

Visualisierung der Ölrückführung in Kälteanlagen mit R 12 und R 134a bei der Umrüstung

Peter Jannick und Holger König, Hannover

Die konsequenteste Lösung für die Umrüstung von R 12-Altanlagen ist der Einsatz von R 134a, wobei mindestens ein Ölwechsel erforderlich wird. Neu entwickelte, wie beispielsweise teillösliche Öle auf Alkylbenzolbasis oder Polyvinylether (PVE)-Öle, die gegen Feuchtigkeit unempfindlicher sind als Esteröle, ermöglichen die Umrüstung mit nur einem Ölwechsel. Dadurch können die Kosten der Umstellung von R 12-Altanlagen auf R 134a wesentlich reduziert werden.

Erheblich interessanter ist diese Technologie jedoch für Neuanlagen, insbesondere bei Großserienprodukten. Hierfür kommen allerdings auch unlösliche Öle mit entsprechend umkonstruierten Anlagen in Frage. Die Verträglichkeit von Ölen im Kältemittelkreislauf ist hier auch mit Berücksichtigung des gesamten Herstellungsprozesses zu gewährleisten. Die im Kreislauf verwendeten Kältemaschinenöle müssen hierbei insbesondere mit Ziehfiten, Schneidölen und dessen Additiven sowie anderen herstellungsbezogenen Schmiermitteln verträglich sein. Besonders in den Entwicklungsländern ergibt sich hierbei eine erschwerte Situation im Hinblick auf parallele Komponentenproduktion für R 12 und R 134a.

In dieser Arbeit wurden Versuche zur Ölrückführung mit Alkylbenzolölen im Vergleich zu Polyolester (POE)-, Polyglykol (PAG)- und Mineralöl durchgeführt, wobei die Öl-Kältemittelströmung visualisiert und für die Kältemittel R 12 und R 134a gegenübergestellt wurde. Ver-

gleichparameter zur Leistungsbeurteilung werden vorgestellt und Auslegungsparameter erarbeitet, mit denen sich der zu erwartende Ölrückfluß abschätzen läßt. Als Randbedingungen sind Verdampfungstemperaturen von 5 °C bis -18 °C und Verflüssigungstemperaturen zwischen 30 °C bis 40 °C in einer Versuchsanlage gefahren worden.

Die Umrüstung einer R 12-Altanlage mit nur einem Ölwechsel, bei der Verwendung der hier betrachteten teillöslichen Öle auf Alkylbenzolbasis, ist möglich. Beim Vergleich mit den herkömmlich verwendeten Ölen, wie z. B. POE- und PAG-Öl, wurden aber Leistungsverluste der Anlage deutlich. Diese Leistungsverluste können durch den Einsatz eines Ölabscheiders verringert werden.

Beim Vergleich verschiedener Viskositäten bei gleichen Öltypen und gleichem Kältemittel wurden nur geringe Leistungsverluste festgestellt.

Die Ölrückführung ist bei den o. a. Untersuchungsbedingungen ausreichend. Restbestandteile an Mineralöl sind mit dem neuen Alkylbenzolöl verträglich und haben keinen nachweisbaren Einfluß auf die Ölrückführung.

Einsatz von teillöslichen Kältemaschinenölen

Die Umrüstung bestehender R 12-Anlagen mußte in Deutschland bis zum 30. 6. 1998 aufgrund gesetzlicher Grundlagen erfolgen [1].

Als Ersatzkältemittel wurde in den meisten Fällen das Kältemittel R 134a verwendet [2]. Da sich dieses Kältemittel

zu den Autoren

Dipl.-Ing.
Peter Jannick,
Anwendungstechnik Kältemittel in der Firma Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover



Dipl.-Ing.
Holger König,
Leiter Anwendungstechnik Kältemittel in der Firma Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover



nicht in Mineralöl mischt, wurden POE- und PAG-Öle eingesetzt. Die Umstellung der bestehenden R 12-Anlagen erfolgte nach bekannten Retrofitprozeduren mit mehreren Ölwechseln [3].

Nachteil der POE-Öle sind ihre hygroskopischen Eigenschaften und ihre Nichtverträglichkeit mit Ölen auf Mineralölbasis, die als Öle in der Fertigung und bei der Herstellung der Anlagenbauteile verwendet werden. Dadurch kann es gerade im Bereich bei Kältemittelkreisläufen mit Kapillarrohrexpansion zur Ausflockung und damit zu Verstopfungen und Anlagenausfall kommen [4].

Aufgrund der parallelen R 12/R 134a-Komponentenproduktion in Entwicklungsländern und den dabei verwendeten Ziehfiten und Schmierölen mit Additiven sowie sonstigen Ölen auf Mineralölbasis, die bei der Herstellung benutzt werden, ergibt

sich eine erschwerte Situation. Durch die Umstellung der Fertigungsverfahren mit verträglichen Ölen bei der Komponentenerstellung würden erhebliche Kosten entstehen. So müssen z. B. bei der Herstellung von R 134a-Geräten und Systemen die Fertigungsverfahren auf POE-verträgliche Öle umgerüstet werden.

Durch Zugabe von Additiven wird bei Verwendung von R 134a und Alkylbenzolölen Teillöslichkeit erreicht. Bis auf das Expansionsventil müssen keine Anlagenbauteile und Dichtungen ausgetauscht werden. In Busklimaanlagen werden die neuen, teillöslichen Alkylbenzolöle bereits verwendet. In Polen wurden bestehende R 12-Anlagen ebenfalls mit R 134a und den Alkylbenzolölen umgerüstet [5]. Weitere Feldtests sind insbesondere in Osteuropa geplant.

Bisher diente die Öllöslichkeit als Bewertungskriterium für die Ölrückführung. Durch die Teillöslichkeit der Alkylbenzolöle kann die Ölrückführung beeinträchtigt werden. Dieser Einfluß wurde in der vorliegenden Arbeit näher untersucht und die Kältemittel/Öl-Strömung visualisiert.

Grundlagen für die Versuchsdurchführung

Bisherige Untersuchungen

Die Dokumentierung der Ölrückführung wurde bereits mehrfach beschrieben. Die einfachste für Versuchszwecke geeignete Methode ist die optische Überwachung des Ölstandes im Verdichter mit einem Schauglas, die auch in dieser Arbeit angewendet wurde [6, 7, 8].

