

Projektbeispiel: Untersuchung des Öleinflusses auf das Leistungsverhalten des Verdampfers einer Pkw-Klimaanlage

Einleitung

Bei Verdichtern zur Pkw-Klimatisierung liegt auf Grund des fehlenden Ölumpfes im Kurbelgehäuse ein im Vergleich zur stationären Kälte sehr hoher Ölwurf und damit hohe Ölmengen im Kreislauf vor. Bereits nach einer sehr kurzen Laufzeit der Anlage ist das Verdichteröl über alle Komponenten des Kreislaufs verteilt. Messungen der Ölkonzentration im Kältemittelkreislauf haben ergeben, dass teilweise bis zu 12 Massenprozent Öl im Kreislauf zirkulieren. Dieser hohe Ölanteil hat enorme Auswirkungen auf die Leistung und die Betriebsdaten der Anlage. Bei genauen Leistungsmessungen muss der Ölanteil bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde der Einfluss des Ölanteils auf die Anlage untersucht.

Messung des Ölanteils

Die Ermittlung der Ölkonzentration im Kältemittel über die Entnahme von Proben ist das wohl weit verbreitetste Messprinzip. Hierbei wird ein evakuierter Behälter an die Flüssigkeitsleitung der Kälteanlage angeschlossen. Durch das Öffnen eines Ventils wird eine Probe des Kältemittel-Öl-Gemisches entnommen. Die Probe wird gewogen und dann das Kältemittel sehr langsam abgesaugt. Ist das gesamte Kältemittel entwichen, so muss der Probebehälter erneut gewogen werden. Über die gemessenen Gewichte kann die Ölkonzentration im Kältemittel berechnet werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Ölkonzentration besteht durch Messung der Schallgeschwindigkeit des in der Flüssigkeitsleitung strömenden Mediums.

Die Schallgeschwindigkeit eines Stoffes ist hauptsächlich von dessen Beschaffenheit und Zustand (chemische Zusammensetzung, Druck und Temperatur) abhängig. Mischt man PAG-Öl und R-134a (außerhalb der Mischungslücke) so entsteht ein Stoffgemisch mit einer vom jeweiligen Mischungsverhältnis abhängigen Dichte. Ändert man das Mischungsverhältnis hat die Dichteänderung eine Änderung der Schallgeschwindigkeit des Gemisches zur Folge. Wird die Schallgeschwindigkeit aufgenommen, so kann auf die Dichte und damit auf die prozentuale Zusammensetzung des Gemischs geschlossen werden. Um der Schallgeschwindigkeit eine bestimmte Ölkonzentration zuzuordnen zu können, muss zuvor eine Kalibrierung des Sensors vorgenommen werden.

Kalibrierung des Schallsensors

Die Kalibrierung des Schallsensors ist mit einem sehr hohen Zeitaufwand verbunden. Es wurde eine Kalibrierung für das Kältemittel R-134a und zwei PAG-Öle, jeweils für Ölkonzentrationen von 0 bis 10 % Öl im Kältemittel, einer Verflüssigungstemperatur von 50 °C und 0 bis 20 K Unterkühlung vorgenommen. In einer speziellen Kalibriereinrichtung wurde das jeweilige Mischungsverhältnis eingefüllt und dann die genannten Bedingungen eingestellt. Der Zusammenhang zwischen der gemessenen Schallgeschwindigkeit und diesen Bedingungen eines Öles ist in Bild 1 dargestellt. Während der Messungen wurde die über den Schallsensor ermittelten Ölgehalte mit der Entnahme von Ölproben kontrolliert. Es stellte sich eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Verfahren ein.

