

Kältemaschinenöle für natürliche Kältemittel

Christian Puhl und Wolfgang Bock, Mannheim

Natürliche Kältemittel ohne ozon-schädigende Wirkung und mit einem geringen Beitrag zum Treibhauseffekt gewinnen zunehmend an Bedeutung. Für diese Kältemittel steht bereits heute eine Reihe von Kältemaschinenölen zur Verfügung, die nachfolgend vorgestellt werden.

Nach Verbannung der chlorhaltigen, ozonabbauenden FCKW/HFCKW-Kältemittel im Montreal-Protokoll von 1987 stehen seit Kyoto die fluorierten Kältemittel wie R134a, R404A etc. wegen ihres Beitrags zum Treibhauseffekt in der kritischen Diskussion. Der Einsatz von alternativen Kältemitteln wie Ammoniak (NH_3 , R717), Isobutan (R600a) und Kohlendioxid (CO_2 , R744), gewinnt an Bedeutung. Darüber hinaus stehen der Kälteindustrie weitere Kohlenwasserstoff-Kältemittel wie z.B. Propan (R290), Propen (R1270) und Ammoniak/Dimethylether (R723) zur Verfügung. Diese Kältemittel decken einen breiten Anwendungsbereich der Kältetechnik ab.

Kältemaschinenöl und Kältemittel

Die Hauptaufgabe des Kältemaschinenöles ist die Verdichterschmierung. Das Öl muss ebenfalls die im Schmierpalt entstehende

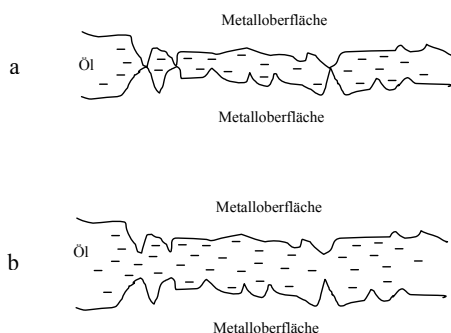


Bild 1 a) Mischreibung
b) Flüssigkeitsreibung (Hydrodynamik)

Wärme abtransportieren und den Arbeitsraum des Kompressors abdichten. Das Kältemaschinenöl steht dabei im Kontakt zum Kältemittel, wodurch es zu bestimmten Wechselwirkungen mit dem Kältemittel kommen kann. Grundvoraussetzung ist die chemische Verträglichkeit von Kältemaschinenöl und Kältemittel.

Darüber hinaus müssen noch andere Kriterien berücksichtigt werden, damit der geschlossene Kältekreislauf einwandfrei funktioniert. Insbesondere die Löslichkeit des Kältemittels im Öl (Viskositätserniedrigung durch gelöstes Kältemittel) und die Mischbarkeit von Öl und Kältemittel im Kältekreislauf (Ölrückführung) sind besonders zu berücksichtigen (bei mischbaren Öl-Kältemittel-Systemen). Bei nicht mischbaren Öl-Kältemittel-Systemen ist der Kältefließfähigkeit des eingesetzten Schmierstoffes besondere Beachtung zu schenken.

Viskosität

Die Anforderungen an die Viskosität des Schmierstoffes als eine der Hauptkenngrößen werden durch die Verdichterbauart und die Betriebsbedingungen bestimmt. Eine bestimmte Betriebsviskosität, abhängig von Druck, Temperatur und Kältemittelnlösung, und damit eine Mindestschmierfilmdicke sollte nicht unterschritten werden. Diese Mindestviskosität ist erforderlich, um einen tragfähigen Schmierfilm auszubilden. Ist dies nicht der Fall, können die in Relativbewegung zueinander stehenden Metalloberflächen im Verdichter in direkten Kontakt geraten und es entsteht Verschleiß.

Das Tribo-System Öl-Kältemittel-Gemisch/Maschinenelement sollte im Bereich der Flüssigkeitsreibung (Hydrodynamik, kein Kontakt der Oberflächen) betrieben werden. Es sollte der Mischreibungsbereich (Metalloberflächenrauigkeiten berühren sich) vermieden werden, da es sonst zum Verschleiß der zu schmierenden Komponente kommt (Bild 1). In der Regel liegt der Grenzwert für eine notwendige

zu den Autoren

**Dipl.-Ing.
Christian Puhl,**
Gruppenleiter
Entwicklung & Anwendungstechnik
Kältemaschinenöle,
Fuchs Europe
Schmierstoffe,
Mannheim



**Dipl.-Ing.
Wolfgang Bock,**
Nationaler Produktmanager Industrieöle + Internationaler Produktmanager Industrieöle,
Fuchs Europe
Schmierstoffe,
Mannheim



Betriebsviskosität in der Mehrzahl der Anwendungen in Kältemittelverdichtern zwischen 8 bis 10 mm^2/s . Insbesondere durch Einlösen von Kältemittel in das Öl kann dieser Wert jedoch sehr schnell unterschritten werden.

