

Praktische Bestimmung

Ölrückführung bei Verwendung verschiedener Öl/Kältemittel-Gemische*

P. Fauvarque, A. Giraud, S. Macaudiere, Levallois (F)

zum Autor

Pierre Fauvarque
Entwicklungs-
ingenieur Forane
Kältemittel,
Elf Atochem,
Centre d'Appli-
cation de
Levallois



Dem Stand der Kältetechnik folgend muß eine gute Ölrückführung zum Verdichter zur Aufrechterhaltung der Schmierölversorgung und zur Vermeidung von Ölablagerungen in den Wärmeaustauschern, die zu Minderungen der Wärmeübergangskoeffizienten führen können, gewährleistet sein.

Probleme bei der Ölrückführung treten in der Regel bei den tiefsten Temperaturen im Kältemittelkreislauf, also im Verdampfer, auf. Unterschiedliche Faktoren wie Ölviskosität, Kältemittellöslichkeit im Öl und Kältemittelvolumenstrom spielen dabei abhängig von der Mischbarkeit des Öl/Kältemittel-Gemisches [1] eine gewisse Rolle.

* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte- und Klima-Tagung 1997 des DKV vom 19.-21. 11. 1997 in Hamburg.

- Wenn das Kältemittel und das Öl „vollständig unmischbar“ sind, bestehen selbst bei geringeren Ölanteilen im Kreislauf zwei flüssige Phasen im Verdampfer. In diesem Fall ist eine Ölrückführung in den Verdichter nur durch eine niedrigere Viskosität des Öls und eine höhere Gasgeschwindigkeit des Kältemittels zu erreichen.

- Wenn Kältemittel und Öl nur „teilweise mischbar“ sind, existieren je nach der Verdampfungstemperatur und dem Ölanteil evtl. zwei getrennte flüssige Phasen im Verdampfer. Diese flüssigen Phasen können als „ölrreiche“ und „kältemittelreiche“ Phase bezeichnet werden. Tatsächlich erhöht sich der Anteil des Kältemittels im Öl durch die teilweise Mischbarkeit der beiden Stoffe. Diese Mischbarkeit führt zu niedrigeren Ölviskositäten und zu einer besseren Ölrückführung.

- Wenn Kältemittel und Öl „vollständig mischbar“ sind, ist eine gute Ölrückführung in allen Anlagen gewährleistet.

Um die Ölrückführung beurteilen zu können, wurde eine bestimmte Menge Öl in eine temperierte Rohrschlange, die einen Verdampfer simuliert, eingefüllt. Auf diese Art wurde der Realität Rechnung getragen, da in der Anlaufphase des Verdichters oft

eine Ölemulsion (Kältemittel/Öl) in den Kreislauf gefördert wird [2].

Die Versuchseinrichtung kann natürlich nicht alle praktischen Probleme der Ölrückführung der verschiedenen Anlagenkonzeptionen wiedergeben. Sie erlaubt aber einen Vergleich zwischen Öl/Kältemittel-Gemischen mit verschiedenem Mischungs- und Lösungsverhalten und führt somit zu einem besseren Verständnis des Ölrückführungsprozesses.

Beschreibung der experimentellen Untersuchungen

Mischungsverhalten

Für die Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens bei 20 °C wurde eine Testzelle mit einem Volumen von 0,15 dm³ mit ca. 0,135 l Öl/Kältemittel-Gemisch mit unterschiedlichen Kältemittelanteilen (0–100 %) befüllt. Die Mischbarkeit des Kältemittels im Öl wird durch die Druckabnahme in der Zelle im Vergleich zum Kältemitteldampfdruck bei 20 °C bestimmt.