Die Ölkonzentration im umlaufenden Gemisch kann auch über die UV-Absorption oder die Schallgeschwindigkeit des Öls gemessen werden [9]. Letztere Methoden erschienen für dieses Vorhaben als zu aufwendig und kostenintensiv und wurden nicht angewendet.

Funktion des Kältemaschinenöls

Das Kältemaschinenöl ist im Kältemittelkreislauf unerwünscht. Bei Kältdampfkältemaschinen werden Verdichter eingesetzt, die eine Ölschmierung erfordern. Ein geringer Ölanteil gelangt im Allgemeinen auch in den Kältemittelkreislauf. Dieser Ölanteil ist vom Ölwurf des Verdichters und der Löslichkeit des Kältemittels im Öl abhängig. Da die Löslichkeit temperaturabhängig ist, kann es durch evtl. Mischungslücken des Öls im Verflüssiger oder Verdampfer zu Entmischungen und Verlagerung des Öls in den kalten Teil der Anlage kommen. Das Kältemaschinenöl

dient als Transportmedium für Schmutzpartikel. Es übernimmt auch Löse- und Spülfunktionen, um fertigungs- und montagebedingte Verunreinigungen zu transportieren. Das Öl kann diese Aufgaben nur erfüllen, wenn eine ausreichende Ölrückführung gewährleistet ist.

Einflüsse auf die Ölrückführung

Die Ölrückführung wird durch die Konstruktion, den Öltyp, die Viskosität, die Löslichkeit des Kältemittels und die daraus resultierende Betriebsviskosität sowie durch die Strömungsgeschwindigkeit in den Bauteilen beeinflusst. Die Kälteanlage muß strömungsgünstig gestaltet sein, d. h. viele Verbindungen bzw. Schraubverbindungen sowie „Säcke“ und „tote Äste“ sind zu vermeiden. Auch durch Leistungsregelung des Verdichters wird die Strömungsgeschwindigkeit und somit die Ölrückführung beeinflusst. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß sich bei guter Löslichkeit des Kältemittels im Öl die Viskosität verringert.

Eigenschaften und Mischungsverhalten verschiedener Öle

Die Kältemaschinenöle können aufgrund ihrer Wasseraufnahmefähigkeit (Hygroskopie) eingeteilt werden. POE- und PAG-Öl sind hygroskopisch, d. h. sie nehmen

ferabscheidung und -plattierung können die Folge sein.

R 12 ist mit Mineral- und PAG-Öl, R 134a mit POE- und PAG-Ölen vollständig mischbar.

Teilweise mischbar sind Alkylbenzolöle mit R 134a. Die Mischbarkeit wird hierbei durch Additive erreicht.

Unmischbar ist R 134a mit Mineralöl. Das Fehlen von Chlor und das Vorhandensein von Wasserstoff führen bei den HFKW und FKW zu einer schlechten Mischbarkeit [10].

Das Mischungsverhalten von Kältemitteln und Öl und somit auch die Betriebsviskosität sind außerdem druck- und temperaturabhängig und verändern sich während des Betriebes im Kältemittelkreislauf. Bei der Überprüfung der erforderlichen Betriebsviskosität ist also der Kältemiteleinfluß auf das Kältemaschinenöl, wie in Tabelle 1 dargestellt wird, zu beachten [11].

Beim Kältemaschinenöl Triton S19F und Reniso AB46 wird durch Zugabe von Additiven Teillöslichkeit im Kältemittel erreicht.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, muß beim Retrofit von R 12-Anlagen die Mischbarkeit des Ersatzkältemittels und -öles und die daraus resultierende Betriebsviskosität des Öles, dem auszutauschenden Kältemittel/Öl-Paar durch Auswahl einer entsprechenden Viskositätsklasse angepaßt werden.

Kältemittel	Ölart	Ölbezeichnung	Kinematische Viskosität bei 40 °C in mm ² /s	Betriebsviskosität, Kinematische Viskosität bei 10 % Kältemittel im Öl und 40 °C in mm ² /s
R 12	Mineralöl (M)	Shell Clavus G32	32	14 ¹
R 134a	Alkylbenzolöl (AB)	Triton S19F	19	*
		Reniso AB46	42	*
	PAG-Öl (PAG)	Reniso PAG46	42	30
		Reniso PAG100	100	*
	POE-Öl (POE)	Reniso	33,5	18
		Triton SEZ32		
Mineralöl (M)	Shell Clavus G32	32	*	

* – keine Angaben, ¹ – Angabe von Reniso KM32

Tabelle 1 Viskositäten der untersuchten Öle und deren Betriebsviskositäten beim Mischen mit Kältemitteln [11]

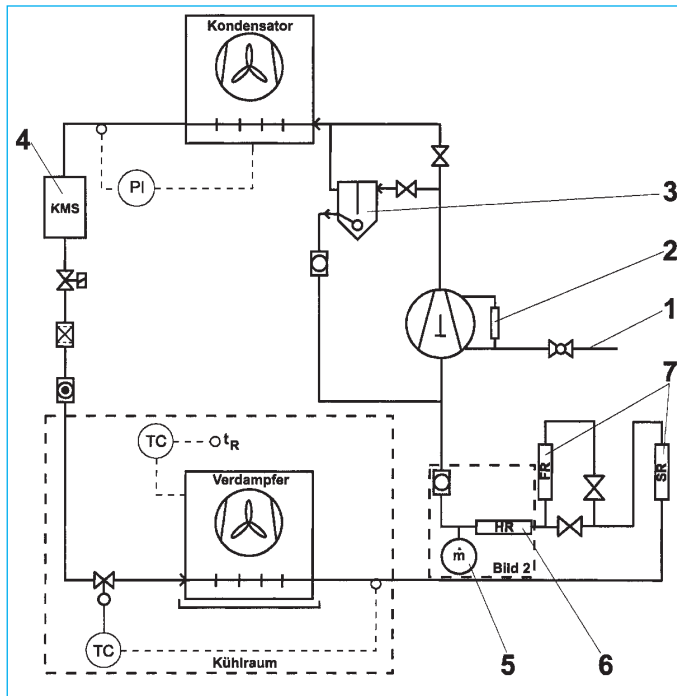
Wasser auf. Durch Hydrolyse (= Zersetzung unter Bildung freier organischer Säuren) kann das POE-Öl zersetzt werden. Die bei dieser Reaktion entstehende Säure verstärkt die Korrosion. Lackbildung, Kup-

Versuchseinrichtung

Zur Visualisierung der Ölrückführung wurde die im Bild 1 gezeigte Versuchseinrichtung verwendet.