Verschleißschutz- (Antiwear-)Additive

Durch die Verwendung von mit dem Basisöl synergistisch wirkenden Verschleißschutz-(Antiwear-) AW- bzw. Extreme Pressure- (EP-)Additiven in Kältemaschinenölen kann dem Verschleiß bei kritischen Betriebsbedingungen entgegengewirkt werden, d.h. die Komponenten/Ma-

Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 18. November 2005 in Würzburg.

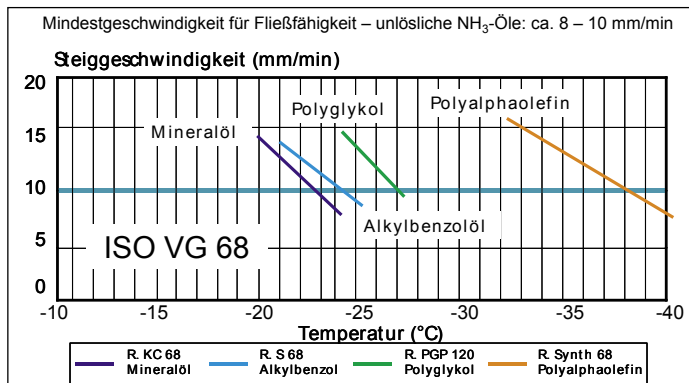


Bild 2 U-Rohr-Fließvermögen nach DIN 51568 von RENISO-Kältemaschinenölen

Typ	RENISO KM 32 Mineralöl	RENISO KC 68 Mineralöl	RENISO SYNTH 68 PAO - synth.
kinematische Viskosität bei 40°C [mm²/s]	32	68	68
kinematische Viskosität bei 100°C [mm²/s]	4,8	7,2	10,5
Viskositätsindex VI [-]	47	47	142
Pourpoint [°C]	-45	-39	-57
U-Rohrfließvermögen [°C]	-27	-23	-38

Bild 3 Fließ-eigenschaften unterschiedlicher Kältemaschinenöle

schinenelemente werden durch die Ausbildung von Verschleißschutzschichten bei kritischen Betriebsbedingungen im Mischreibungsgebiet vor Materialabtrag geschützt. In der Regel werden im Bereich der Kältemaschinenöle phosphorhaltige Verschleißschutzadditive eingesetzt.

Die Wirkungsweise von phosphorbasierenden Antiwear-Additiven, wie sie in verschiedenen RENISO-Kältemaschinenölen enthalten sind, ist hinlänglich untersucht worden. Im Wesentlichen rührt die Effektivität solcher Zusätze daher, dass sie auf die Metalloberfläche aufziehen und dort eine dünne, polyphosphathaltige Reaktionsschicht bilden [1,2]. Kommt es im Schmierpalt zu Mischreibungszuständen, z. B. beim Start-/Stop-Betrieb des Verdichters oder bei Lastspitzen, besteht so kein

direkter Kontakt der Metalloberflächen mehr. Lediglich die überziehenden Reaktionsschichten werden gegeneinander abgerieben. Die Metalloberflächen bleiben geschützt. Solange die Antiwear-Additivkonzentration des Schmieröles ausreichend hoch ist – sie nimmt bei starker mechanischer Belastung des Öles, entsprechend häufigen Mischreibungszuständen im Schmierpalt, allmählich ab – werden diese Reaktionsschichten ständig neu nachgebildet [3]. Kritische Mischreibungsbedingungen sind: geringe Gleitgeschwindigkeit (keine hydrodynamische Schmierung), Endlagen der Kolbenbewegung, pulsierende Last, flüssiges Kältemittel im Schmierpalt, hohe Temperaturen, Stoßbeanspruchungen, etc.