Die Ergebnisse werden durch ein zweites Bestimmungsverfahren abgestützt: Am Zellenboden befindet sich die kältemittel-

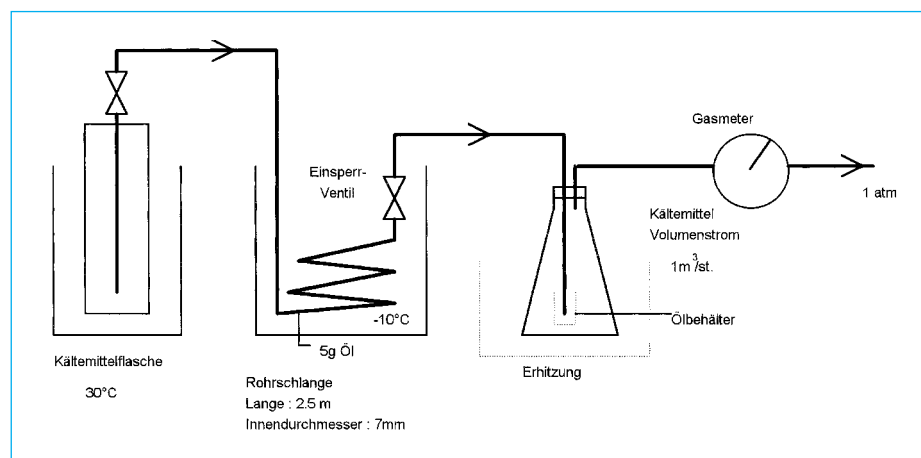


Abb. 1 Versuchseinrichtung zur Ölrückführung

reiche Phase (Öl und Kältemittel unmischbar) bzw. die gemischte Öl/Kältemittel-Phase (Öl und Kältemittel mischbar). Ein kleiner Teil der flüssigen Phase wird abgenommen und analysiert (Bestimmung der Öl- und Kältemittelanteile), um das Mischungsverhalten bei 20 °C zu untersuchen.

Ölrückführung

Die Versuchseinrichtung ist in Abb. 1 dargestellt. Die wesentlichen Komponenten der Anlage sind:

- eine Kältemittelflasche bei 30 °C,
- eine temperierte Rohrschlange (Länge 2,5 m, Windungen 4, Rohrrinnendurchmesser 7 mm), gefüllt mit 5 g Öl,
- in beheizbares Auffanggefäß, das die Verdampfung von anfallendem Kältemittel erlaubt,
- ein Entspannungsventil, das entweder vor oder nach der Rohrschlange eingesetzt werden kann, um die Ölrückführung je nach Kältemittelzustand (flüssig oder gasförmig) zu untersuchen,
- eine Einrichtung zur Volumenstrommessung (Gasuhr). Der Volumenstrom wurde auf einen konstanten Wert von 1 m³/h eingeregelt.

Beschreibung der untersuchten Öl/Kältemittel-Gemische

In Tabelle 1 sind die Viskositäten der Öl sowie das Mischungsverhalten der untersuchten Öl/Kältemittel-Gemische dargestellt. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf R 22/MO (Mineralöle) sowie R 407C/synthetische Ölgemische.

Mineralöle auf Basis von Naphten (MO1) bzw. Paraffin (MO2) werden mit R 22 in Klima- und Kälteanlagen betrieben. In derselben Weise werden verschiedene Polyolesteröle bzw. andere synthetische Öltypen mit R 407C eingesetzt [3].

Die drei Polyolesteröle POE1, POE2 und POE3 bestehen aus unterschiedlichen, hauptsächlich linear aufgebauten Estermolekülen, die zu verschiedenen Viskositäten und Mischungsverhalten führen. Das Mischungsverhalten ist in Tabelle 1 durch die Phasentrennungstemperaturen bei 2- und 5%igen Ölanteilen im Kältemittel dargestellt. Unterhalb dieser Temperaturen trennt sich das Gemisch an der unteren Mischungsgrenze in zwei verschiedene flüssige Phasen.

Die Ölanteile im Kältemittelkreislauf und die Verdampfungstemperaturen variieren in der Praxis in Kälte- und Klima-

Tabelle 1 Mischungsverhalten der untersuchten Öle

	Einheit	POE1	POE2	POE3	AB	MO1	MO2
Öltyp	-	Polyolester VG32	Polyolester VG22	Polyolester VG32	Alkylbenzol VG15	Basis Naphten	Basis Paraffin
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	34,1	21,3	30,5	16,3	32	68
bei 0 °C	mm ² /s	-	144,1	263,1	-	-	-
Mischungsverhalten R 407C / 2 % Öl	°C	-	- 23	- 21	Mischungslücke		
R 407C / 5 % Öl	°C	- 43	+ 15	+ 17			
Mischungsverhalten R 22 / 2 % Öl	°C	< - 70			- 40	- 8	
R 22 / 5 % Öl	°C	< - 70			- 30	+ 9	

anlagen. In den meisten Fällen liegt der Ölanteil bei 1-3 % und die Temperaturen bei -10/+10 °C.

