

Jahresbericht 2002, 15. Dezember 2002

Kleinwärmepumpe mit Ammoniak

Phase 3

Autor und Koautoren	E. Geisser, Th. Kopp
beauftragte Institution	Arbeitsgemeinschaft HSR, UNEX AG, Kapag AG, Ecopac AG
Adresse	Hochschule für Technik Rapperswil HSR, 8640 Rapperswil
Telefon, E-mail, Internetadresse	egeisser@hsr.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt-Nr. 19746, Vertrags-Nr. 84775
Dauer des Projekts (von – bis)	15.03.2002 – 30.06.2003

ZUSAMMENFASSUNG

Die in der Phase 2 gebaute und in einem ersten Test erfolgreich betriebene Anlage soll breit ausgemessen werden. Bestehen bleiben die in der 2. Phase definierten Zielbedingungen von -20 °C Verdampfungstemperatur und 60 °C Kondensatortemperatur. Der Flügelzellenverdichter von Rotovane (Kanada) soll mit einem Schraubenverdichter von OSD (Italien) verglichen werden. Die Wirkung des Economizerbetriebes soll ausgemessen und bewertet werden. Der Ölkreislauf mit dem nichtlöslichen Kältemaschinenöl Shell Clavus G68 wird vertieft untersucht und die Abhängigkeit der Förderkapazität vom Ölstrom ermittelt.

Bis Mitte Oktober konnten die Messungen und deren Auswertungen für den niedrigverdichtenden Flügelzellenverdichter R140 AL von Rotovane abgeschlossen werden. Dabei wurde ein Einfluss des Ölstromes auf den COP – Wert festgestellt. Generell ist festzuhalten, je grösser der Ölstrom, desto höher der Wirkungsgrad. Mittels Druckmessungen am Verdichterringumfang konnte festgestellt werden, dass das Kältemittel bei Kondensatortemperaturen über 50 °C unterverdichtet und bei Temperaturen kleiner 35 °C überverdichtet wird. Beim maximalen Temperaturhub von -20 °C am Verdampfeintritt und 60 °C im Heizwasservorlauf wurde mit dem nicht idealen niedrigverdichtenden Kompressor ein COP – Wert von 1.4 erreicht.

Da der hochverdichtende Flügelzellenverdichter R140 AH erst Anfang November eintraf, war es bislang nicht möglich damit Versuche zu fahren. Der von OSD gelieferte Schraubenkompressor MSC60 wurde Ende September in die Anlage eingebaut. Bei den Drucktests stellte man allerdings eine leckende Wellendichtung fest. Die Ersatzlieferung ist Ende November eingetroffen.

Im weiteren Verlauf dieses Projektes sollen die genannten, noch ausstehenden Messungen ausgeführt und ausgewertet werden, damit ein seriöser Quervergleich unter den Verdichtertypen angestellt werden kann.

Projektziele

In der 3. Phase galt es, den bestehenden Prototypen 4 durch kleinere Umbauten und Ergänzungen zu modifizieren, so dass dieser umfassend ausgemessen werden konnte. Die Reproduzierbarkeit war speziell auch für die Messungen mit und ohne Economizer ein erklärtes Ziel. Untersucht werden sollten für beide Kompressorarten minimal die Betriebspunkte (Quellentemperatur / Senketemperatur in °C): -20/60, -7/50, 2/50, 2/35 und 10/35. Die Resultate der verschiedenen Kompressoren sollten untereinander, aber auch mit anderen Wärmepumpen verglichen werden.

Umbau des bisherigen Prototypen

Zwischen Kondensator und Economizerflasche wurde ein Zwischenreservoir mit Schauglas eingebaut (siehe Abbildung 1). Damit konnte sichergestellt werden, dass vor der Zwischendruck - Expansion immer flüssiges Ammoniak vorhanden ist, was im 4. Prototypen nicht immer der Fall war. Zum Druckausgleich ist das Zwischenreservoir über eine Leitung mit dem Kondensatoreingang verbunden.

