

DKV-Forschungsbericht Nr. 50

Ivo Greiter

Flexible Absorptionswärmepumpen -
Grundlegende Experimente und Einsatz
einer Pilotanlage

1995

978-3-922429-78-4



Kurzfassung

In dieser Arbeit wird eine neuartige zweistufige Absorptionswärmepumpe vorgestellt, die als Pilotanlage mit einer Heizleistung von 500 kW gebaut wurde. Zur Erprobung in der Praxis wurde diese Wärmepumpe in das Heizsystem der Flugwerft Schleißheim, einer Außenstelle des Deutschen Museums, integriert. Das Ziel war, den Energiebedarf zur Raumheizung zu verringern und damit einen Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen zu leisten.

Neuartig an der Pilotanlage ist, dass sie Wärme auf zwei Temperaturniveaus abgibt, einmal bei einer Temperatur von über 80°C, wobei das Wärmeverhältnis (der COP) etwa 1.3 beträgt, und gleichzeitig auch bei 39°C, mit einem COP von 2.2. Dabei ist das Verhältnis der Wärmeleistungen auf den beiden Temperaturniveaus frei wählbar. Um eine große Energieeinsparung zu erzielen, sollte den Wärmeverhältnissen entsprechend das Heizsystem so ausgelegt sein, dass möglichst viel Niedertemperaturwärme benötigt wird.

Die Wärmeleistung der Pilotanlage beträgt je nach Arbeitspunkt bis zu 600 kW, und damit mindestens 55 % der in der Flugwerft maximal benötigten Heizleistung. Mit der bei 39°C abgegebenen Wärme wird hauptsächlich die Fußbodenheizung der Ausstellungshallen versorgt, während die bei etwa 80°C bereitgestellte Wärme für die vorhandenen Radiatoren, die bei einer Temperatur von 60°C betrieben werden, verwendet wird. Als Umweltwärmequelle steht ein Grundwasserbrunnen zur Verfügung.

Die Konstruktion der Wärmepumpe lehnt sich an die Bauweise konventioneller, zum Kühlen eingesetzter Absorptionsmaschinen an. Das bedeutet, dass die wesentlichen Komponenten, nämlich alle Wärmetauscher, als horizontale Rohrbündelapparate ausgeführt sind. Neu entwickelt wurde die Verteilung der LiBr-Lösung auf die Rohrbündel, eine auf die unterschiedlichen Betriebsmodi zugeschnittene Regelung und ein entsprechendes Vakuumsystem sowie ein spezieller Schutzmechanismus vor Kristallisation der Lösung.

Die Maschine wurde von der Firma Entropie S.A. und Menerga gebaut und im Herbst 1992 in der Heizzentrale der Flugwerft installiert; sie nahm den Betrieb dann im Winter desselben Jahres auf.

Seither konnte die Wärmepumpe, wenn auch nicht völlig problemlos, so doch insgesamt erfolgreich, betrieben werden. Schwierigkeiten bereitet vor allem das Niedertemperatur-Heiznetz, da es weniger Wärme aufnimmt als von der Auslegung her vorgesehen. Dadurch, dass die Maschine jetzt mehr Hochtemperatur-Heizwärme liefern muss, geht der mittlere COP um etwa 5-10 % zurück.

An der Pilotanlage wurden seit Sommer 1992 ausführliche Messungen durchgeführt, die noch andauern. Dazu wurde schon während des Probebetriebs der Maschine auf einem Prüfstand eine umfangreiche Messtechnik installiert. Bei den Messungen stellte sich heraus, dass an der

Wärmepumpe einige Umbauten nötig waren: Der Wärmeübergang in den Lösungswärmetauschern wurde durch Einbauten von ca. 260 W/(m²K) auf ca. 360 W/(m²K) verbessert. Dies entspricht zwar nicht ganz den angestrebten Werten, ist jetzt jedoch zufriedenstellend. Die zunächst zur Absaugung der nichtkondensierten Restgase aus dem Absorber eingesetzte Dampfstrahlpumpe funktionierte nicht bei allen Arbeitspunkten der Maschine. Sie wurde deshalb durch eine Lösungsstrahlpumpe ersetzt.

