

## **Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit solar betriebener Absorptionskältetechnik**

Prof. Dr. Ursula Eicker, Dr. Jürgen Schumacher,  
Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob, MSc Dirk Pietruschka

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

Tel.: +49/(0)7111/121-2831, Fax: +49/(0)711/121-2698

E-Mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de, Internet: <http://www.zafh.net>

### **1. Einleitung**

Kältetechnische Anlagen werden oft nur für einen Auslegungspunkt im Sommerfall mit maximaler Kühllast und festgelegten klimatischen Randbedingungen dimensioniert. Die Jahresenergiebilanz thermisch und insbesondere solar angetriebener Kältemaschinen bei wechselnden Außentemperaturen und Kühllasten wird dann nur grob abgeschätzt und die Planungsunsicherheit ist aufgrund sehr geringer Betriebserfahrungen groß. Bei den wenigen solar betriebenen Systemen variiert dementsprechend die Kollektorfläche im Verhältnis zur Kälteleistung erheblich.

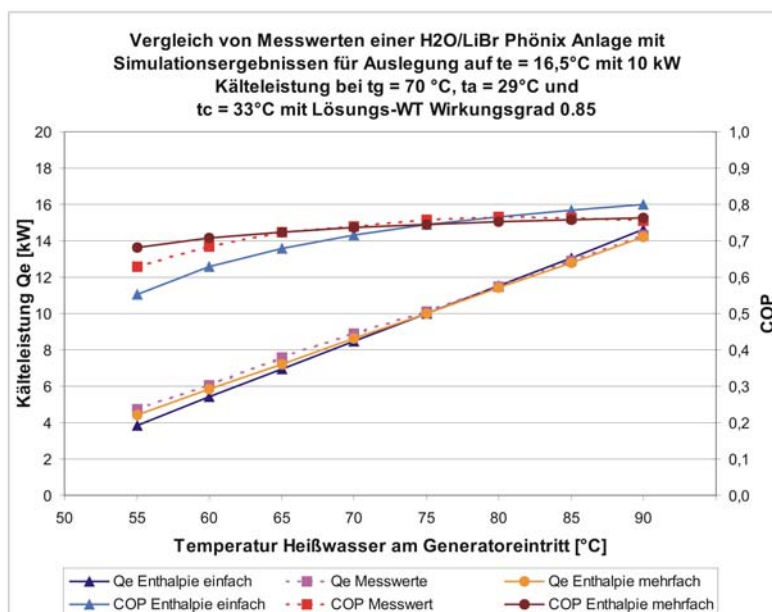
In der vorliegenden Arbeit wurden für die marktverfügbaren Absorptionskältemaschinen unterschiedlicher Leistungsbereiche (von 2 kW bis 100 kW) Berechnungen mit der Simulationsumgebung INSEL durchgeführt, um die zu erwartenden Erträge und Kältegestehungskosten zu untersuchen und zu bewerten. Hierzu wurden Systemkombinationen aus Kältemaschine, Wärmespeicher, Solarkollektor und Nachheizung betrachtet. Die Systemauslegung erfolgte für eine kleine Ammoniak/Wasser Diffusions-Absorptionskältemaschine mit 2 kW Kälteleistung (Prototypdaten der HfT Stuttgart [1]) sowie für mittlere und große Wasser/Lithiumbromid Absorptionskältemaschinen mit 15 kW bzw. 100 kW Kälteleistung.

### **2. Modellierung Kältemaschinen**

Die zur Simulation der Kältemaschinen entwickelten Simulationsmodelle beruhen auf einer von Ziegler [2] veröffentlichten charakteristischen Gleichung für Absorptionskälteanlagen, deren Parameter an die experimentellen Messdaten angepasst wurden.

Die Regelungsstrategie der Kältemaschine wurde im bisherigen Modell mit konstanten Generatoreintrittstemperaturen und Kühlwassertemperaturen einfach gehalten.