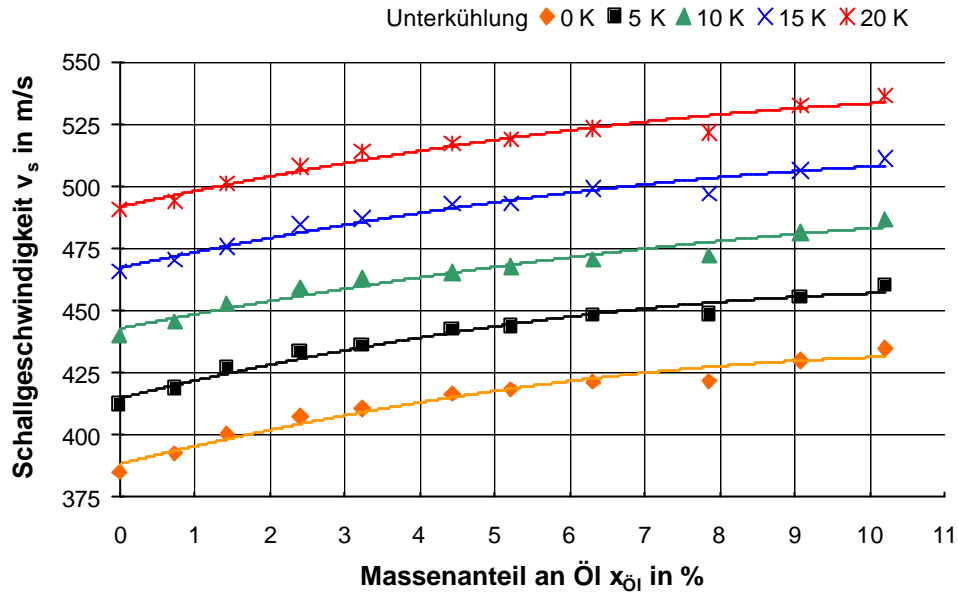


Bild 1. Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Ölkonzentration und der Unterkühlung

Prüfstand

Die Kälteanlage besteht aus einem drehzahlregelbaren Pkw-Verdichter, einem wassergekühlten Verflüssiger zur Einstellung der gewünschten Verflüssigungstemperatur, einem Kältemittelsammler und einem wassergekühlten Unterkühler zur Einstellung einer definierten Unterkühlung. Durch die Kombination des Verflüssigers mit einem Unterkühler ist die Möglichkeit gegeben die Kältemittelunterkühlung unabhängig von dem Verflüssigungsdruck einzustellen. Der Kältemittelvolumenstrom wird über einen Volumenstromzähler erfasst. Am Eintritt in den Volumenstromzähler befindet sich noch ein Serviceventil, über das Proben des Kältemittel-Öl-Gemisches aus der Flüssigkeitsleitung gezogen werden können.