Durch Entwicklung und Anwendung eines speziellen Verfahrens zur Messdatenauswertung wurde für die Dokumentierung des Betriebsverhaltens und die Berechnung wichtiger Kennzahlen eine hohe Genauigkeit erreicht. Nach dem geschilderten Umbau der Lösungswärmetauscher im Sommer 1994 werden die Auslegungsdaten, insbesondere das angestrebte Wärmeverhältnis von 1.3 bzw. 2.2 für Hoch- bzw. Niedertemperatur-Heizwärme, knapp erreicht.

Die prognostizierten Wärmeübergangskoeffizienten lagen für einen Absorber bei mindestens 550 W/(m²K), für einen Generator bei mindestens 800 W/(m²K). Diese Werte werden mit Ausnahme des unteren Absorbers, in dem nur 230 W/(m²K) gemessen wurden, etwa erreicht, im oberen Generator mit 1150 W/(m²K) sogar überschritten. Der zu geringe Wärmeübergangskoeffizient im Absorber ist vor allem auf ein Ansammeln von inerten Gasen zurückzuführen, die die Absorption behindern. Hier hat sich herausgestellt, dass die Absaugstelle im Absorber ungünstig ist.

Eingeleitete Umbaumaßnahmen sollen zu einer besseren Absaugung und damit zu einer Verbesserung der Funktion des Absorbers und damit der Maschine führen.

Das dynamische Verhalten der Maschine, das heißt ihre Fähigkeit, schnell auf veränderte Anforderungen zu reagieren, entspricht völlig den Erwartungen. So benötigt sie weniger als 30 Minuten, um vom Standby- Betrieb, bei dem alle Komponenten Raumtemperatur angenommen haben, auf Vollastbetrieb überzugehen. Die Zeit, die benötigt wird, um beispielsweise von Teil- auf Vollast umzuschalten, liegt bei wenigen Minuten.

Legt man den Wärmebedarf zugrunde, für den die Absorptionswärmepumpe ausgelegt ist, so ergibt sich gegenüber einem guten Heizkessel¹ als Referenz eine Primärenergieeinsparung von etwa 31 %. Dabei ist der Strombedarf aller der Wärmepumpe zuzurechnenden Umwälzpumpen und auch der Wirkungsgrad der des zum Antrieb verwendeten Heißwasserkessels mit berücksichtigt. Dadurch, dass sich der Wärmebedarf der Gebäude etwas in Richtung Hochtemperatur-Heizwärme verschoben hat, verringert sich die tatsächlich erzielte Energieeinsparung auf etwa 27 %.

Bei Vollast und einem Verhältnis der Wärmeleistungen von 60 % Niedertemperatur- und 40 % Hochtemperatur-Heizwärme beträgt die Primärenergieeinsparung knapp 35 %, bei 50 % Teillast geht sie auf etwa 27 % zurück. Dieses noch nicht ganz zufriedenstellende Teillastverhalten wäre durch eine Leistungsregelung der Umwälzpumpen deutlich zu verbessern. Berechnungen zeigen, dass bei Teillast dann sogar eine Steigerung der Effizienz erreicht werden kann. Nicht zuletzt, um die Regelung der Maschine möglichst einfach zu halten, werden die Umwälzpumpen bei der Pilotanlage mit konstanter Leistung betrieben. Bei zukünftigen Anlagen ist eine Leistungsregelung jedoch empfehlenswert.

Wärmeübergangsmessungen an einem Absorberwärmetauscher

Um auf dem Markt bestehen zu können, sollten energieeinsparende Systeme auch wirtschaftlich sein. Voraussetzung dazu sind unter anderem möglichst geringe Investitionskosten. Bei Absorptionswärmepumpen, die mit Wasser/LiBr arbeiten, ist der Absorber die größte und damit teuerste Komponente, da in ihm auch der komplizierteste Vorgang, nämlich der kombinierte Wärme- und Stoffübergang, stattfindet. Um die Vorgänge im Absorber besser verstehen und darauf aufbauend Kriterien für die Konstruktion „optimaler“ und damit kostengünstiger Absorber zu erhalten, wurden im Labor umfangreiche Messungen an einem Absorberwärmetauscher durchgeführt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die wichtigste Kenngröße, nämlich der Wärmeübergangskoeffizient, mit sinkender Viskosität der Lösung, vor allem aber mit sinkender Oberflächenspannung stark ansteigt.