Daraus können diese Gemische bei normalen Anwendungsbedingungen eingeteilt werden in:

- „vollständig unmischbar“: R 407C/MO1, R 407C/MO2, R 407C/AB
- „teilweise mischbar“: R 22/MO2, R 407C/POE2, R 407C/POE3
- „vollständig mischbar“: R 407C/POE1, R 22/MO1.

Da die „teilweise mischbaren“ Gemische durchaus ein optimales Schmierverhalten erreichen können, ist es ratsam, die Ölrückführung mit diesen Gemischen zu untersuchen.

Ergebnisse

Mischungsverhalten

Abbildung 2 stellt das Druckniveau in der Testzelle relativ zu dem Kältemitteldampfdruck (R 22 oder R 407C) in Abhängigkeit des prozentualen Massenverhältnisses von Öl zu Kältemittel dar. POE2/R 407C und POE3/R 407C haben das gleiche Mischungsvermögen, das besser als bei R 407C/MO1 oder AB ist, aber auch größer als bei R 22/MO2.

Das Mischungsverhalten dieser zwei „teilweise mischbaren“ Gemische nähert sich dem der „vollständig mischbaren“ Gemische an.

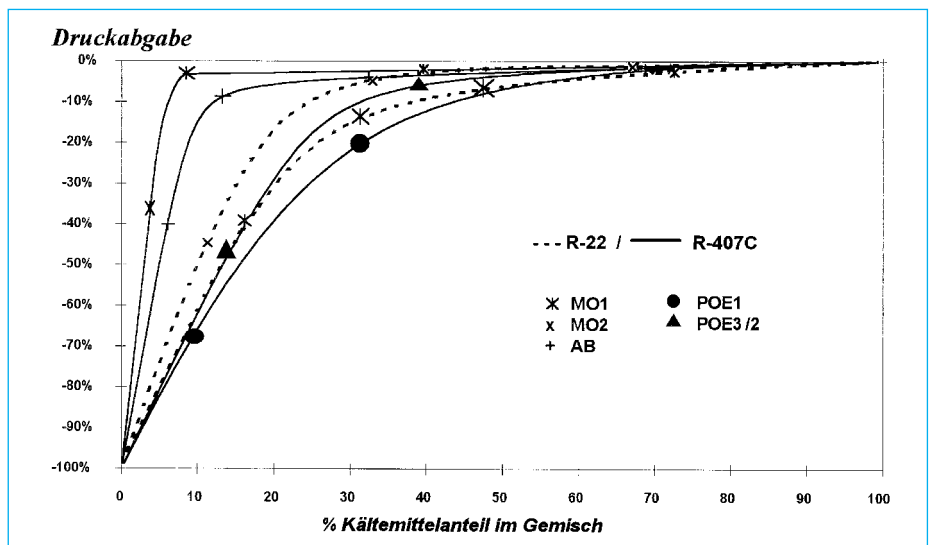


Abb. 2 Druckabnahme im Vergleich zum Dampfdruck der Kältemittel

Tabelle 2
Mischbarkeit
bei 20 °C

Öltyp	Kältemittel	Verdampfungsdruck	Löslichkeit % Kältemittelgewicht im Öl
MO1	R-22	6	19
MO2	R-22	6	14
AB	R-407C	6	6
POE1	R-407C	6	19
PO2	R-407C	6	16
AB	R-404A	7,5	7
POE1	R-404A	7,5	22
PO2	R-404A	7,5	17
AB	R-410A	9,5	4
POE1	R-410A	9,5	23
PO2	R-410A	9,5	17

● Gute Ölrückführung:
100 %ige Ölrückführung nach 5 min wird mit R 22/MO1 und R 407C/POE1 erreicht.