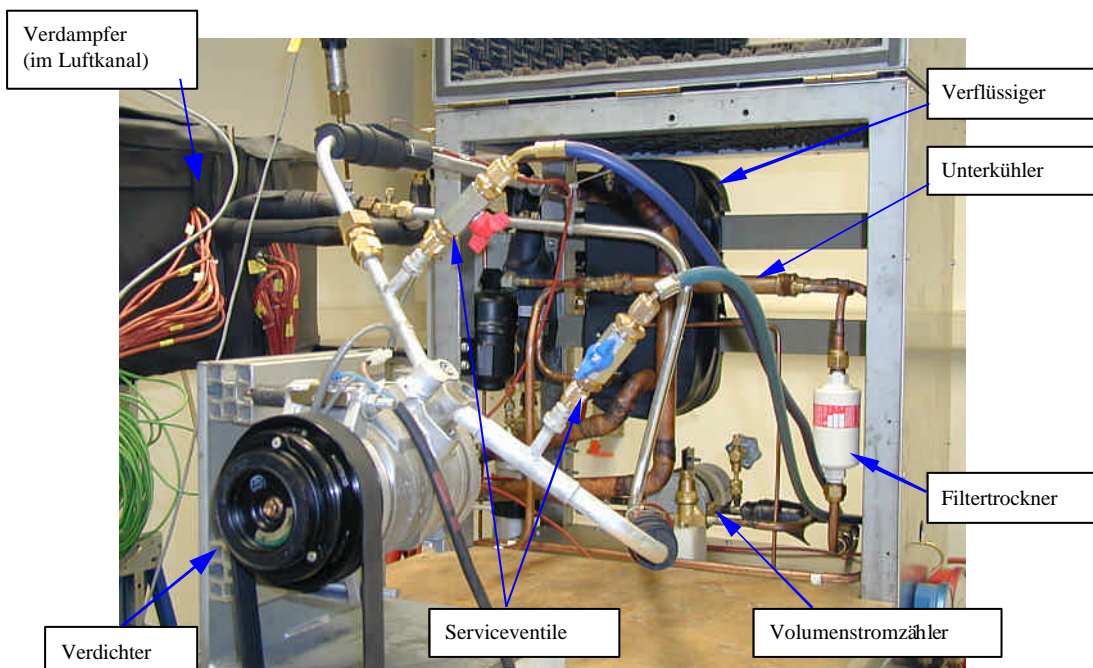


Bild 2. Prüfstands Aufbau, Hochdruckseite des Kältemittelkreislaufs

Zwischen Volumenstromzähler und Drosselorgan ist der Schallsensor eingebaut. An dessen Eintritt befindet sich ein Schauglas mit welchem das Kältemittel auf Dampfblasen untersucht werden kann. Ein ordnungsgemäßer Betrieb des Sensors ist nur dann gewährleistet, wenn das Kältemittel-Öl-Gemisch in flüssiger Form vorliegt. Beim Drosselventil handelt es sich um ein modifiziertes thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich. Der äußere Druckausgleich wurde verschlossen, so dass das Regelverhalten des Ventils lediglich vom Kältemitteldruck im Ventil und vom Fühlerdruck, der mit Stickstoff eingestellt wurde, abhängig ist.