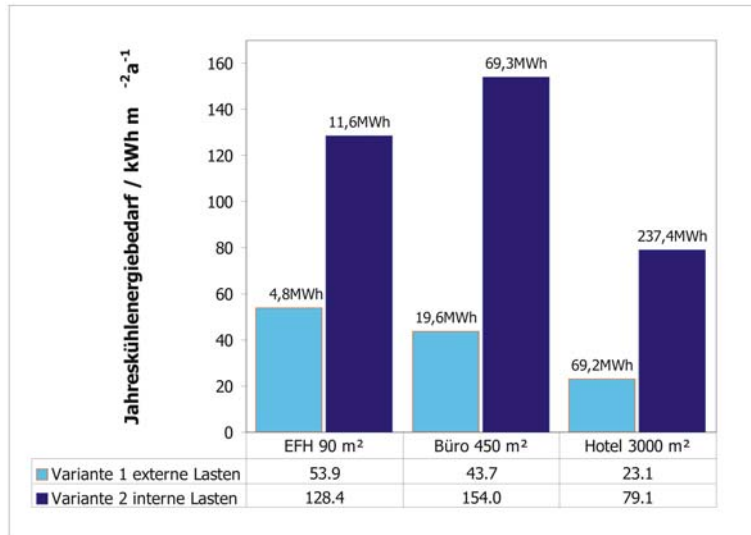
Ein Vergleich einer 10 kW Absorptionskältemaschine der Phönix Sonnenwärme AG von Messwerten [3] mit Simulationsergebnissen für das bisherige Modell mit konstanter interner Enthalpie der Komponenten zu einem erweiterten Modell mit mehrfach iterativ berechneten internen Enthalpie zeigt eine gute Übereinstimmung, wobei die Ergebnisse des erweiterten Modells am Nächsten liegen (Abb. 1).



**Abb.1:** Vergleich gemessene Kälteleistung und COP mit simulierten Werten für eine 10 kW Wasser/Lithiumbromid Absorptionskälteanlage.

### 3. Gebäudelastfiles und Systemsimulation

Entsprechend der unterschiedlichen Leistung der betrachteten Kältemaschinen wurden unterschiedliche Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Büro, Hotel) mit maximalen Kühllasten knapp über 2 kW - 100 kW untersucht. Die Kühllastsimulationen wurden mit TRNSYS für den Standort Madrid jeweils sowohl für einen durch externe Lasten (Variante 1 – z.B. große Verglasung) dominierten Lastfall als auch für einen durch interne Lasten (Variante 2 – z.B. hohe Personen- / Rechnerdichte und geringe bzw. verschattete Verglasungsflächen) dominierten Lastfall durchgeführt. Die sich ergebenden Jahreskühlenergiebedarfe sind in Abb. 2 dargestellt. Die Berechnungen der Systemsimulation wurden mit der Simulationsumgebung INSEL [4] durchgeführt.



**Abb.2:** Spezifischer Jahreskühlenergiebedarf am Standort Madrid. Angegeben über den Balken ist zusätzlich der Gesamtkühlenergiebedarf.