Viskositätseinfluß

Der Vergleich zwischen den POE1 (VG32), POE2 (VG22), POE3 (VG32) – R 407C-Gemischen (Abb. 4) erlaubt, den Viskositätseinfluß vom Mischungs- und Lösungsverhalten zu unterscheiden. Die Verbesserung der Ölrückführung mit POE2 im Vergleich zu POE3 resultiert nur aus der niedrigeren Viskosität des Öls bzw. der ölreichen Phase. In der Tabelle 3 sind Her-

Die aus diesen Kurven extrapolierten Werte zur Mischbarkeit sind in Tabelle 2 dargestellt. POE1 und POE2 sind auch mit den H-FKW Gemischen R 404A und R 410A untersucht worden. Diese Daten beziehen sich auf Verdampfungsdrücke mit den verschiedenen Kältemitteln bei Klimabedingungen.

Der Einfluß der Dampfphase (ca. 0,3 % der gesamten Öl/Kältemittel-Masse) bleibt unberücksichtigt.

Ölrückführung

Die prozentuale Ölrückführung nach 5, 10 und 15 Minuten ist in Abbildung 3 dargestellt. Nach diesen Daten sowie nach der Praxiserfahrung bei einigen der Öl/Kältemittel-Gemische, besonders R 22/MO2, wird vorgeschlagen, die experimentellen Ergebnisse in drei Gruppen zu teilen:

● Unwesentliche Ölrückführung:
Mit unmischbaren Gemischen wie R 407C/MO und R 407C/AB ist die Ölrückführung niedriger als 15% nach 15 min. Die Ölrückführung ist jedoch besser mit AB als mit MO, was gleichzeitig aus der niedrigeren Viskosität und geringen Vorteilen beim Mischungsverhalten folgt.

● Ausreichende Ölrückführung:
50–70 %ige Ölrückführung ist nach 5 min mit R 22/MO2, R 407C/POE2, R 404A/POE2 und R 410A/POE2 zu beobachten. Eine viel längere Zeit wird aber für eine 100 %ige Ölrückführung benötigt. Ein solches Verhalten gilt für „teilweise mischbare“ Gemische, die unter den Testbedingungen (Öl bei -10 °C) Mischungslücken zeigen. Es muß darauf hingewiesen werden, daß R 22/MO2 in der Praxis keine Probleme mit der Ölrückführung in Klimaanlage aufweist.

Viskosität bei 0 °C (ASTM D. 445)	POE2 (VG 22)	POE3 (VG 32)
Reines Öl (mm ² /s)	144	263
Mit R 407C gesättigtes Öl (mm ² /s)	55,4	88,4

Tabelle 3
Viskosität von
POE2 (VG 22) und
POE3 (VG32)

