

DKV-Forschungsbericht Nr. 68

Klaus Spindler

Thermodynamische, wärmetechnische und
ökologische Betrachtungen von Kältemittel
beim Einsatz in Wärmepumpen und
Kältemaschinen

2003

978-3-932715-71-6



Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Einsatz von Kältemitteln in Wärmepumpen und Kältemaschinen aus ökologischer, thermodynamischer und wärmetechnischer Sicht betrachtet. Dabei werden nur Anlagen nach dem Kaltdampfkomppressionsverfahren berücksichtigt. Die ökologischen Bewertungsgrößen wie Ozonzerstörungspotential (ODP), Treibhauspotential (GWP, HGWP) und photochemisches Ozonbildungspotential (POCP) werden für fluorhaltige Methan-, Ethan- u. Propanderivate zusammengefasst. Die Gesamttreibhausbelastung (TEWI, LEWI) durch Kälteanlagen wird an Beispielen diskutiert, wobei Leckageverluste und die CO₂-Emissionen durch den elektrischen Antrieb berücksichtigt werden.

Die Auswahl eines geeigneten Kältemittels für den geforderten Einsatzbereich hängt von vielen Faktoren ab. Die Lage der Dampfdruckkurve, das Druckverhältnis, die Leistungszahl, die Verdichtungsendtemperatur, die Verdampfungsenthalpie sowie die volumetrische Heiz- bzw. Kälteleistung bestimmen die Verwendung des bestimmten Kältemittels. Auch Kondensatunterkühlung und Saugdampfüberhitzung haben Einfluss auf die Leistungszahl und volumetrische Heiz- bzw. Kälteleistung. Die spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Viskosität, Oberflächenspannung beeinflussen den Wärmeübergangs-koeffizienten und damit die Größe der Wärmeübertragerflächen. Die Kältemittel werden in einer Rangfolge hinsichtlich ihrer thermodynamischen und thermophysikalischen Eigenschaften bewertet.

Die Exergieverluste in Wärmeübertragern werden ausführlich betrachtet. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch den Einsatz von nichtazeotropen Kältemittelgemischen mit einem Temperaturgleit bei der Verdampfung und Kondensation die Exergieverluste vermindert werden können. Eine exergetische Betrachtung des Kaltdampfkomppressionsprozesses an Hand von Beispielen zeigt die Grenzen und Möglichkeiten zur Reduktion der Exergieverlustströme in den einzelnen Komponenten einer Kälte- bzw. Wärmepumpenanlage.

Kältemittel sind in ihren Stoffeigenschaften sehr gut untersucht. Sie bieten gegenüber Wasser bequemere Experimentierbedingungen durch niedrigeren Druck, niedrigere Temperatur und geringere Verdampfungsenthalpie. Es wird gezeigt, dass sich R134a als Modellfluid für Wasser gut eignet. Dazu werden Skalierungsfaktoren in Abhängigkeit vom normierten Druck auf der Basis des Theorems der übereinstimmenden Zustände abgeleitet.

Da die Verdampfer in großen Kälte- und Wärmepumpenanlagen bis zu 30 % der Investitionskosten ausmachen können, werden hier neuere Erkenntnisse zur Auslegung von Verdampfern zusammengefasst. Es wird der Einfluss der Fluideigenschaften und der Heizwandeigenschaften auf den Wärmeübergang beim Behältersieden (überflutete Verdampfung) diskutiert. Wesentliche Verbesserungen des Wärmeübergangs bei verminderten Wandüberhitzungen wurden durch Hochleistungs-

verdampferrohre erzielt. Es werden neueste Ergebnisse mit den Kältemitteln R134a, R507 und R410A vorgestellt. Einen starken Einfluss hat das Kältemaschinenöl auf den Wärmeübergang beim Sieden. Bei geringen Ölmassenanteilen kann es zu Verbesserungen gegenüber dem reinen Kältemittel kommen. Bei hohen Ölmassenanteilen wird der Wärmeübergang drastisch vermindert. Es werden hierzu neuere Messergebnisse an Glatt- und Hochleistungsrohren sowie Rohrbündeln beschrieben. Die heute bekannten Korrelationen werden zusammengefasst. Einige Hinweise zur Modellierung der Verdampfung an Hochleistungsrohren werden gegeben.