Für die Untersuchungen wurde die Anlage im Bild 1 mit einer Ölablaßleitung 1, einer Ölstandsanzeige am hermetischen Verdichter 2, einem Ölabscheider 3, einem Kältemittelsammler aus Glas (KMS) 4,

Bild 1 Versuchseinrichtung zur Visualisierung der Ölrückführung



sige Ölstrom in einem Ölabscheider 2 getrennt. Wahlweise kann dann durch Öffnen und Schließen der Absperrarmaturen 9 und 4 der Kältemittel- oder Ölmassenstrom mit dem Coriolis-Durchflußmeßgerät 6 gemessen werden. Weil der Kältemittelmassenstrom den größten Einfluß auf die Ölrückführung hat, wurde bei der Visualisierung der Ölrückführung nur dieser Massenstrom gemessen.

Über die Absperrarmatur 8 konnte ein konstanter Massendurchfluß bei verschiedenen Kältemittel/Öl-Gemischen eingestellt werden. Allerdings wird durch die Bypasleitung auch der Ölstrom umgeleitet. Somit konnten die Grenzgeschwindigkeiten, bis eine unzureichende Ölrückführung eintritt, nicht mit der bestehenden Versuchsanordnung ermittelt werden. Das Schauglas in der Ölleitung nach dem Ölabscheider 3 und nach dem Meßkreislauf 7, sowie das Glasrohr vor dem Massenstrommeßgerät 5, dienten zur optischen Kontrolle des Kältemittel- und des Ölmassenstromes.

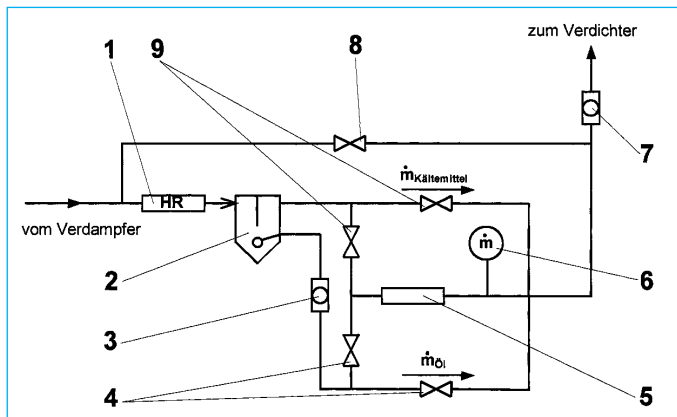
Der Massenstrom ist vom Kältemittel/Öl-Gemisch und den Versuchsbedingungen abhängig. Bei hohen Verdampfungstemperaturen ist der Massenstrom größer als bei niedrigen Verdampfungstemperaturen. Für das Kältemittel R 12 ist der Massenstrom größer als für das Kältemittel R 134a bei gleichen Versuchsbedingungen. Der Massenstrom für ein Kältemittel/Öl-Gemisch ist größer als der Massenstrom für das reine Kältemittel. Der Druckabfall über der Meßstrecke betrug 0,2 bar.

Versuchsdurchführung

Ein Aspekt für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Kälteanlagen ist die sogenannte Abkühlkurve des zu kühlenden Mediums. In dieser Untersuchung wurden die Abkühlkurven der Kühlraumluft für die unterschiedlichen Kältemittel und Öl-Paarungen aufgenommen. Gemessen wurden die Kühlraumtemperatur über der Zeit, wobei die Sollwerttemperatur von $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ als Regelungstemperatur festgelegt war. Es wurden Verdampfungstemperaturen von $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei einer Verflüssigungstemperatur von $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ untersucht. Dieser Zustand wurde jeweils 1,5 Stunden aufrecht erhalten.

Alle zur Beurteilung erforderlichen Temperaturen und Massenströme wurden während der Versuchsreihen durch ein

Bild 2 Meßkreislauf für die Massenstrommessung



einem Massenstrommeßgerät 5, einem horizontalen Glasrohr (HR) 6 und zwei vertikalen Glasrohren (SR, HR) 7 ausgestattet.

Der Ölabscheider wurde in die Heißgasleitung eingebaut, um den Einfluß des Öls auf den Wärmeübergang im Verdampfer und Verflüssiger festzustellen. Dieser Einfluß wurde durch die Aufnahme von Abkühlkurven untersucht. Ein bestehender Kältemittelsammler im Verflüssigungssatz wurde durch einen Kältemittelsammler aus Glas ausgetauscht. Öl-lagerungen und das Mischungsverhalten verschiedener Kältemittel/Öl-Gemische konnten dadurch in der Flüssigkeitsleitung beobachtet werden.

Für die Kontrolle und zur Visualisierung der Ölrückführung bei verschiedenen Kältemittel/Öl-Gemischen und Betriebszuständen wurden in der Sauggasleitung horizontale und vertikale Glasrohre installiert. Die vertikalen Glasrohre wurden als Fall- und als Steigrohr angeordnet, um den konstruktiven Einfluß auf die Ölrückführung festzustellen.

Damit die Strömungsbilder der Kältemittel/Öl-Gemische in den Glasrohren verglichen werden können, muß die Strömungsgeschwindigkeit bei gleichen Betriebsbedingungen konstant sein. Zur Kontrolle wurde ein Coriolis-Durchflußmeßgerät in die Saugleitung eingebaut. Zur Messung des Durchflusses müssen der gasförmige Kältemittel- und der flüssige Ölstrom voneinander getrennt werden. Dazu wurde der im Bild 2 dargestellte Meßkreislauf verwendet.

Nach dem horizontalen Glasrohr 1 wurde das gasförmige Kältemittel und der flüs-

Meßwerterfassungssystem kontinuierlich erfaßt und ausgewertet. Durch Manometer konnte der Druck in der Flüssigkeitsleitung und die Drücke in der Saugleitung vor und nach der Massenstrommeßstrecke, im Bild 2, kontrolliert werden. Allerdings war es nicht möglich, die Umgebungstemperaturen während der Versuchsreihen konstant zu halten. In der anschließenden Auswertung wurden für einen thermodynamisch korrekten Vergleich die Temperaturen normiert.

Bei gleichem Kältemittel und unterschiedlichen Kältemaschinenölen veränderte sich die Überhitzung. Darum wurde sie bei den untersuchten Kältemittel/Öl-Gemischen kontrolliert und auf 9K am Expansionsventil nachjustiert.