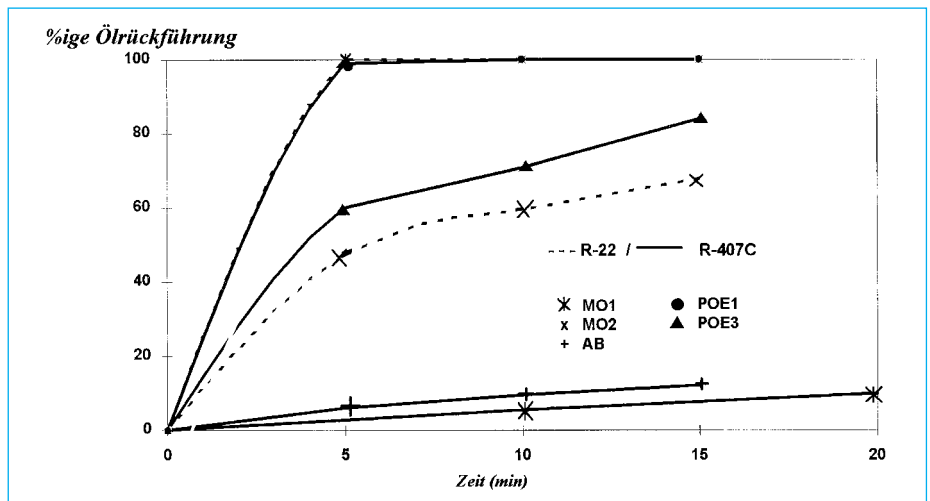


Abb. 3 Prozentuale Ölrückführung nach 5 bis 15 min

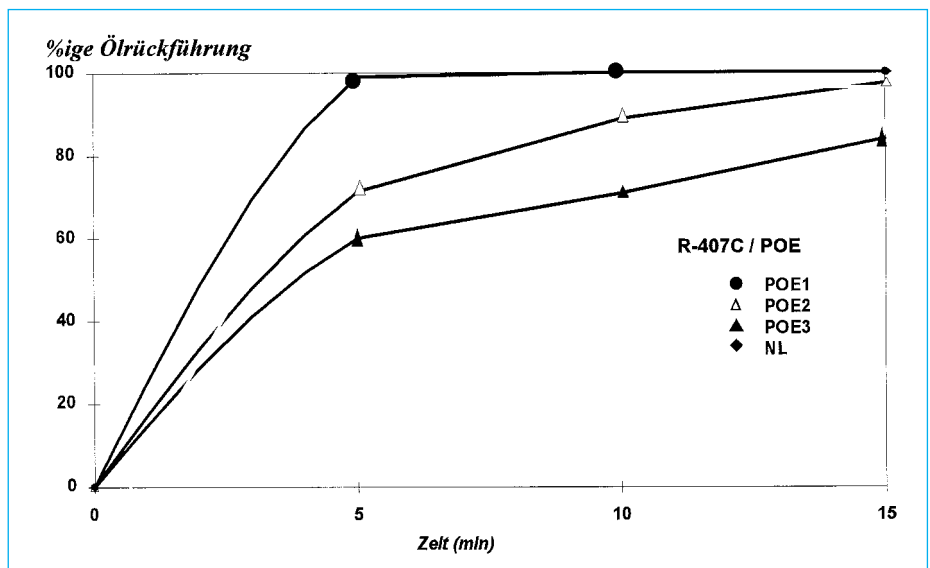


Abb. 4 Viskositätseinfluß auf die Ölrückführung

stellerangaben zur Viskosität bei 0 °C ohne und mit gelöstem R 407C angegeben:

Einfluß des Volumenstroms

Eine Volumenstromabweichung wurde noch nicht systematisch durchgeführt. Bei unterschiedlichen Gemischen wurde festgestellt, daß eine 20 %ige Erhöhung des Volumenstroms (von 1 m³/h bis 1,2 m³/h) zu einer ca. 5 %igen Erhöhung der Ölrückführung führt.

Eine Untersuchung der Ölrückführung mit gasförmigem Kältemittel ist mit der Versuchseinrichtung auch möglich, wobei ein größerer Einfluß des Gasvolumenstroms zu erwarten ist.

Prinzipiell ist es realisierbar, die Gasgeschwindigkeit durch eine Veränderung des Volumenstroms bzw. Innendurchmessers der Schlange stark zu variieren. Dies könnte im Hinblick auf eine ausreichende Ölrückführung in der Anlage zur Dimensionierung der Rohrleitungen angewandt werden.

Schlußfolgerungen

Öl/Kältemittel-Systeme mit verschiedenen Viskositäts-, Mischungs- und Lösungsverhalten können mit der vorgestellten Prüfeinrichtung zur Ölrückführung untersucht werden.

Neue Öl/Kältemittel-Systeme mit einer relativ großen Mischungslücke, die gute Schmiereigenschaften oder andere Vorteile aufweisen, können evtl. durch diese Methode mit R 22/MO2 oder anderen bekannten Gemischen verglichen werden.

Die Versuchseinrichtung erlaubt, ein unmittelbares Verhältnis zwischen dem Mischungsverhalten und der Ölrückführung zu bestimmen sowie den Einfluß anderer Parameter wie der Viskosität und des Kältemittelvolumenstroms zu bemessen.

Nach weiteren experimentellen Untersuchungen ist die Erstellung eines theoretischen Modells zur Abschätzung der Ölrückführung mit der Berücksichtigung der Zeit und den genannten Parametern denkbar. □

Literatur

- [1] Henrici, R.: Mischungsverhalten von Esterölen mit teilfluorierten Kältemitteln und Gemischen. KI Luft und Kältetechnik, 8/1996, S. 227-342.
- [2] Sundaresan, S.G.; Radermacher, R.: Oil Return Characteristics of Refrigerant Oils in Split Heat Pump Systems. ASHRAE Journal, 8/1996, S. 57.
- [3] Spauschus, H.O.: Lubricants for Refrigeration Compressors: A 1996 Status Report. IIR Bulletin 97.1, S. 3-11.