Mischbarkeit

Prinzipiell wird empfohlen, ein lösliches Stoffpaar Kältemaschinenöl/Kältemittel im Kältemittelverdichter einzusetzen, um über die Löslichkeit des Kältemittels im Öl (bei entsprechend guter Mischbarkeit der flüssigen Anteile Öl und Kältemittel) die Ölrückführung des in den Kältekreislauf verschleppten Kältemaschinenöles zum Verdichter zu gewährleisten. Um entsprechende Aussagen zur Löslichkeit und Mischbarkeit von Kältemaschinenöl-Kältemittel-Gemischen treffen zu können, stellt man den Einfluss von gelöstem Kältemittel im Kältemaschinenöl im so genannten Daniel Plot bzw. in der Mischungslücke in Diagrammform dar.

Anhand des Daniel Plots kann abgeschätzt werden, inwieweit die Viskosität bei entsprechendem Druck und entsprechender Temperatur im Verdichter durch ein gelöstes Kältemittel abfällt. Die Mischungslücke gibt Informationen über das Verhalten des in den Kreislauf eingetragenen Kältemaschinenöles. Der Schmierstoff wird im Kältemittelstrom bis in den Verdampfer transportiert. Bei den hier herrschenden tiefen Temperaturen steigt die Viskosität des Öles an; es verliert an Fließfähigkeit. Trennt sich bei diesen Bedingungen die Öl- von der Kältemittelphase ab, so kann es zu einer Anreicherung des Öles im Verdampfer kommen, d.h. ein Rücktransport zum Verdichter über die Kältemittel-Schleppströmung wird erschwert. Eine zunehmende Verlagerung von Kältemaschinenöl in den Kreislauf kann zur Folge haben, dass der Verdichter nicht ausreichend mit Öl versorgt wird und wegen Mangelschmierung ausfällt. Eine Anreicherung von mit Kältemittel nicht mischbarem Öl durch Aufziehen auf die Wandung in den Wärmeübertragern führt außerdem zu einer Verschlechterung des Wärmeübergangs.

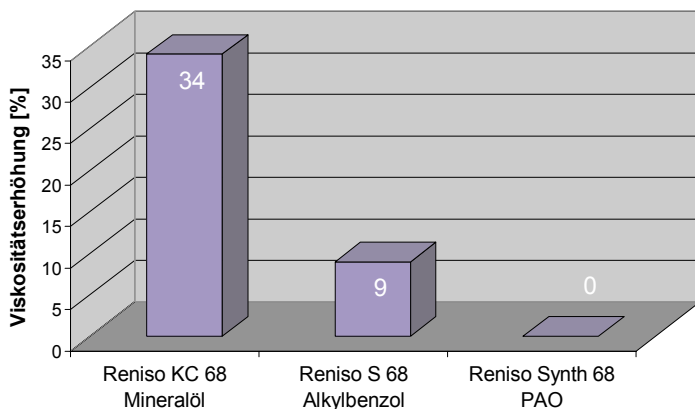


Bild 4 Viskositätserhöhung unterschiedlicher Kältemaschinenöle nach Lagerung zwei Wochen bei 120 °C im Klimaschrank

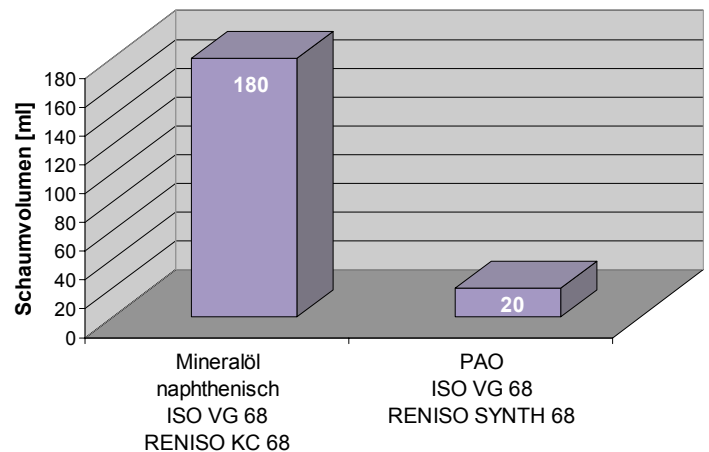


Bild 5 Schaumvolumen unterschiedlicher Kältemaschinenöle nach Einleiten von Ammoniak (110 ml Ammoniak/min über 5 min bei 20 °C)

Kältemaschinenöle, die über einen großen Temperatur- und Konzentrationsbereich mischbar mit dem Kältemittel sind, d.h. eine homogene Phase bilden, sind hinsichtlich des Ölrücktransports von der Anlage zum Verdichter und des geringeren Einflusses auf den Wärmeübergang zu empfehlen.