Untersuchung der Ölrückführung und des Wärmeübertragungsverhaltens

Für die Untersuchung der Ölrückführung wurden verschiedene Kältemittel/Öl-Gemische verwendet, wie Tabelle 1 zeigt. Über die Abkühlkurven können die Einflüsse auf den Wärmeübergang im Verdampfer abgeschätzt werden.

Betriebsverhalten und Einflußgrößen auf den Wärmeübergang im Verdampfer

Der Wärmeübergang im Verdampfer kann am einfachsten über das Abkühlen des Kühlraumes während der Zeit beobachtet werden. Ein steilerer Kurvenverlauf und das frühere Erreichen der vorgegebenen Sollwerttemperatur bei sonst gleichen Bedingungen kann auf einen guten Wärmeübergang zurückgeführt werden. Bei diesen vergleichenden Untersuchungen sind die Einflußgrößen auf den Unterschied im Wärmeübergang im Verdampfer die Viskosität des Kältemaschinenöles, die Mischbarkeit des Kältemittels im Öl und die daraus resultierende Betriebsviskosität sowie das Kältemittel mit seinen spezifischen Größen.

Dabei ist zu beachten, daß das Wärmeübertragungsverhalten darstellbar in der zeitlichen Änderung der Kälteleistung $\frac{d\dot{Q}_0}{dt}$ durch den Wärmeübergangskoeffizienten des Kältemittel/Öl-Gemisches $\alpha_{\text{Kältemittel/Öl}}$ im Verdampfer nach der Beziehung

$$\dot{Q}_0 = k \cdot A \cdot \Delta t_m = \dot{m}_{\text{Kältemittel/Öl}} \cdot \Delta h_0 \quad (1)$$

charakterisiert wird. In dieser Beziehung wird der Wärmedurchgangskoeffizient k durch die Gleichung

$$\frac{1}{k \cdot A} = \frac{1}{\alpha_{\text{Luft}} \cdot A_{\text{Luft}}} + \frac{\delta_{\text{Rippe}}}{\lambda_{\text{Rippe}} \cdot A_{\text{Rippe}}} + \frac{\delta_{\text{Rohr}}}{\lambda_{\text{Rohr}} \cdot A_{\text{Rohr}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Kältemittel/Öl}} \cdot A_{\text{Rohr, innen}}} \quad (2)$$

ausgedrückt. Es wird deutlich, daß in die zeitliche Änderung der Kälteleistung der Massenstrom des Kältemittel/Öl-Gemisches $\dot{m}_{\text{Kältemittel/Öl}}$ und die Enthalpieänderung bei der Verdampfung Δh_0 und damit auch die äußeren Temperaturen eingehen. Weiterhin, wie bereits beschrieben, der Wärmedurchgangskoeffizient k , der wiederum vom Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_{\text{Kältemittel/Öl}}$ abhängt. Genau genommen sind sämtliche Stoffwerte des Kältemittel/Öl-Gemisches sowie der Wärmeübergangskoeffizient der Luft α_{Luft} darüber hinaus natürlich auch temperatur- und ortsabhängig. Diese Abhängigkeit wurde jedoch lediglich für die thermodynamischen Größen des Kältemittels berücksichtigt. Alle Wärmeübertragungskoeffizienten wurden als konstant angesetzt.

dem ölfreien Fall kommen, im hinteren Teil dagegen zu einer merklichen Verminderung [12].

Durch das Abscheiden des Öles in der Heißgasleitung mit einem Ölabscheider wurde der Einfluß des Öles auf das Wärmeübertragungsverhalten im Verdampfer für einen Zeitpunkt mit ähnlichen Betriebsbedingungen für die verschiedenen Kältemittel/Öl-Gemische untersucht und verglichen.

Einfluß der Mischbarkeit auf das Wärmeübertragungsverhalten

Wie zuvor beschrieben, wurde das Wärmeübertragungsverhalten im Verdampfer für ein vollständig mischbares Öl am Beispiel von R 12 und Mineralöl G32, R 134a und POE-Öl SEZ32, sowie für ein teilweise mischbares Öl am Beispiel von R 134a und Alkylbenzolöl S19F im Bild 3 veranschaulicht.

Wie aus Bild 3 ersichtlich, kann der Einfluß auf das Wärmeübertragungsverhalten im Verdampfer für vollständig mischbare Öle unter Beachtung der Randbedingun-

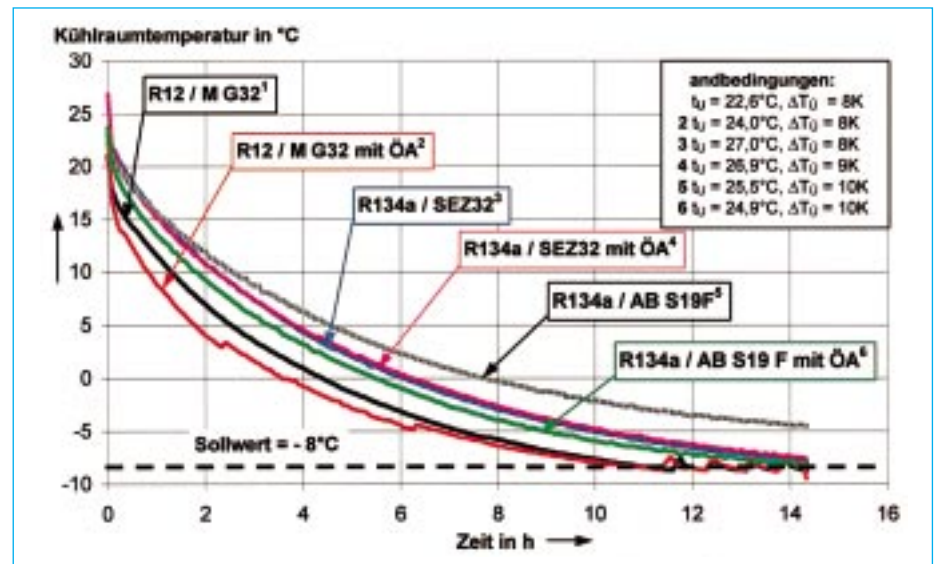


Bild 3 Abkühlkurven über der Zeit für vollständig und teilweise mischbare Öle mit und ohne Einfluß des Ölabscheiders (ÖA), t_{ij} – mittlere Umgebungstemperatur, ΔT_{ij} – eingestellte Überhitzung

Das Wärmeübertragungsverhalten längs des Verdampferrohres ist vom Anteil des im Kältemittel gelösten Öles abhängig. Im vorderen Teil des Verdampferrohres kann es zu einer beträchtlichen Erhöhung der Wärmeübergangskoeffizienten gegenüber

gen nur bei R 134a/SEZ32 als gering abgeschätzt werden.