Legende:

1. Kondensator
2. Zwischenreservoir
3. Druckausgleichsleitung mit Absperrhahn
4. Ablasshahn

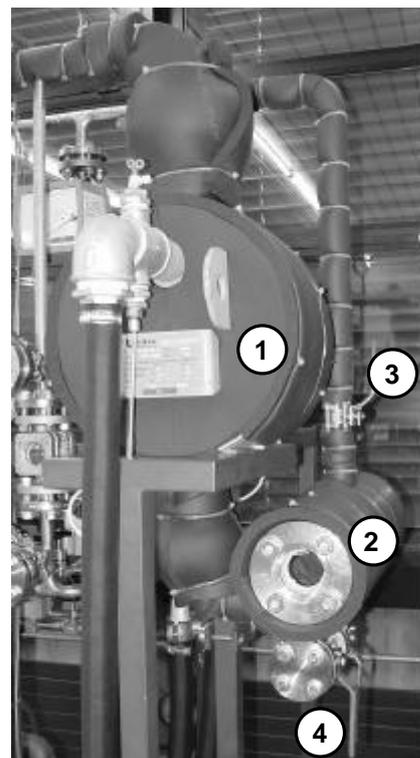


ABBILDUNG 1: AMMONIAK – ZWISCHENRESERVOIR NACH KONDENSATOR

Um mehr Möglichkeiten für den Eingriff in die Entspannungsprozesse zu haben, wurden je zwei zusätzlich Regulierventile für die Zwischendruck – Expansion und die Expansion auf den Niederdruck eingebaut. Die verwendeten Ventile sind im Durchlass viel kleiner ($k_v = 1.8$) als das existierende Nadelventil. Wie in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen ist, ist das eine Regulierventil parallel zum Nadelventil und das zweite parallel zu Nadelventil und Magnetventil geschaltet. Somit besteht die Option den Ammoniakstrom durch das Magnetventil unterschiedlich zu regulieren und / oder einen kontinuierlichen Ammoniakstrom zu gewährleisten.



ABBILDUNG 2: ZWISCHENDRUCK - EXPANSIONSVENTILE



ABBILDUNG 3: NIEDERDRUCK – EXPANSIONSVENTILE

Eine Verbesserung des stationären Betriebes wurde durch die neuen Niveauregelungen am Verdampfer und an der Economizerflasche erzielt. Ein pulsweitenmoduliertes Stellsignal wirkt auf das Magnetventil. Abbildung 4 zeigt die Komponenten der Niveauregelung.