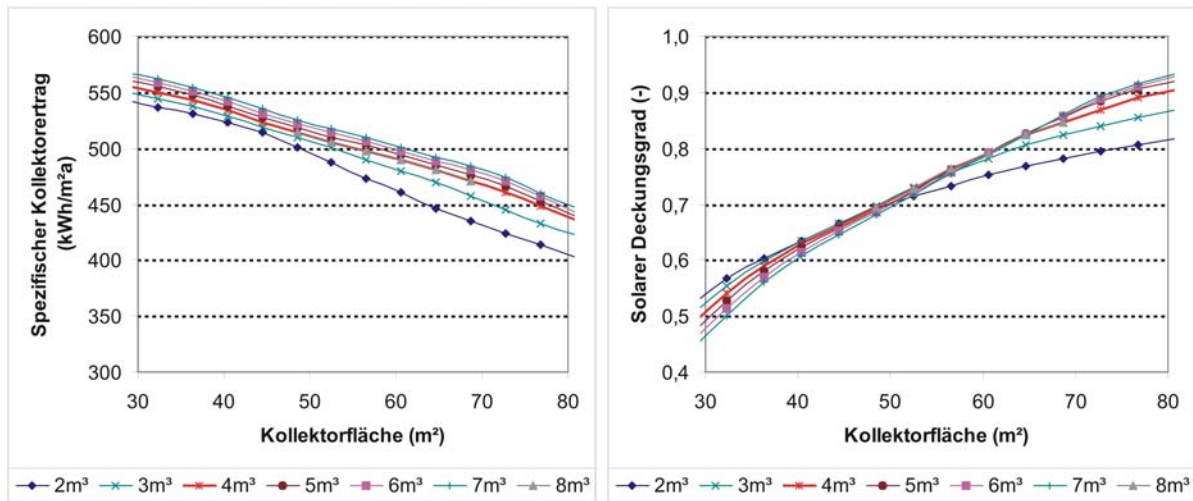
#### 4. Ergebnisse

Als wesentliches Ergebnis zeigt sich, dass die benötigten Kollektorflächen und spezifischen Erträge durch die jeweiligen Lastbedingungen entscheidend geprägt sind. Bei gleichem solaren Deckungsgrad von 70% variiert beispielsweise am Standort Madrid der spezifische Kollektorbeitrag für unterschiedliche stündliche Lastsituationen zwischen 280 kWh/m<sup>2</sup>a und 510 kWh/m<sup>2</sup>a (Tab. 1).

**Tab. 1:** Zusammenfassung Kollektorbeiträge für unterschiedliche Kühllastvarianten.

Variante	Kühlenergiebedarf (kWh)	Kollektorfläche (m <sup>2</sup> )	Speichervolumen (m <sup>3</sup> )	Solarer Deckungsgrad (-)	Spezifischer Kollektorbeitrag (kWh/m <sup>2</sup> a)
EFH 1	4850	35	2	0.7	280
EFH 2	11560	70	5	0.6	275
Büro 1	19640	48.5	3	0.7	509
Büro 2	69300	225	15	0.7	430
Hotel 1	69200	360	10	0.7	275
Hotel 2	237360	1000	60	0.7	313

Der Einfluss der Speichergröße ist aufgrund der ganzjährigen und auch nachts vorhanden Kühllasten deutlich höher als bei der Gebäudevariante mit nur einstrahlungsabhängiger Last. Exemplarisch liegt für das Bürogebäude der Variante 1 der spezifische Kollektorbeitrag (Abb. 3) bei einer jährlichen Einstrahlung auf die geneigte Fläche von 1746 kWh/m<sup>2</sup> zwischen 450 und 530 kWh/m<sup>2</sup>a (solarthermischer Systemwirkungsgrad zwischen 25 und 30%).



**Abb.3:** Spezifischer Kollektorbeitrag als Funktion der Kollektorfläche und Speichergröße (Büro Variante 1) und solarer Deckungsgrad als Funktion der Kollektorfläche bei verschiedenen Speichervolumina für die 15 kW Absorptionskältemaschine. Der thermische Gesamtenergiebedarf liegt bei 32 700 kWh.

Zwischen Kollektorfläche und Kälteleistung gibt es keinen einfachen Zusammenhang (Tab. 2): die Werte variieren zwischen 3 m<sup>2</sup> und 35 m<sup>2</sup> pro Kilowatt Leistung. Dabei ist zu beachten, dass bei den Einfamilienhausvarianten mit höheren Generatortemperaturen von durchschnittlich 115°C gerechnet wurde – eine Konsequenz des derzeitigen Entwicklungsstandes der Diffusions-Absorptionsmaschine. Die Lithiumbromid Anlagen können dagegen mit durchschnittlichen Temperaturen von 85°C betrieben werden. Wesentlich besser zur Auslegung geeignet ist das Verhältnis aus Kollektorfläche und Kühlenergiebedarf, welches „nur“ um einen Faktor 2-3 schwankt. Im günstigsten Fall des Bürogebäudes sind pro MWh Kälte nur 2,5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche erforderlich.

**Tab. 2:** Zusammenfassung der Simulationsergebnisse.

Variante	Nutzungsgrad solar	Kollektorfläche/MWh Kühlenergiebedarf	Kollektorfläche/kW Kälteleistung	Kollektorfläche/Speichervolumen	Speichervolumen/MWh Kühlenergiebedarf
EFH 1	0,16	7,22	17,50	0,06	0,41
EFH 2	0,16	6,06	35,00	0,07	0,43
Büro 1	0,29	2,47	3,23	0,06	0,15
Büro 2	0,25	3,25	15,00	0,07	0,22
Hotel 1	0,16	5,30	3,60	0,03	0,15
Hotel 2	0,18	4,21	10,00	0,06	0,25

Aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Tab. 3) wird deutlich, dass die Systemkosten für die Kälteerzeugung mit steigendem Kühlenergiebedarf abnehmen. Die Anlagen werden deutlich kostengünstiger bei längeren Laufzeiten, d.h. hier bei höheren internen Lasten, die gleichmäßig über das Jahr hinweg auftreten.