Der vorgegebene Sollwert von -8 °C wird beim Abkühlen des Kühlraumes bei vollständig mischbaren Kältemittel/Öl-Gemischen mit oder ohne Ölabscheider zur gleichen Zeit erreicht.

Die Kombination R 134a/AB S19F hat einen größeren Einfluß auf den Wärmeübergang im Verdampfer. Beim Abkühlen des Kühlraumes mit R 134a und Alkylbenzolöl wird die vorgegebene Sollwerttemperatur von -8 °C nicht erreicht. Daraus ergibt sich, daß der Wärmeübergang im

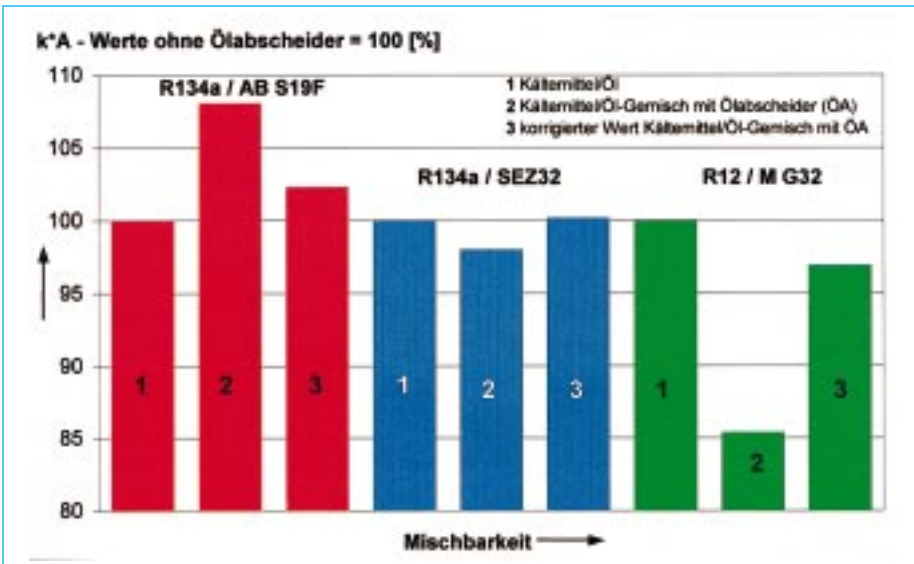


Bild 4 Prozentuale korrigierte k · A-Werte für Kältemittel/Öl-Gemische mit unterschiedlicher Mischbarkeit mit und ohne Ölabscheider

Verdampfer bei dieser Kältemittel/Öl-Kombination schlechter als bei den anderen hier untersuchten mischbaren Ölen ist.

Um die Ursachen genauer zu analysieren, wurde der Wärmedurchgangskoeffizient k bei konstanter Austauschfläche A für einen Zeitpunkt bei konstanten Betriebsbedingungen berechnet. Dazu wurde wie folgt vorgegangen:

Aus den Abkühlkurven der unterschiedlichen Kältemittel/Öl-Gemische mit und ohne Ölabscheider wurde je eine Meßreihe mit vergleichbarer Verdampfungstemperatur, Verflüssigungstemperatur und Überhitzung ausgewählt.

Aus dieser Meßreihe wurde die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz Δt_m im Verdampfer bestimmt. Anschließend wurden die Kälteleistungszahlen und die Kälteleistungen für ideale Verdichtung ermittelt. Aufgrund der nicht identischen äußeren und inneren Temperaturen wurden die Kälteleistungszahlen aus den realen Meßwerten zur Korrektur, d. h. zur Umrechnung auf die Basismeßwerte verwendet. Dazu wurden Meßwerte mit Streuungen bis zu $\pm 1,0$ K für die Überhitzungen, die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen ausgewählt.

Durch die Umrechnung der Kälteleistungszahlen wurde die Kälteleistung des Kältemittel/Öl-Gemisches mit Ölabscheider auf die Meßwerte ohne Ölabscheider bezogen. Dazu wurden die Annahmen getroffen, daß die Verdichterleistung bei dem gleichen Kältemittel/Öl-Gemisch mit und ohne Ölabscheider und die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz im Verdampfer konstant ist. Somit lassen sich die Kälteleistungszahlen und die Kälteleistungen ins Verhältnis setzen.

Die Aussagen aus den Abkühlkurven im Bild 3 wurden bestätigt und im Bild 4, am Beispiel des Wärmedurchgangskoeffizienten multipliziert mit der Fläche dargestellt. Die berechneten $k \cdot A$ -Werte der Kältemittel/Öl-Gemische ohne Ölabscheider wurden zu 100 % gesetzt.

Einfluß der Viskosität auf das Wärmeübertragungsverhalten

Der Einfluß der Viskosität auf das Wärmeübertragungsverhalten im Verdampfer wird im folgenden Abschnitt untersucht. Bild 5 zeigt am Beispiel von Abkühlkurven für das Kältemittel R 134a mit verschiedenen und unterschiedlich viskosen Ölen den Einfluß dieser Stoffgröße auf den Wärmeübergang im Verdampfer.

Aus Bild 5 ergibt sich, daß der Einfluß der Viskosität bei vollständig und teilweise mischbaren Ölen auf das Wärmeübergangsverhalten im Verdampfer als gering abgeschätzt werden kann.

