenden Nennwärmeleitfähigkeiten der beiden Verfüllmassen liegen bei ca. 0,8 W/mK und 2,0 W/mK.

Nach dem Anschluss der Sonden an den Sammler im Technikraum der Versuchshalle wurden mehrere Thermal Response Tests durchgeführt. Hierfür wurde jeweils eine Sonde vom Kreislauf abgesperrt und die andere mithilfe eines Temperiergerätes mit konstantem Massenstrom und einer konstanten Heizleistung beaufschlagt. Siehe Abbildung 4.



An der HFT Stuttgart ist ein numerisches Simulationsmodell der Erdsonden im Untergrund entwickelt worden, um den konduktiven Wärmetransport zwischen Erdsonden und Gesteinsmatrix sowie den konvektiven Wärmeübergang zwischen Sondenfluid und Sondenrohr abzubilden. Das Modell dient zwei Zwecken: Zum einen soll eine fundierte Dimensionierung der Erdsonden ermöglicht werden, zum anderen sollen in Verbindung mit einem Gesamtmodell Steuer- und Regelkonzepte für die Anlage entworfen und auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft werden.

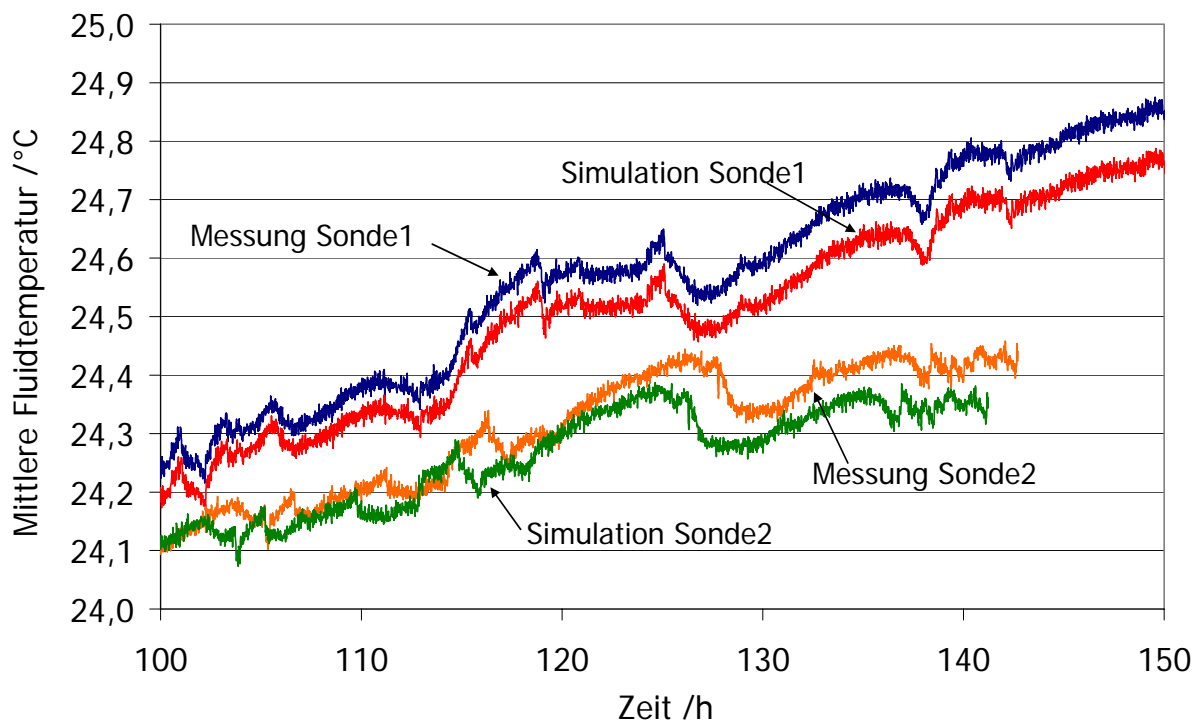
**Abbildung 3** Geometrie des Erdsondenmodells im horizontalen Schnitt

Innerhalb des Modells wird jede Doppel-U-Sonde und der umgebende Untergrund in polygonale dreidimensionale Elemente diskretisiert (siehe Abbildung 3). Im Uhrzeigersinn sind acht Sektoren vorgesehen und von innen nach außen sechs Zonen. Die Wärmetauscherrohre bilden Zone 1, die Bohrlochverfüllung Zone 2, Nah- und Fernbereich des umgebenden Untergrundes die Zonen 3 bis 6. Entsprechend dem Temperaturgradienten steigt die Breite der Zonen nach außen hin an.

In vertikaler Richtung ist eine Unterteilung in 80 Elemente vorgesehen. Für eine genauere Simulation lässt sich das Rechennetz verfeinern, die gezeigte Geometrie bietet jedoch einen idealen Kompromiss aus Genauigkeit und Rechenzeit.

Für alle Elemente (Wärmetauscherrohre, Bohrlochverfüllung, Erdreich) wird der Wärmeaustausch mit den horizontalen und vertikalen Nachbarelementen berücksichtigt. Durch das Aneinandersetzen der Sondenmodelle und Anpassen der Abmessungen lassen sich so beliebige Sondenfelder modellieren. Der Modellrand wird als isotherm angenommen und bekommt die ungestörte Erdreichtemperatur zugewiesen. Dies wird als legitime Vereinfachung angesehen, da die Temperaturgradienten im Fernbereich der Sonde sehr klein sind. Eingangsparameter für die Berechnung sind die thermischen Erdreichparameter, die Vorlauftemperatur der Sole sowie der Volumenstrom. Ferner werden Fließgeschwindigkeit und Temperatur des Grundwassers benötigt. Als Ergebnis werden die Rücklauftemperatur der Sole und die thermische Leistung in Abhängigkeit von der Zeit erhalten.

Um die Güte des Simulationsmodells zu testen, wurden die Thermal Response Tests numerisch nachsimuliert. Die Ergebnisse sind zufriedenstellend. Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der Messwerte und Simulationsergebnisse.



**Abbildung 4** Ausschnitt aus den Ergebnissen der Thermal Response Tests