

DKV-Forschungsbericht Nr. 76

Volker Siegismund

Einfluss von Kältemaschinenöl auf den
Wärmeübergang von Kohlendioxid in kleinen
Strömungskanälen

2007

978-3-932715-79-2



Kurzfassung

Kohlendioxid (CO₂) gilt als ein mögliches Ersatzkältemittel für den Einsatz in PKW-Klimaanlagen. Anzeichen aus der Politik aber vor allem aus der Industrie weisen auf einen Serieneinsatz dieses Kältemittels in wenigen Jahren hin. Kompakte Wärmeaustauscher mit parallel durchströmten Minichannel-Profilen, wie sie derzeit für das Kältemittel R134a eingesetzt werden, kommen zukünftig auch mit CO₂ zum Einsatz.

Untersuchungen zum Einfluss des Kältemaschinenöls auf den Wärmeübergang von CO₂ bei Verdampfung und Gaskühlung in Minichannel-Wärmeaustauscher-Profilen lagen zu Beginn dieser Arbeit noch nicht vor und sind Gegenstand dieser Ausarbeitung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine umfassende Literaturstudie erstellt. Es wurde ein Versuchsstand geplant und aufgebaut, Wärmeübergangsmessungen von Kohlendioxid-Öl-Gemischen in Minichannel-Profilen durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet.

Die Literaturstudie zeigt, dass die überwiegende Anzahl der experimentellen und theoretischen Arbeiten zum Thema Wärmeübergang in Minichannel-Profilen auf turbulenten Strömungsverhältnissen basiert. Nur wenige Untersuchungen mit laminarer Strömung wurden veröffentlicht.

Das wachsende Interesse an dem Kältemittel CO₂, speziell für den Einsatz in der PKW-Klimatisierung, zeigt sich unter anderem in der steigenden Anzahl an Beiträgen in Fachzeitschriften sowie auf nationalen und internationalen Tagungen.

Der Versuchsstand wurde für die Messung des Wärmeübergangs an einem Wärmeaustauscher-Einzelprofil ausgelegt. Der Wärmetransport auf der Sekundärseite erfolgte über einen Sole-Kreislauf. Um kein Fremdöl in den Kreislauf einzubringen, wurde der Umlauf des Kältemittels über eine magnetgekoppelte Zahnradpumpe realisiert. Der entsprechende Systemdruck wurde über eine Heizung des Sammlers eingestellt. Der Versuchsstand wurde in eine Kammer integriert, deren Temperatur an die entsprechende Versuchstemperatur angepasst werden konnte, um Einflüsse der Umgebungstemperatur zu reduzieren.

Die Versuchsparameter wurden an den Leerlaufbetrieb einer PKW-Klimaanlage angepasst mit Verdampfungstemperaturen von 0 bis 10 °C, Massenstromdichten von 60 bis 120 kg/(m² s), Wärmestromdichten von 2,5 und 3,8 kW/m² und Ölgehalten von 0 bis 9 M%.

Das verwendete Öl war bei allen Versuchsbedingungen vollständig mit CO₂ mischbar. Die Ölkonzentrationsbestimmung erfolgte über ein Probeentnahmeverfahren.

Die Versuchsergebnisse zeigten sowohl bei der Verdampfung als auch bei der Gaskühlung eine große Abhängigkeit des Wärmeübergangs von der Wärmestromdichte. Bei größeren Wärmestromdichten

steigt der Wärmeübergang an. Dagegen ist der Einfluss der Massenstromdichte verhältnismäßig gering. Höhere Verdampfungstemperaturen zeigen tendenziell einen höheren Wärmeübergang, allerdings konnte dieses Verhalten nicht durchgängig beobachtet werden.

Das Kältemaschinenöl beeinflusst den Wärmeübergang beim Verdampfungsvorgang signifikant. Eine Reduzierung des Wärmeübergangskoeffizienten von bis zu 50% wurde festgestellt. Bereits kleine Ölanteile von 3 M% vermindern den Wärmeübergang um 15 bis 20 %. Dabei ist der negative Einfluss des Öls bei kleineren Wärmestromdichten ausgeprägter.

Bei der Gaskühlung ergaben sich noch größere Reduzierungen des Wärmeübergangs unter Einfluss des Kältemaschinenöls. Allerdings können aufgrund der geringeren Anzahl an Messungen im Vergleich zur Verdampfung keine fundierteren Aussagen getroffen werden. Auffällig und zu beachten bei der Gaskühlung ist ein ausgeprägtes Maximum des Wärmeübergangs im Bereich der pseudokritischen Temperatur aufgrund starker Änderung der thermodynamischen Eigenschaften des CO₂ in diesem Bereich.

Vier in der Literatur verfügbare Korrelationen zur Berechnung des Wärmeübergangs bei Strömungssieden wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bei den Versuchsbedingungen dieser Arbeit untersucht. Es zeigte sich, dass nur ein, auf Basis laminarer Strömungsverhältnisse in kleinen Strömungskanälen entwickeltes Berechnungsmodell die Versuchsergebnisse zufriedenstellend darstellen kann.

Um den Einfluss des Kältemaschinenöls zu berücksichtigen, wurde ein Korrekturfaktor dieses Modells entsprechend angepasst. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen können somit zu 85 % in einem Bereich von $\pm 30\%$ berechnet werden.

Somit steht erstmals ein Berechnungsmodell zur theoretischen Bestimmung des Wärmeübergangs von CO₂-Öl-Gemischen auf Basis der hier zugrunde gelegten Parameter zur Verfügung.