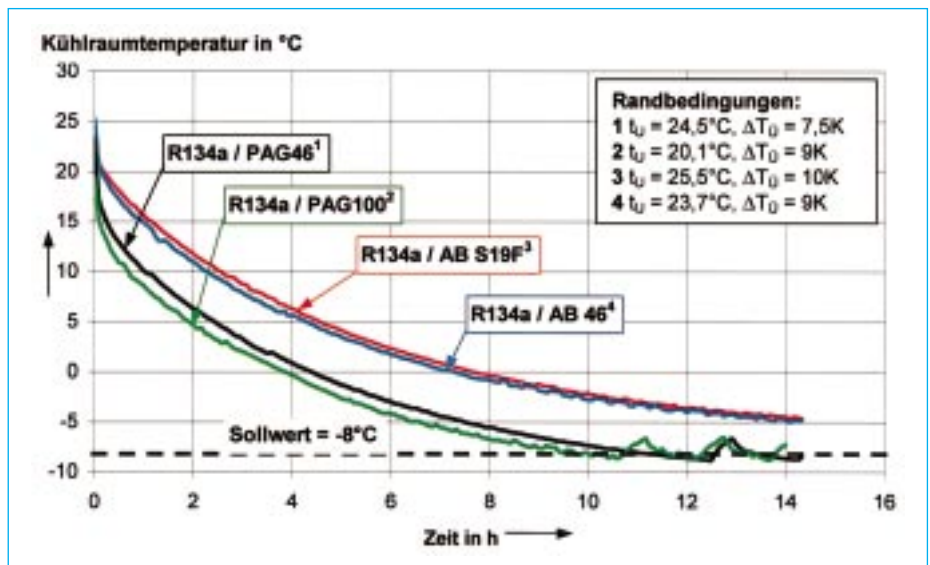


Bild 5 Abkühlkurven über der Zeit für vollständig und teilweise mischbare Öle mit verschiedenen Viskositäten, t_U – mittlere Umgebungstemperatur, ΔT_U – eingestellte Überhitzung

Es ergibt sich ein Korrekturwert, mit dem die Kälteleistung des Kältemittel/Öl-Gemisches mit Ölabscheider umgerechnet wurde. Mit dieser umgerechneten Kälteleistung wird anschließend der Wärmedurchgangskoeffizient k mit der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz Δt_m des Kältemittel/Öl-Gemisches ohne Ölabscheider berechnet. Die unterschiedlichen Meßwerte eines Kältemittel/Öl-Gemisches mit und ohne Ölabscheider lassen sich somit vergleichen.

Zu beachten ist, daß die Sollwerttemperatur bei der Kombination R 134a/AB S19F und R 134a/AB46 nicht erreicht wurde, was auf einen schlechten Wärmeübergang im Verdampfer hinweist. Allerdings ergibt sich eine schnellere Abkühlung bei hohen Viskositäten, was entgegen der üblichen Auffassung gefunden wurde, daß geringere Viskositäten vorteilhaft für die Wärmeübertragung sind. Dieser Effekt ist jedoch aufgrund der höheren Verflüssigungstemperatur zu erklären.

Diskussion der Ergebnisse

In Bild 6 ist neben der Kälteleistungszahl COP, der Kälteleistung \dot{Q}_0 und der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz

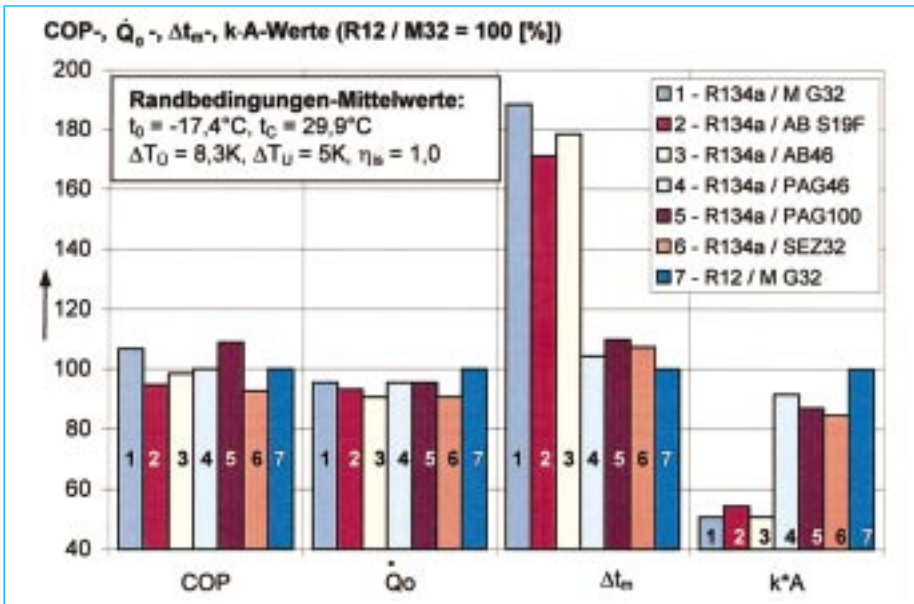


Bild 6 Prozentuale Abweichung der Kälteleistungszahlen COP, der Kälteleistung \dot{Q}_0 , der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz Δt_m und $k \cdot A$ -Werte im Verdampfer für alle untersuchten Kältemittel/Öl-Gemische im Vergleich zu R 12/M G32

Δt_m der $k \cdot A$ -Wert der untersuchten Kältemittel/Öl-Gemische im Verdampfer dargestellt.

Aus je einer Meßreihe aus den Abkühlkurven bei gleicher Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur und Überhitzung wurden für isentrope Verdichtung die Kälteleistungszahl COP, die Kälteleistung \dot{Q}_0 , die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz Δt_m im Verdampfer und der $k \cdot A$ -Wert berechnet. Dabei wurden die berechneten Werte von R 12/M G32 zu 100 % gesetzt.

Aus Bild 6 ergibt sich, daß das Kältemittel/Öl-Gemisch R 12/M G32 den größten $k \cdot A$ -Wert hat. Die Kältemittel/Öl-Gemische R 134a mit PAG46, PAG100 und SEZ32 haben ähnliche COP- und \dot{Q}_0 -Werte, jedoch geringere $k \cdot A$ -Werte als R 12/M G32. Auch die Kältemittel/Öl-Gemische R 134a mit AB S19F, AB46 und M G32 haben ähnliche COP- und \dot{Q}_0 -Werte, die $k \cdot A$ -Werte sind geringer, die logarithmischen Temperaturdifferenzen größer, als bei den anderen Kältemittel/Öl-Gemischen.

Strömungsformen der Kältemittel/Öl-Gemische

Die Kältemittel/Öl-Gemische zeigten unterschiedliche Strömungsformen in den saugseitig eingebauten Glasrohren. Diese

Strömungsformen sind von der Lage der Glasrohre (vertikal, horizontal), von der Mischbarkeit bzw. Betriebsviskosität, von der Verdampfungstemperatur und von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig.

Mit Hilfe von Fotoaufnahmen wurden die unterschiedlichen Strömungsformen nach dem VDI-Wärmeatlas [13] bewertet und zugeordnet.

Danach ließen sich die charakteristischen Strömungsformen bei den Versuchsbedingungen im horizontalen Glasrohr der Wellen-, Schwall- und Ringströmung und im aufwärts durchströmten ver-

tikalen Glasrohr der Kolben-, Blasen- und Schaumströmung zuordnen.