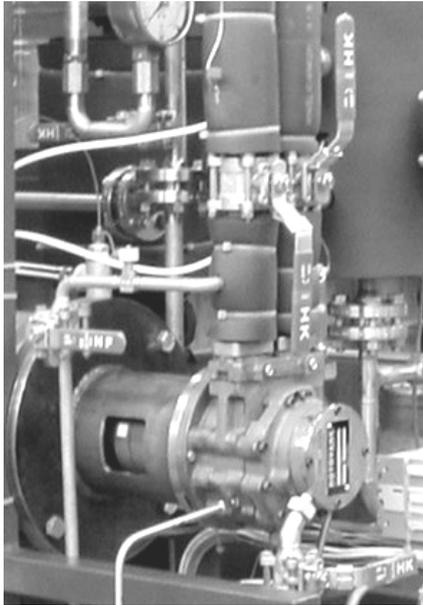


ABBILDUNG 4: NIVEAUMESSUMFORMER AKS 41 UND NIVEAUREGLER EKC 347

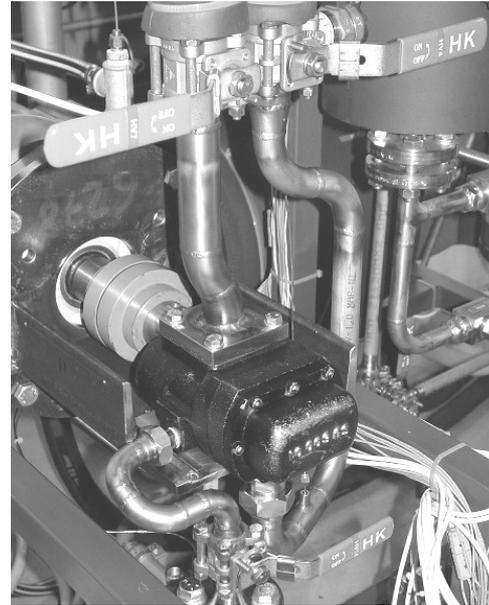
Eine zusätzliche Ölleitung, ausgerüstet mit Dosierventil und Ölstrommessung, verbindet den Ölkühleraustritt und die Sauggasleitung. Dadurch besteht die Möglichkeit dem Sauggas direkt vor dem Verdichtereintritt Öl beizumischen. Damit soll der Einfluss auf die Dichtwirkung im Kompressor im Hinblick auf die NH₃ – Fördermenge und den COP – Wert untersucht werden.

Bei den wenigen Testfahrten mit Prototyp 4 stellte sich heraus, dass die Leistung des neuen Elektromotors mit 7.5 [kW] zu klein bemessen worden war. Deshalb griff man für den fünften Prototypen auf den „alten“ Motor, derselbe wie im Prototyp 3, mit 11.5 [kW] Leistung zurück. Dazu musste die Motorhalterung im Rahmen neu gestaltet werden. Da die alte Laterne auf die Kombination mit dem 7.5 kW Motor angepasst worden war, bedurfte es einer Neuanfertigung dieses Übergangsstückes zwischen Motor und Verdichter.

Auf den Abbildungen 5 und 6 sind die beiden Verdichtertypen im eingebauten Zustand zu sehen.



**ABBILDUNG 5: VIELZELLENVERDICHTER
ROTOVANE R140 AL**



**ABBILDUNG 6: SCHRAUBENVERDICHTER
OSD MSC 60**

Ergebnisse der Versuch mit Flügelzellenverdichter R140 AL von Rotovane

Die unten dargestellten Resultate basieren auf Messungen bei verschiedenen Betriebszuständen für deren Auswertung die gemessenen Signale während mindestens fünf Minuten stationär verlaufen.

Beim 5. Prototypen können die Systemparameter Ölstrom, Ölstrom ins Sauggas, Verdichteraustrittstemperatur, Verdampferniveau, Solevolumenstrom und Senkevolumenstrom während dem Betrieb verändert werden. Um deren Einfluss auf den Wirkungsgrad quantifizieren zu können, wurden zunächst bei einem mittleren Temperaturhub Messreihen aufgenommen, bei denen jeweils einer der genannten Parameter verändert wurde. Danach fuhr man Versuche bei den Temperaturhuben B20/W60, B12/W50, B7/W50, B2/W50, B2/W35 und B10/W35, jeweils mit und ohne Economizer. Im Zusammenhang mit Angaben zum Temperaturhub bezeichnet B die Soletemperatur beim Eintritt in den Verdampfer und W die Heizwasservorlauftemperatur beim Austritt aus dem Kondensator. Zur Veranschaulichung folgen zwei Resultatbeispiele.

MESSUNGEN BEI B2/W50, N=3000 [RPM] MIT VARIABLEM ÖLSTROM

Während dem Betrieb der Anlage stellt sich der Ölstrom in Abhängigkeit des Temperaturhubes, respektive dem daraus resultierenden Differenzdruck, und der Öltemperatur ein. Im Prototyp 5 kann der Ölstrom über ein Nadelventil manuell auf den gewünschten Wert einreguliert werden.

Die Messungen wurden beim Temperaturhub B2/W50 mit der Verdichterzahl von 3000 [1/min] ohne Economizer durchgeführt. Da der Ölstrom die Verdichteraustrittstemperatur mitbeeinflusst, wurde die Ölkühlung so reguliert, dass für jeden Messpunkt die Temperatur am Verdichteraustritt konstant 100 °C betrug.