Da diese beiden Größen nicht unabhängig zu variieren sind, kann der Vergleich mit anderen Stoffpaaren Klarheit darüber liefern, von welcher Größe die Absorption ursächlich abhängt.

Durch den Einsatz von Rohren mit strukturierter Oberfläche konnte der Wärmeübergangskoeffizient um 15 bis 20 %, durch die Zugabe oberflächenaktiver Alkohole um bis zu 100 % gesteigert werden. Dadurch verringert sich die zum Austausch einer bestimmten Wärmeleistung benötigte Wärmetauscherfläche. Es werden jedoch auch zusätzliche Investitionskosten verursacht. Bei Einsatz von Alkohol als Additiv entstehen diese z. B. durch ein Rückhaltesystem, welches verhindern muss, dass Alkohol in den Generator gelangt und dort entweder verdampft oder zersetzt wird.

Eine Zunahme des Wärmeübergangskoeffizienten mit zunehmendem Lösungsmassenstrom (von 0.01 bis 0.045 kg/(msec)) war für die Messungen mit und ohne Alkoholzusatz festzustellen, und zwar z. B. für das Glattrohr ohne Alkohol von 300 auf 700 W/(m²K) und mit Zugabe von 80 ppm 2-Ethyl-1-Hexanol von 700 auf 1200 W/(m²K). Eine Zunahme des Wärmeübergangskoeffizienten mit der treibenden Temperaturdifferenz konnte nur bei den Messungen mit Alkohol beobachtet werden. Bei großen treibenden Temperaturdifferenzen waren mit strukturierten Rohren Werte bis zu 2600 W/(m²K) möglich.

Eine Absorptionswärmepumpe mit dem Stoffpaar Wasser/wässrige Lösung

Eine weitere Möglichkeit, die Wirtschaftlichkeit von Absorptionswärmepumpen zu steigern besteht darin, Stoffpaare zu verwenden, mit denen bereits bei einstufigen Maschinen die Wärme bei einer für Heizzwecke ausreichenden Temperatur abgegeben wird. Ein solches Stoffpaar ist Wasser/wässrige KOH/NaOH-Lauge. Wärmepumpen mit diesem Stoffpaar versprechen in einstufiger Ausführung mit einem COP von knapp 1.7 eine Temperatur von mindestens 60°C bei der Wärmeabgabe, weshalb sie gut für Heizzwecke geeignet sind. Sie wären somit eine Alternative zu den mit LiBr arbeitenden Wärmepumpen, bei denen das nur mit zwei- (Pilotanlage) oder mehrstufigen komplizierten Schaltungen und einem entsprechend kleineren COP erreichbar ist.

Um dieses Stoffpaar praktisch zu erproben und Messungen durchzuführen, wurde eine mit Wasser/wässrige KOH/NaOH-Lauge arbeitende Absorptionswärmepumpe im Labor aufgebaut. In der Tat wurde mit dieser einstufigen Maschine bei einer Verdampfertemperatur von 10°C eine maximale Temperatur der Wärmeabgabe von 84°C erreicht. Der höchste COP von 1.48 wurde bei einer Verdampfertemperatur von 8°C und Wärmeabgabe bei 50°C erzielt. Dieses noch unbefriedigend niedrige Wärmeverhältnis ist mit dem bei der Laboranlage sehr hohen spezifischen Lösungsumlauf von etwa 70 zu erklären. Bei einem Lösungsumlauf von 20, wie für Wasser/ LiBr- Maschinen üblich, wäre ein COP von knapp 1.7 realistisch. Noch nicht zufrieden stellen können die Wärmeübergangskoeffizienten von 390 W/(m²K) im Generator und insbesondere von 170 W/(m²K) im Absorber. Auch die Korrosivität der heißen Lauge, die den Einsatz eines hochwertigen Edelstahls (V4A-Stahl) nötig macht, bereitet Probleme. Hier werden am Institut weitere Untersuchungen durchgeführt (Cane, 1995; Roth, 1995). Finden sich für die genannten Schwierigkeiten Lösungen, sind zweistufige double-effect Maschinen denkbar, die eine Temperatur der Wärmeabgabe von 60°C bei einem COP von 2.1 erreichen könnten und damit sehr effizient zu Heizen einsetzbar wären.