Im abwärts durchströmten vertikalen Glasrohr trat im Gegensatz zum horizontalen Rohr bei allen Kältemittel/Öl-Gemischen unabhängig von den Betriebsbedingungen Ringströmung auf.

Im horizontalen Glasrohr konnte der Einfluß der Betriebsparameter am einfachsten untersucht werden. Auf Fotos wurden die Benetzungshöhen der Strömungen im Glasrohr gemessen und mit den Abmessungen des realen Glasrohres ins Verhältnis gesetzt. Aus diesem Verhältnis läßt sich dann die reale Benetzungshöhe ermitteln, die im Bild 7 in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit und Verdampfungstemperatur t_0 für unterschiedliche Kältemittel/Öl-Gemische dargestellt ist.

Wie erwartet, nimmt die über den Massendurchfluß ermittelte Strömungsgeschwindigkeit unabhängig vom Kältemittel/Öl-Gemisch bei den gegebenen Versuchsbedingungen mit steigender Verdampfungstemperatur t_0 zu.

Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit wächst auch die Benetzungshöhe im Rohr und es ergeben sich die charakteristischen Strömungsformen, die im Bild 7 mit eingezeichnet wurden.

Schwallströmung konnte bei R 134a/AB46 bei Verdampfungstemperaturen t_0 von -5°C und Verflüssigungstemperaturen t_c von 40°C sowie bei $t_0 = 5^\circ\text{C}$ und $t_c = 50^\circ\text{C}$ beobachtet werden.

Wellenströmung zeigten die Kältemittel/Öl-Gemische R 134a/PAG46, R 134a/SEZ32 und R 134a/AB S19F. Die geringe Abweichung der Benetzungshöhen im

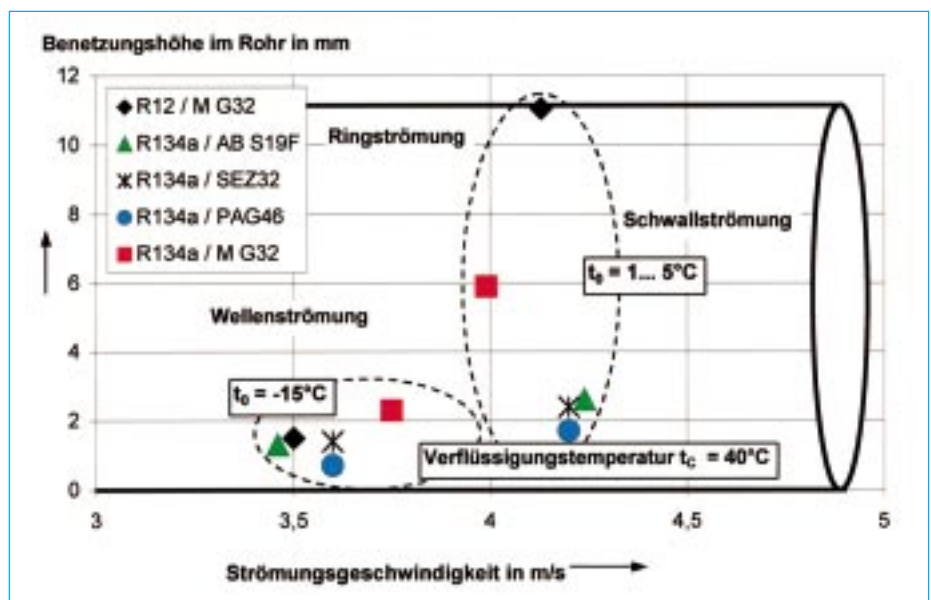


Bild 7 Darstellung der Benetzungshöhe in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit und Verdampfungstemperatur t_0 für verschiedene Kältemittel/Öl-Gemische im horizontalen Glasrohr

Rohr bei gleichen Versuchsbedingungen zeigt, daß ähnliche Betriebsviskositäten vorlagen. Ringströmung lag bei R 12/M G32 und einer Verdampfungstemperatur von 5 °C vor.

Wellenströmung konnte bei R 134a/M G32 und einer Verdampfungstemperatur von 3 °C beobachtet werden. Die Teilbenetzung bei horizontaler Strömung wirkt sich aufgrund der Schichtung des Kältemittel/Öl-Gemisches auf den Wärmeübergangskoeffizienten negativ aus [12].

Obwohl bei der Auf- und Abwärtsströmung unterschiedliche Strömungsformen im Glasrohr auftraten, haben diese bei einem reinen Kältemittel und analog dazu auch bei einem Kältemittel/Öl-Gemisch keinen Einfluß auf den Wärmeübergang, da die Glasrohre vollständig benetzt sind [13].

Die oben beschriebenen Strömungsvorgänge sind sehr komplex und stark von der Öllöslichkeit im Kältemittel, der dadurch entstehenden Betriebsviskosität, der Strömungsgeschwindigkeit, vom Druck und Temperatur abhängig.

Betriebsverhalten bei verschiedenen Kältemittel/Öl-Kombinationen

Die Ölstände, die an der Ölstandsanzeige während der Versuche kontrolliert wurden, veränderten sich bei allen Kältemittel/Öl-Gemischen, außer bei R 134a/M G32, nur geringfügig. Nach dem Anlaufen der Anlage wurde ein leichtes Absinken des Ölstandes im Verdichter beobachtet. Das danach erreichte Ölniveau blieb beim weiteren Versuchsverlauf konstant und war für die Verdichterschmierung ausreichend.

Nach dem Retrofit der R 12-Anlage auf R 134a und dem teillöslichen Alkylbenzolöl waren Ölablagerungen im Kältemittelsammler aus Glas zu beobachten, die durch den Restmineralölgehalt in der Anlage nach der Umstellung hervorgerufen wurden. Eine Analyse des Alkylbenzols ergab einem Restmineralölgehalt von 13 %.

Die Ölablagerungen blieben während der Versuche konstant. Es konnten keine Beeinträchtigungen des Anlagenverhaltens nachgewiesen werden.