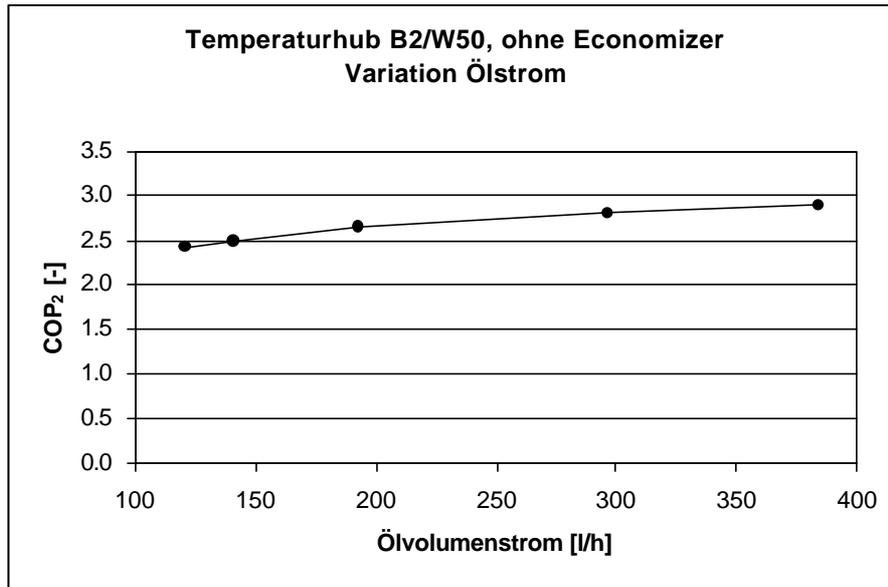


DIAGRAMM 1: COP₂ IN FUNKTION VOM ÖLSTROM

Entgegen den Befürchtungen, ein hoher Öldurchsatz würde sich negativ auf NH₃ - Fördermenge auswirken und somit den COP verschlechtern, steigt der Wirkungsgrad mit steigendem Öldurchsatz im dargestellten Bereich um 16%. Nach dem Kurvenverlauf von Diagramm 1 zu urteilen, dürfte bei einem bestimmten Ölstrom ein maximaler COP - Wert erreichen werden. Leider konnte dieses Maximum in den Versuchen nicht ermittelt werden, da bei Ölvolumenströmen um 400 [l/h] die Ölabscheidung im Zyklon an ihre Grenzen stieß und der eingebaute Coriolis – Massenstrommesser Ölströme grösser als 400 [kg/s] nicht mehr erfassen kann.