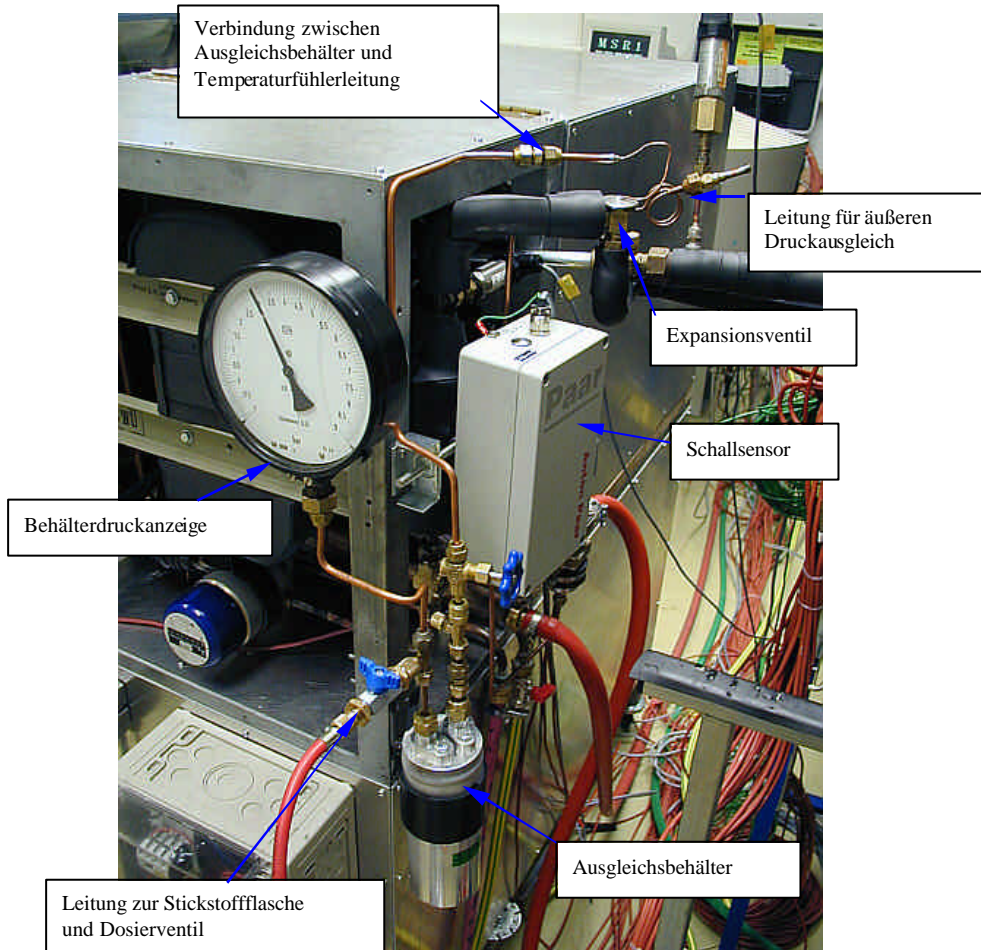


Bild 3. Einbaulage des Schallsensors

Der Pkw-Verdampfer ist zur Leistungsmessung in einen Luftkanal eingebaut. Die Luft wird vom Radialventilator (1) angesaugt und einem Heizregister (2) zugeführt. Der Ventilator ist mit einem Frequenzumrichter verbunden, so dass sich beliebige Luftvolumenströme einstellen lassen. Das Heizregister ist ebenfalls stufenlos regelbar und besitzt eine maximale Heizleistung von 9 kW. Die temperierte Luft strömt durch eine Venturidüse (3). Über den Druckabfall, welcher sich bei der Durchströmung der Düse ergibt, wird der Luftvolumenstrom bestimmt. Nach der Venturidüse wird die Luft durch einen Gleichrichter (4) geleitet. Hierdurch soll eine möglichst homogene Strömungsverteilung über den gesamten Kanalquerschnitt erreicht werden. An den Gleichrichter schließt sich der Teil des Luftkanals an, in dem der Verdampfer (6) untergebracht ist. Vor (5) und nach (7) dem Verdampfer befinden sich Messgitter zur Ermittlung der Luftabkühlung und Temperaturverteilung. Ein flexibler Wellrohrschlauch (8) schließt den Luftkreislauf. Die durch den Verdampfer abgekühlte Luft wird erneut von dem Radialventilator angesaugt und zum Heizregister befördert. Es lassen sich somit beliebige Luftmengen und Lufteintrittstemperaturen in den Verdampfer einstellen.

