

DKV-Forschungsbericht Nr. 44

Eckhard A. Groll

Experimentelle und theoretische
Untersuchungen von
Kompressionskältemaschinen mit
Lösungskreislauf

1994

978-3-922429-74-6



Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Kompressionskältemaschine mit Lösungskreislauf (KKMLK) im Hinblick auf neue, weitere Arbeitsstoffpaare und auf eine Modifizierung des Kreislaufs untersucht. Diese Untersuchungen erfolgten sowohl theoretisch mit der Hilfe von zwei Simulationsprogrammen, als auch experimentell an zwei Modellversuchsständen. Dabei wurden als mögliche Arbeitsstoffpaare die bislang noch nicht untersuchten Kälte-/Lösungsmittel-Gemische R23/DEGDME und CO₂/Aceton vorgestellt und ein Resorber/Entgaser-Wärmetausch (REWA-Kreislauf) als Kreislaufmodifizierung eingeführt.

Im theoretischen Teil wurden zur Untersuchung der Anwendungspotentiale und -grenzen des REWA-Kreislaufs und zum Vergleich mit denen einer konventionellen Kompressionskältemaschine mit einstufigem Lösungskreislauf für beide Kreisläufe Simulationsprogramme entwickelt. Neben den Stoffpaaren R23/DEGDME und CO₂/Aceton wurde auch das Stoffpaar Ammoniak/Wasser in beide Kreislaufmodelle integriert. Beide Kreisläufe wurden für die vier Anwendungsfälle Kälteerzeugung, Klimatisierung, Wärmepumpe mit mittlerem Temperaturhub ≥ 70 K und Wärmepumpe mit hohem Temperaturhub ≥ 90 K verglichen. Der Vergleich im Bereich der Wärmepumpenanwendung wurde ausschließlich mit dem Arbeitsstoffpaar Ammoniak/Wasser durchgeführt, da die Drucklage im Resorber bei Einsatz der Stoffpaare R23/DEGDME und CO₂/Aceton auf Grund der erforderlichen hohen Temperaturen den Anlagenmaximaldruck von 25 bar überschreitet.

Die Ergebnisse der Kreislaufberechnungen zeigen, dass die Anwendungspotentiale von R23/DEGDME und CO₂/Aceton eindeutig bei tieferen Temperaturen liegen. Mit abnehmenden Resorptionsendtemperaturen können höhere Kältemittelkonzentrationen in den umlaufenden Lösungen und somit höhere Leistungszahlen erreicht werden. So wurden für den Anwendungsfall Kälteerzeugung die besten Ergebnisse mit dem REWA-Kreislauf mit R23/DEGDME berechnet. Für den Anwendungsfall Klimaanlage ergaben sich die besten Ergebnisse mit der konventionellen Kompressionsresorptionskältemaschine mit Ammoniak/Wasser.

Den Rechenergebnissen ist zudem zu entnehmen, dass der Einsatz des REWA-Kreislaufs erst bei Anwendungen mit großem Temperaturhub sinnvoll ist. Die Einsatzgrenze für den Temperaturhub liegt im Bereich der Wärmepumpenanwendung bei 75 K und im Bereich der Kälteanwendungen bei 50 K.

Im experimentellen Teil dieser Arbeit wurden zwei Versuchsanlagen aufgebaut. Zum einen wurde eine Kompressionskältemaschine mit einstufigem Lösungskreislauf als Wasserkühlsatz ausgelegt und mit den Stoffpaaren R23/DEGDME und CO₂/Aceton betrieben. Zum anderen wurde ein REWA-Kreislauf als Wasser/Wasser-Wärmepumpe ausgelegt und mit dem Stoffpaar Ammoniak/Wasser betrieben.

Die Ergebnisse der Messungen an der Kompressionskältemaschine mit Lösungskreislauf zeigten, dass die Kältemittel R23 und CO₂ unter Anwendung des jeweiligen Lösungsmittels bei Resorptions-temperaturen, die größer als die kritische Temperatur des reinen Kältemittels sind, eingesetzt werden können, ohne den Anlagenmaximaldruck zu überschreiten. Die für den Einsatz der Gemische R23/DEGDME und CO₂/Aceton erforderliche Druckabsenkung, konnte somit nachgewiesen werden. Bei den Messungen stellte sich jedoch heraus, dass die als Resorber und Entgaser eingesetzten Koaxialwärmetauscher den Stoffübergang einschränkten, so dass weder Resorption noch Entgasung am Austritt der Wärmetauscher abgeschlossen waren. Der am Austritt des Resorbers vorhandene nicht resorbierte Kältemitteldampf führte zu einer Resorberdruckerhöhung von bis zu 60 %, welches die Kältemittelfüllkonzentration bei den Messungen mit dem Stoffpaar R23/DEGDME auf 36 % und bei denen mit dem Stoffpaar CO₂/Aceton auf 20% beschränkte.

Für den gegebenen Anwendungsfall waren die erreichten Kälteleistungszahlen im Vergleich zu denen einer herkömmlichen R12-Kaltdampfanlage um 28 % kleiner. Durch eine Optimierung des Resorbers und Entgasers und einer daraus folgenden Erhöhung der Kältemittelfüllkonzentrationen sind für diesen Anwendungsfall mit der R12-Anlage vergleichbare Kälteleistungszahlen erreichbar.

Die Ergebnisse der Messungen mit dem REWA-Kreislauf zeigten, dass der in dieser Arbeit vorgestellte Wärmetausch zwischen Resorptions- und Entgasungsvorgang aufgebaut und eine Reduzierung des Druckverhältnisses von 74 %, im Vergleich zu dem eines mit reinem Ammoniak betriebenen Kaltdampfprozesses, erreicht werden konnte. So wurde bei einem Druckverhältnis von 3,6 ein Temperaturhub zwischen minimaler Wärmequellen- und maximaler Wärmesenktemperatur von 80 K gemessen. Die Kälteleistungszahl betrug 0,9. Die gemessene Kälteleistungszahl kann bei Einsatz eines auf seine Anwendung im REWA-Kreislauf hin optimierten Verdichters bis zu 44 % gesteigert werden.

Für den gegebenen Temperaturhub ist die gemessene Kälteleistungszahl des REWA-Kreislaufs um 10 % kleiner als die Kälteleistungszahl einer mit reinem Ammoniak betriebenen Verdichter-Kältemaschine. Bei Anwendung eines optimierten Verdichters wäre die Kälteleistungszahl des REWA-Kreislaufs um ca. 30 % größer als die des Kreislaufs mit reinem Ammoniak.

Der Vergleich von Rechen- und Messergebnissen zeigte, dass die Zuverlässigkeit des Simulationsprogrammes bei der Berechnung der Leistungszahlen nachgewiesen werden konnte.