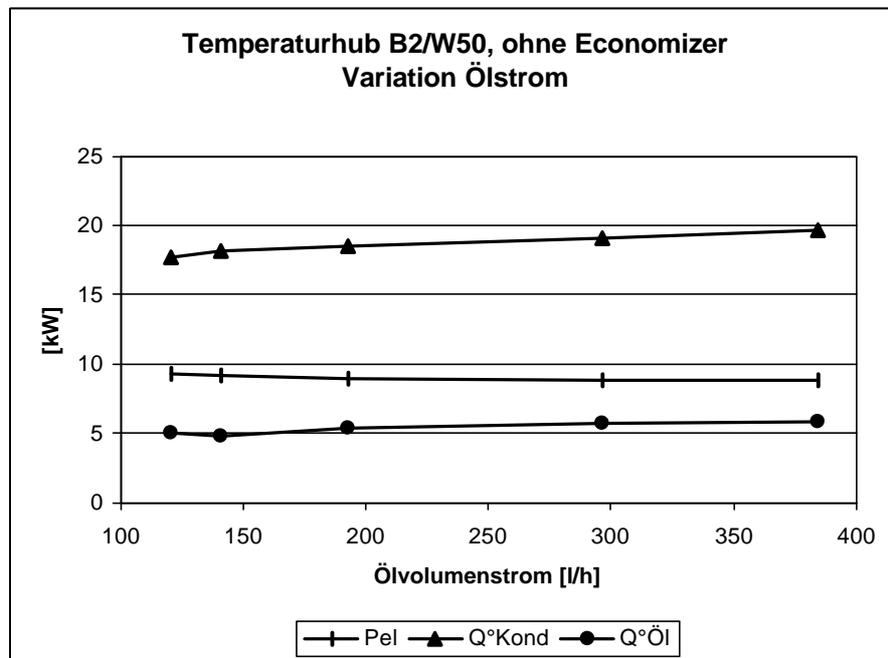


DIAGRAMM 2: COP - RELEVANTE LEISTUNGEN IN FUNKTION VOM ÖLSTROM

Diagramm 2 zeigt, dass mit zunehmendem Ölstrom die Kondensator- und Ölkühlerleistung ansteigt. Gleichzeitig sinkt aber die vom Motor benötigte elektrische Leistung. Das bedeutet, dass obwohl mehr Öl und auch mehr Ammoniak gefördert wird, der Verdichter mit weniger Antriebsleistung auskommt. Ein höherer Öldurchsatz hat also eine erhöhte Dichtwirkung zwischen Verdichtergehäuse, Rotor und Zellenflügel zur Folge und mindert zugleich die mechanische Reibung. Das grössere Ölvolumen pro Verdichtierzelle fällt betreffend der NH₃ – Fördermenge nicht ins Gewicht.

TEMPERATURHUB B2/W50

Für dieses Temperaturgefälle wurden zwei Messreihen mit unterschiedlichem Vorgehen gefahren. Während bei der ersten Serie der Ölstrom über den gesamten Drehzahlbereich zwischen 210 und 220 [l/h] betrug, wurde für die zweite Serie der Ölstrom nach Herstellerangaben reguliert. Bei beiden Serien betrug der Sollwert für die Temperatur am Verdichteraustritt 100 [°C].

Diagramm 3 zeigt, dass die Leistung im Kondensator mit Economizer 1.5 bis 2.5 [kW] höher ist als ohne. Dementsprechend muss zusätzliches Kältemittel über den Ecoport in den Verdichter gelangen, das den NH₃- Massenstrom durch den Kondensator ansteigen lässt. Dem Antrieb muss dafür auch mehr Energie zugeführt werden. Bei 3500 [1/min] nimmt der Motor knapp 1 [kW] mehr elektrische Leistung auf. Unabhängig vom Betriebsmodus, bleibt die Wärmemenge, die über den Ölkühler abgeführt wird, in etwa gleich gross.