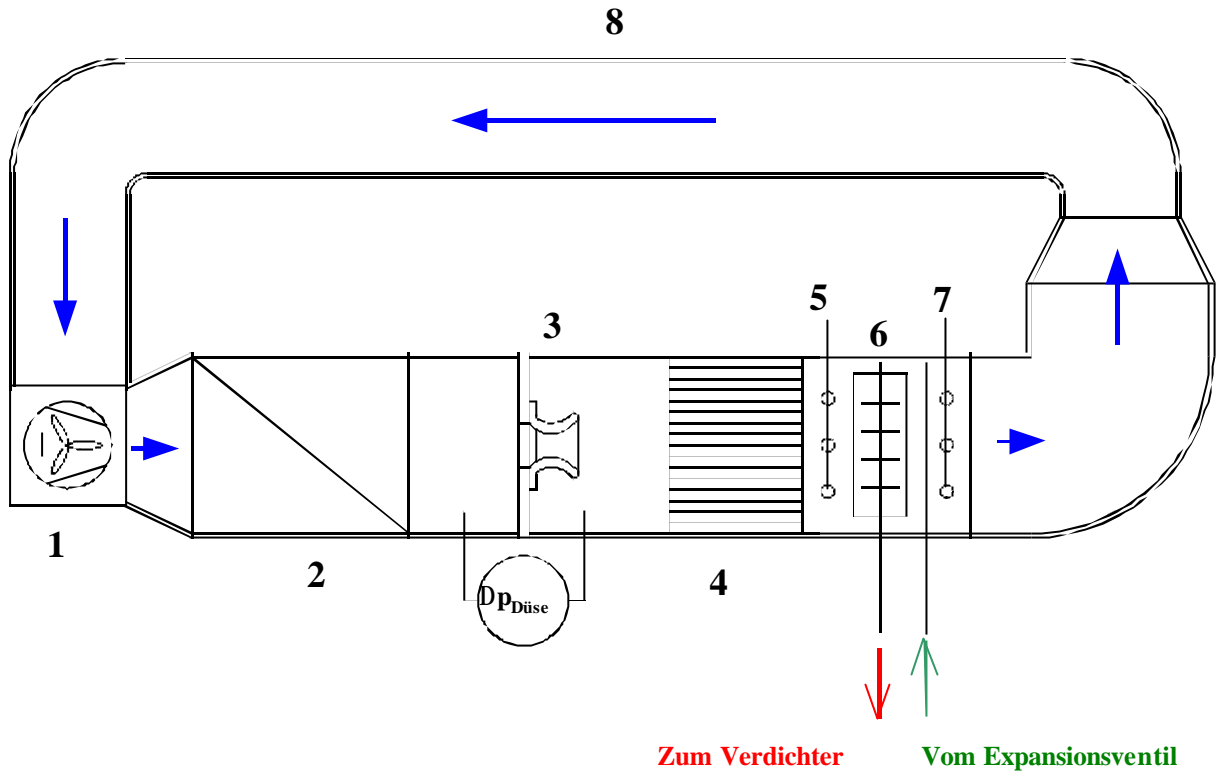


Bild 4. Aufbau des Luftmesskanals

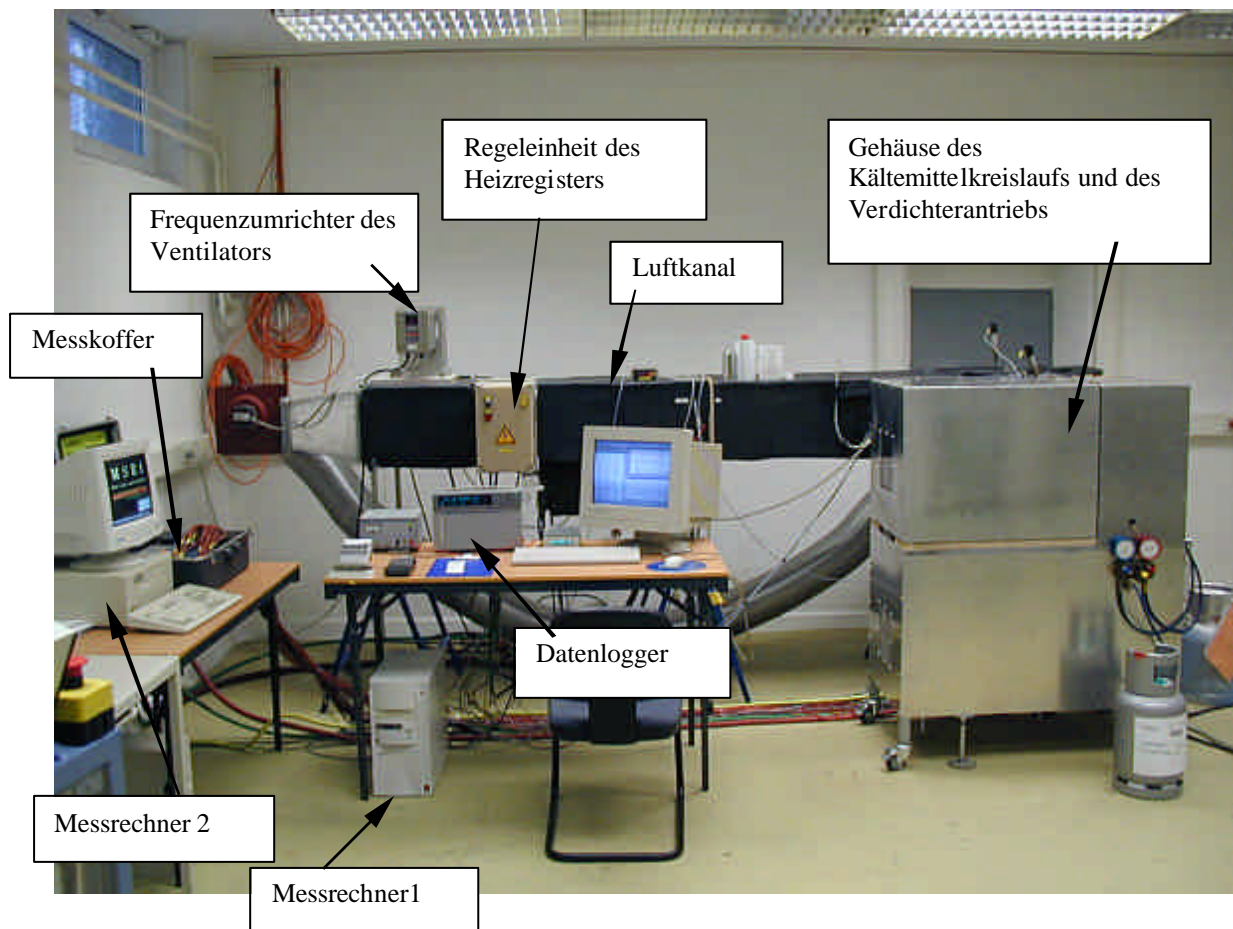


Bild 5. Prüfstand zur Messung des Öleinflusses

Messergebnisse

Die folgenden Grafiken geben den ermittelten Einfluss eines höheren Ölanteils auf einige Betriebsdaten der Anlage wieder:

Die Messungen wurden unter folgenden Bedingungen aufgenommen:

Hochdruck:	$p_{E1} = 13,2 \text{ bar}$
Unterkühlung:	$\Delta t_{E1u} = 5 \text{ K}$
Überhitzung:	$\Delta t_{o2h} = 5 \text{ K}$
Verdampfungsdruck:	$p_{o2} = 2,93 \text{ bar}$
Verdampferzulufttemperatur:	$t_{oL1} = 40 \text{ °C}$

Einfluss auf die Verdichteraustrittstemperatur

Ein hoher Ölanteil bewirkt eine deutliche Absenkung der Verdichteraustrittstemperatur. Das Öl hat am Verdichtereintritt die tiefe Temperatur des angesaugten Kältemittels und am Verdichteraustritt die hohe Temperatur des verdichteten Kältemittels. Während der Kompression wird das Kältemittel sehr stark erwärmt. Die zur Erwärmung des kalten Öls notwendige Energie wird dem Kältemittel entzogen und dieses somit abgekühlt. Betrachtet man den Vorgang im Druck-Enthalpiediagramm, so kann es vorkommen, dass die Verdichtungslinie besser als isentrop verläuft. Bild 6 zeigt den Einfluss des Ölanteils auf die Verdichteraustrittstemperatur.