Für das Strömungssieden in Rohren (trockenen Verdampfung) wird der Einfluss der Massenströmdichte, Wärmestromdichte und des Dampfgehaltes auf den Wärmeübergang und Druckverlust an Hand neuester Messungen mit R134a gezeigt. Zur Leistungssteigerung werden heute hauptsächlich innenstrukturierte Rohre in luftbeaufschlagten Verdampfern eingesetzt. Neben dem Einfluss von Massenströmdichte und Dampfgehalt wird der Einfluss des Rohrdurchmessers, Drallwinkels und der Viskosität des Öls auf den Wärmeübergang an Hand von ausgewählten Beispielen dargestellt. Für den Fall des unterkühlten Strömungssiedens werden die Wärmeübergangskorrelationen zusammengefasst. Der Parametereinfluss (Strömungsgeschwindigkeit, Unterkühlung und Wärmestromdichte) wird an Messungen mit R134a gezeigt.

Abstract

The use of refrigerants in heat pumps and refrigerating machines is considered here under environmental, thermodynamical and heat transfer aspects. Only vapour compression machines are considered. A summary of the environmental assessment criteria such as ozone depletion potential (ODP), global warming potential (GWP, HGW) and photochemical ozone creation potential (POCP) is given for the most popular derivatives of methane, ethane and propane. The total equivalent warming impact (TEWI, LEWI) of refrigerating machines is discussed for a few examples, when refrigerant leakage and CO₂ emissions due to the electrical power consumption are considered. It is shown how the filling quantity of the refrigerant in heat pumps effects the heating capacity.

The choice of the appropriate refrigerant for the desired application range depends on many factors. The vapour pressure, the pressure ratio, the coefficient of performance, the temperature after compression, the volumetric cooling or heating capacity have a determining influence on the use of a defined refrigerant.

The subcooling of the condensate and the superheating of the vapour have also influence on the coefficient of performance and the volumetric cooling or heating capacity. The specific heat capacity, the thermal conductivity, the viscosity, the surface tension have effect on the heat transfer coefficient and the size of the heat transfer area of the heat exchanger. A ranking is given for different refrigerants depending on the thermophysical properties.

Exergy losses in heat exchangers are discussed intensively. Some possibilities are presented on how exergy losses can be reduced by using non-azeotropic mixtures with a temperature glide during boiling and condensation. An exergetic analysis of the vapour compression cycle shows the limits and the possibility for the reduction of exergy losses of the components of heat pump and refrigerating systems.

The thermophysical and thermodynamical properties of refrigerants are well known. The refrigerants offer experimental conditions which are more convenient than for water, i.e. lower pressure, lower temperature and smaller heat of evaporation. It is shown here, that the refrigerant R134a can be used as model fluid for water. Therefore scaling factors have been derived depending on the normalised pressure by using the principle of corresponding states.

The investment costs for the evaporator can amount to up to 30 % of the total costs of large heat pump and refrigerating systems. Therefore a good design of the evaporator is necessary. Some new knowledge is summarised regarding the prediction of the heat transfer behaviour in the evaporator.

The influence of the properties of the fluid and of the heating wall is discussed with respect to pool boiling heat transfer. A significant improvement has been achieved by the development of enhanced tube surfaces. The newest results of pool boiling heat transfer with the refrigerants R134a, R507 and R410A on a GEWA-B tube are presented. The refrigerating oil of the compressor dissolved in the refrigerant has a strong influence on the boiling heat transfer coefficient. An enhancement in heat transfer is observed at low mass fractions of oil. At higher mass fractions of oil a strong reduction in heat transfer occurs. Results for smooth tubes, enhanced tubes and tube bundles are described. A summary of correlations is given for the calculation of the heat transfer coefficient during boiling of refrigerant/oil mixtures. Several heat transfer models for enhanced tubes are also presented.

The influence of mass flux, heat flux and vapour fraction on heat transfer and pressure drop during flow boiling is discussed using new experimental results for R134a. Nowadays microfin tubes are used for air heated fin and tube evaporators. The influence of tube diameter, helix angle of the microfins and viscosity of the oil on the heat transfer coefficient is described using selected examples. Additionally a summary of heat transfer correlations is given for subcooled flow boiling in tubes. Using new experimental results of R134a the influence of the dominant parameters, subcooling, flow velocity and heat flux, on the heat transfer coefficient is discussed.