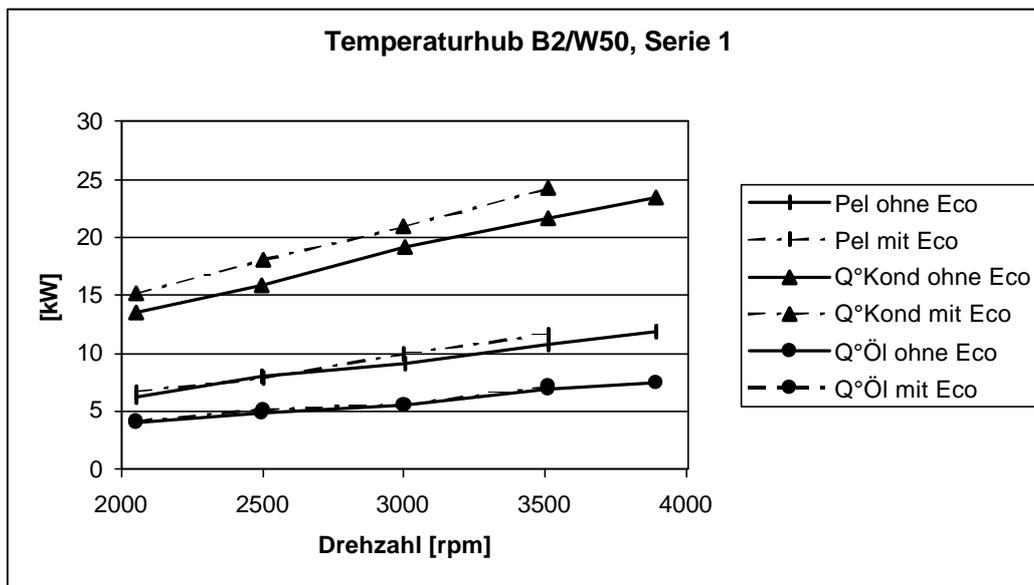


DIAGRAMM 3: B2/W50 SERIE 1, COP – RELEVANTE LEISTUNGEN IN FUNKTION DER DREHZAHL

Mit dem niedrigverdichtenden Kompressor wird keine Erhöhung des COP – Wertes durch den Economizer gemessen, vergleiche Diagramm 4. Die Wirkungsgrade bei tiefen Drehzahlen sind leicht grösser, weil ungefähr der doppelte Ölstrom floss, wie vom Hersteller vorgeschrieben. Ein grosser Öldurchsatz steigert die Dichtwirkung im Kompressor und somit den Gasmassenstrom. Im Betriebspunkt B2/W50 wird ein Gütegrad von 0.43 erreicht.

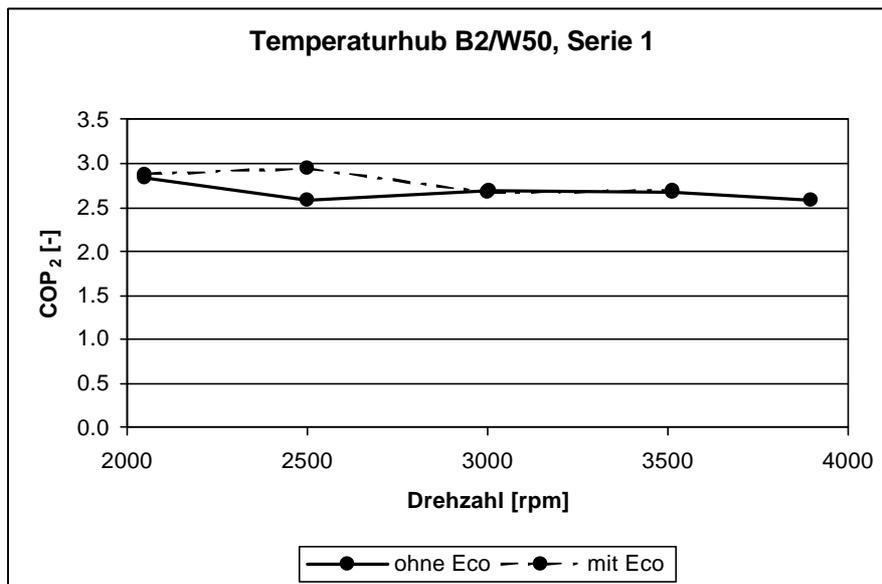


DIAGRAMM 4: B2/W50 SERIE 1, COP₂ IN FUNKTION DER DREHZAHL

Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ist überaus zufriedenstellend. In Sachen Beschaffung und Inbetriebnahme durften die Lieferantenbeziehungen und das Know-how der Firma Kapag AG in Anspruch genommen werden.

Ausblick 2003

In der Weiterführung dieser 3. Phase im Jahr 2003 sind die Messungen mit dem hochverdichtenden Vielzellenverdichter und dem Schraubenverdichter durchzuführen. Ein detaillierter Vergleich der Ergebnisse untereinander, sowie mit anderen Wärmepumpen wird angestellt.

Publikationen

2002: keine

Hinweis auf frühere Publikationen

Kopp Th.: Kleinwärmepumpe mit Ammoniak, Phase 2; Arbeitsgemeinschaft Hochschule Rapperswil HSR, NEK Umwelttechnik AG, Kapag AG, Ecopac AG; Schlussbericht BFE Forschungsprogramm Umgebungswärme, Kälte, Abwärme; Dez. 2001; Enet-Nr.: 210136