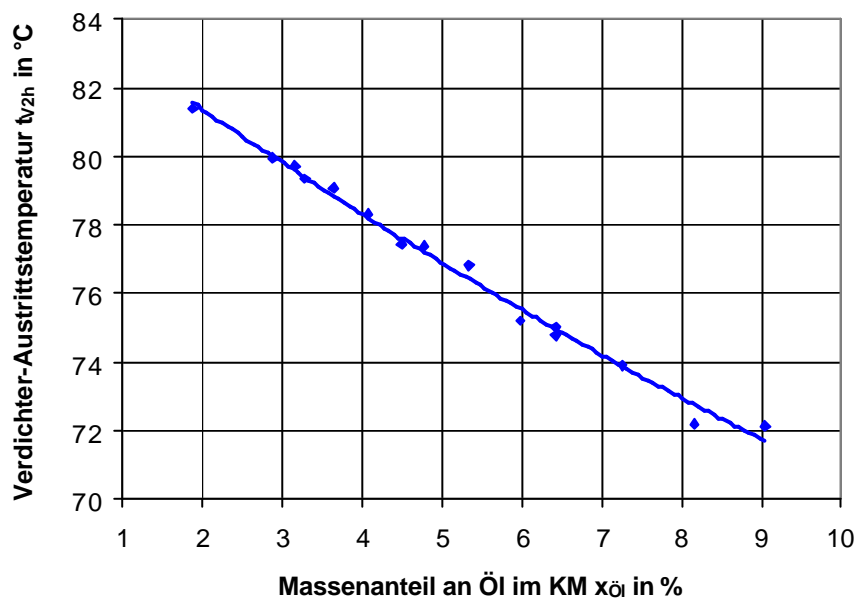


Bild 6. Heißgastemperatur in Abhängigkeit vom Massenanteil Öl im Kältemittel

Einfluss auf die Kälteleistung

Während geringe Ölanteile im Kältemittel den Wärmeübergang und somit die Kälteleistung verbessern bewirken hohe Ölanteile im Massenstrom eine Absenkung der Kälteleistung. Ursache hierfür ist die Abkühlung des Öls von der Flüssigkeitstemperatur am Expansionsventileintritt auf die Temperatur des Kältemittels am Verdampferaustritt und die bei hohen Ölanteilen schlechteren Wärmeübergänge. Um die Abkühlung zu erreichen, muss ein Teil des umlaufenden Kältemittels verdampfen. Die für die luftseitige Kälteleistung zur Verfügung

stehende Verdampfungsenthalpie des Kältemittels wird somit verringert. Bild 7 zeigt die Verringerung der Kälteleistung durch hohe Ölanteile.

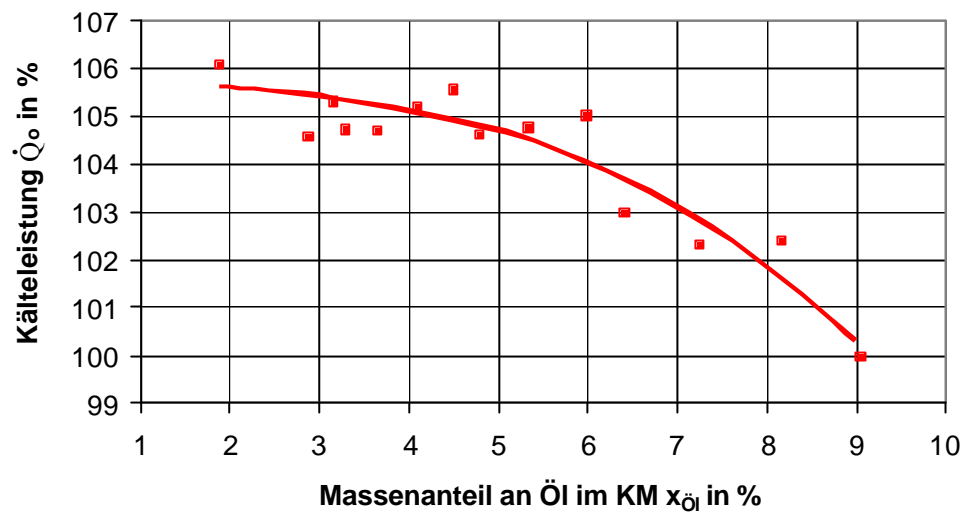


Bild 7. Änderung der Kälteleistung in Abhängigkeit vom Massenanteil Öl im Kältemittel