Wie aus Bild 6 ersichtlich sind die Leistungszahlen des Kältemittel/Öl-Gemisches R 134a/M G32 für den berechneten idealen Kältemittelkreislauf im Verhältnis

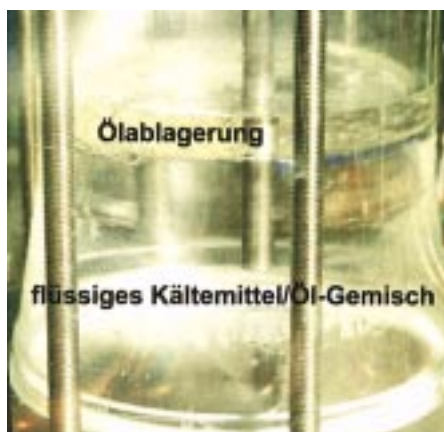


Bild 8 Ölablagerungen im Kältemittelsammler

zu den anderen Kältemittel/Öl-Gemischen höher. Während des Anlagenbetriebes wurden Ölablagerungen, wie im Bild 8 gezeigt, im Kältemittelsammler beobachtet, die bei längerem Anlagenbetrieb kontinuierlich anwuchsen. Durch die anwachsenden Ölablagerungen wurde das Kältemaschinenöl aus dem Verdichter verlagert. Bei längerem Anlagenbetrieb könnte der Verdichter beschädigt werden. Dieses Beispiel zeigt auch, daß Teillöslichkeit für Kältemaschinenöle beim Retrofit bestehender Anlagen notwendig ist, um die o. a. Ölablagerungen zu vermeiden.

Zusammenfassung

Die Ölrückführung war bei Verdampfungstemperaturen von 5 °C bis –18 °C und Verflüssigungstemperaturen von 30 °C bis 40 °C für alle Kältemittel/Öl-Gemische ausreichend.

Auch mit Mineralöl und teillöslichem Alkylbenzolöl mit R 134a ergab sich eine ausreichende Ölrückführung. Allerdings wird bei Behältern und Sammlern – je nach Ausführung – bei Mineralöl mit R 134a eine Verlagerung stattfinden.

Bei den Untersuchungen der unterschiedlichen Kältemittel/Öl-Gemische wurden durch die Aufnahme von Abkühlkurven Leistungsverluste festgestellt, die am Beispiel für je eine Meßreihe berechnet wurden.

Der Einfluß der Mischbarkeit des Kältemaschinenöles auf das Anlagenverhalten wurde mit einem Ölabscheider in der Heißgasleitung untersucht. Vollständig mischbare Öle wie POE- und PAG-Öl in R 134a und Mineralöl G32 in R 12 zeigten einen besseren Wärmeübergang und verursachten dadurch einen geringeren Leistungsabfall der Anlage als teilweise mischbare Öle wie Alkylbenzolöl S19F und AB46 mit R 134a.

Der Leistungsabfall durch teilweise mischbare Öle kann durch einen Ölab-

scheider verringert werden. Dabei ist zu beachten, daß ein Ölabscheider nur den Ölauswurf des Verdichters verringert, aber nicht vollständig beseitigt.

Die Viskosität verschiedener Kältemaschinenöle hatte einen kaum nachweisbaren Einfluß auf das Leistungsverhalten der Anlage.

Grenzgeschwindigkeiten für eine unzureichende Ölrückführung konnten mit der Versuchseinrichtung nicht ermittelt werden. Bei Strömungsgeschwindigkeiten von 3,4 m/s bis zu 4,5 m/s in der Saugleitung war eine ausreichende Ölrückführung gewährleistet. Diese Strömungsgeschwindigkeiten liegen unter den für die Praxis empfohlenen wirtschaftlich günstigen Strömungsgeschwindigkeiten [14].

Restbestandteile des Mineralöls sind mit dem teillöslichen Alkylbenzolöl verträglich und hatten keinen nachweisbaren Einfluß auf die Ölrückführung.

Für die freundliche Unterstützung der Firma DEA/Fuchs Mineralöl GmbH, der Solvay-Betriebswerkstatt und der Norddeutschen Kälte-Fachschule (NKF) in Springe, bei Herrn N. Ludwig und Herrn K. Beermann, sei zum Abschluß dieses Aufsatzes gedankt. □

Literatur

- [1] FCKW-Halon-Verbots-Verordnung, Bundesgesetzblatt Teil 1, Bonn, 16. 05. 1991
- [2] König, H.: Von Montreal nach Kyoto, KK Die Kälte und Klimatechnik, 51. Jahrgang, Gentner Verlag, Stuttgart, 1998
- [3] Synek, V., Fahl, J.: Ein Retrofit-Verfahren für Klima- und Kälteanlagenbauer, DEA Mineralöl AG, Produktentwicklung und Anwendungstechnik
- [4] DAIKIN Industries, LTD.: New Refrigerant Appl. Project „Accelerated Evaluation of Capillary Clogging in HFC Air Conditioners“, Perdue Conference, 1998
- [5] Solvay-Praxair-Seminar, Gdansk-Jelitkowo, Polen, 02. 04. 98
- [6] Sundaesan, G. et al.: A comparison of the Oil Return Characteristics of R 22/Mineral Oil its HFC Alternatives (R-407C + R-410A) with Mineral Oil and POE in a Residential Heat Pump
- [7] Sunami et al.: Compressor durability test and system tests with AB and HFCs, Nippon Oil Company Ltd., Japan, 1998
- [8] Sumida et al.: Alkylbenzenes for split air conditioner with R-410A, Part 2, Oil Return Characteristics, Mitsubishi Electric Corporation, Japan, 1998
- [9] Biancardi et al.: Study of Lubricant Circulation in HVAC Systems, Volume 1, Final Technical Report, Project Number 665-53100, East Hartford, CT 06108, USA, October 1996
- [10] Henrici, R.: Mischungsverhalten von Esterölen mit teillöslichen Kältemitteln und Gemischen, Ki Luft- und Kältetechnik, C. F. Müller Verlag, Hüthig GmbH, Heidelberg, 08/1996
- [11] Fa. DEA/Fuchs Mineralölwerke GmbH, Technische Information, Arbeitsblätter für Kältetechniker, Mannheim, 1998
- [12] Groß, U.: Einfluß von Öl auf die Zwangskonvektion im Verdampferrohr, DKV-Tagungsbericht, 20. Jahrgang, Bd II/1, Nürnberg, 1993, S. 293–306
- [13] VDI-Wärmeatlas, Wärmeübertragung beim Sieden gesättigter Flüssigkeiten, Abschnitt Hb11, 7. Auflage, 1994
- [14] Breidenbach: Der Kälteanlagenbauer, Band 2, 3. Auflage, C. F. Müller, Karlsruhe, 1990, S. 571