**Tab. 3:** Gestehungspreise für Kälteenergie der untersuchten AKM.

Thermische Kälteleistung	Gestehungspreise für Kälteenergie $K_{Ges}$	
2 kW	230 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 1
	168 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 2
15 kW	198 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 1
	126 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 2
100 kW	197 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 1
	127 €/MWh <sub>Kälte</sub>	Variante 2

## 5. Ausblick

Die Regelungsstrategie der Kältemaschine wurde im bisherigen Modell mit konstanten Generatoreintrittstemperaturen und Kühlwassertemperaturen einfach gehalten. Ein erweitertes Modell mit variablen Generatoreintrittstemperaturen und Kühlwassertemperaturen erbringt bei der Bürovariante ungefähr 10% mehr solaren Deckungsgrad und einen um 100 kWh/m<sup>2</sup>a höheren spezifischen Kollektorertrag. Bei aufwändigeren Regelungsstrategien (vor allem Nutzung der potentiell höheren Rückkühlleistung) sind weitere Kostenreduktionen zu erwarten.

## 6. Literatur

- [1] JAKOB, U. und EICKER, U. und SCHNEIDER, D. und COOK, M.J. und TAKI, A.H. (2004). „*Neue Ergebnisse einer solar thermisch betriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine kleiner Leistung*“. Tagungsband Vierzehntes Symposium Thermische Solarenergie. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Staffelstein. Seite 482-487. ISBN 3-934681-33-6.
- [2] SCHWEIGLER, C. und STORKENMAIER, F. und ZIEGLER, F. (1999). „*Die charakteristische Gleichung von Sorptionskälteanlagen*“. Tagungsband 26. Deutsche Klima-Kälte-Tagung, Berlin.
- [3] KOHLENBACH, P. und MEDEL Y MOLERO, S. und SCHWEIGLER, C. und HARM, M. und ALBERS, J. und KUEHN, A. und PETERSEN, S. (2004). „*Weiterentwicklung und Feldtest einer kompakten 10kW H<sub>2</sub>O/LiBr Absorptionskälteanlage*“. Tagungsband 3. Symposium Solares Kühlen in der Praxis. Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik. Band 65, Seite 145-158.
- [4] SCHUMACHER, J. (1991). „*Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme*“. Dissertation. Universität Oldenburg. www.inselDi.com.

# **Energy and economic efficiency of solar thermal driven Absorption Chillers**

Prof. Dr. Ursula Eicker, Dr. Jürgen Schumacher,

Dipl.-Ing.(FH) Uli Jakob, MSc Dirk Pietruschka

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

Tel.: +49/(0)711/121-2831, Fax: +49/(0)711/121-2698

E-Mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de, Internet: <http://www.zafh.net>

## **Abstract**

In the present paper calculations with the simulation program INSEL were done for available absorption chillers with different power ranges (from 2 kW up to 100 kW) to investigate the expected yields and cooling producing costs for the location Madrid. The system combines chiller, heat storage, solar collector and auxiliary heater. The systems considered are a small ammonia/water Diffusion-Absorption Chiller with 2 kW cooling capacity (prototype data of the HfT Stuttgart) as well as medium and large water/lithium bromide absorption chillers with 15 kW and 100 kW cooling capacity corresponding to the cooling load of a residential house, office and hotel.

There is no simple correlation between collector surface and cooling capacity: the values vary between 3 m<sup>2</sup> and 35 m<sup>2</sup> per kilowatt of cooling power. For the case of the residential house the calculation was done with higher generator temperatures of 115°C required for the Diffusion-Absorption Chiller. The lithium bromide chillers were driven by average temperatures of 85°C. The ratio between collector surface and cooling demand is much better suited for the design, it varied about 2 to 3 times. At the best case of the office only 2,5 m<sup>2</sup> collector surface per MWh cold are necessary. From the economics calculation results that the system costs for the cold production decreases with increasing cooling demand. The cooling costs decrease with longer running times which means at higher internal load which constantly occurs over the year.