Einfluss auf den Druckabfall im Verdampfer

Eine weitere Auswirkung hoher Ölanteile ist die Beeinflussung des Druckabfalls im Verdampfer. Ein hoher Ölanteil führt zu einem Anstieg des vom Verdichter geförderten Gesamtmassestromes aus Öl und Kältemitteldampf. Das Öl nimmt aufgrund der im Vergleich zum Kältemitteldampf sehr hohen Dichte kaum Raum im Kompressionsraum des Verdichters ein. Der reine Kältemittelmassestrom bleibt folglich annähernd unverändert. In der flüssigen Phase hat das im Kältemittel gelöste Öl eine geringere Dichte als das Kältemittel. Die Strömungsgeschwindigkeit in den Verdampferkanälen und somit der Druckabfall im Verdampfer steigt bei hohen Ölgehalten an. Bild 8 zeigt den Druckabfall im Verdampfer in Abhängigkeit vom Ölanteil im Kältemittelmassestrom.

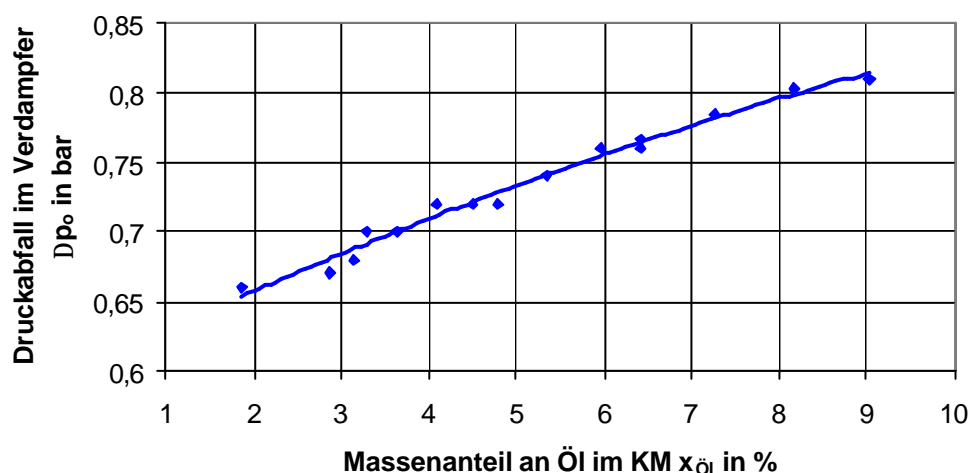


Bild 8. Druckabfall im Verdampfer in Abhängigkeit vom Massenanteil Öl im Kältemittel

Zusammenfassung

Ein hoher Ölanteil im Kältemittelkreislauf bringt erhebliche Veränderungen der Betriebsbedingungen der Anlage mit sich. Sollen präzise Leistungsmessungen an einzelnen Bauteilen oder der Gesamtanlage durchgeführt werden, ist es unerlässlich den Ölanteil bei der Bilanzierung mit zu berücksichtigen. Eine kontinuierliche Bestimmung des Ölanteils über die Messung der Schallgeschwindigkeit des Mediums und die Ermittlung über die Entnahme von Proben ergeben vergleichbare Ergebnisse. Der Schallsensor muss jedoch für die gewünschten Betriebsbedingungen und das jeweilige Kältemittel-Ölgemisch kalibriert werden.

Literatur

Klug, P.: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Ölkonzentrationen im Kältemittel auf das Leistungsverhalten des Verdampfers, unter Zuhilfenahme eines kontinuierlichen Ölkonzentrationsmessverfahrens. Master Thesis Nr. 01/07, Fachhochschule Karlsruhe, 2002

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Peter Klug
Dipl.-Ing. (FH) Rainer Burger