Öle für Ammoniak-Anwendungen

Konventionelle Kältemaschinenöle auf Basis naphthenischer Grundöle, Alkylbenzole und/oder Polyalphaolefine haben mit dem Kältemittel Ammoniak eine schlechte Löslichkeit und keine Mischbarkeit. Die in Ammoniak-Anwendungen ausgetragenen, in den Kältekreislauf verschleppten Ölmengen müssen also bei den dort herrschenden Verdampfungstemperaturen und Einsatzbedingungen eine gute Kältefließfähigkeit aufweisen, um Anlagenstörungen zu vermeiden. In der Regel werden für Ammoniak-Anwendungen naphthenbasierte Kältemaschinenöle der Viskositätsklassen ISO VG 32, 46 und 68 (kinematische Viskosität in mm²/s bei 40 °C) eingesetzt.

Es kommen ebenfalls Kältemaschinenöle auf Alkylbenzol-(Alkylat-)Basis der ISO VG 68 zum Einsatz. Auch synthetische Öle auf Basis von Polyalphaolefinen finden aufgrund ihrer hervorragenden Kältefließfähigkeiten in Ammoniakkreisläufen verstärkt Verwendung.

Da Ammoniak mit den oben erwähnten Kältemaschinenölen keine Mischbarkeit/Löslichkeit aufweist, muss eine gute Kältefließfähigkeit der Öle bei entsprechenden Verdampfungstemperaturen gewährleistet sein. Vor allem Plattenverdampfer

mit kleinen Leitungsquerschnitten stellen gehobene Ansprüche hinsichtlich der Fließfähigkeit der Öle.

Kältefließeigenschaften

Neben dem Pourpoint, der tiefsten Temperatur, bei der das Öl gerade noch fließfähig ist [4], beschreibt das Fließvermögen im U-Rohr nach DIN 51568 das Kältefließverhalten. Bei dem Test wird die tiefste Temperatur, bei der das Öl noch eine festgelegte Mindestfließgeschwindigkeit aufweist, bestimmt (10 mm/min.) [5].

Die Bilder 2 und 3 zeigen das bei tiefen Temperaturen deutlich bessere Fließvermögen des synthetischen Polyalphaolefins (PAO) RENISO SYNTH 68.

Verglichen mit naphthenischen Mineralölen bietet das synthetische Kältemaschinenöl auf Basis von Polyalphaolefin RENISO SYNTH 68 eine wesentlich bessere Eignung zum Einsatz bei tiefen Verdampfungstemperaturen, besonders beim Einsatz von Plattenwärmeverdampfern. Gleichzeitig gewährleistet RENISO SYNTH 68 auch bei erhöhter Temperatur im Verdichter die Ausbildung eines tragfähigeren Schmierfilms durch ein besseres Viskositäts-Temperatur-Verhalten (einen höheren Viskositätsindex). Je höher der Viskositätsindex (VI), umso geringer ist die Abhängigkeit der Viskosität des Öles von der Temperatur, d.h. RENISO SYNTH 68 weist im Vergleich zu Mineralölen eine erheblich höhere Viskosität bei hohen Temperaturen auf.

In der Regel haben niedrigviskosere Kältemaschinenöle bessere Kältefließfähigkeiten (niedrigere Pourpoints).

Thermische Stabilität

Wegen der hohen Druckgastemperaturen in Ammoniak-Anwendungen werden hohe Anforderungen an die thermische Belastbarkeit der Öle gestellt. Bereits in einfachen Laborversuchen zeigen sich bei synthetischen Schmierstoffen Vorteile gegenüber Mineralölen. Bild 4 zeigt die Viskositätserhöhung unterschiedlicher Kältemaschinenöle nach Lagerung über zwei Wochen bei 120 °C im Klimaschrank. Während Mineralöle aufgrund der Alterung eine relativ starke Viskositätserhöhung erfahren, nimmt die Viskosität des synthetischen Alkylbenzol-Öles RENISO S 68 nur um 9% zu; das PAO-Öl RENISO SYNTH 68 zeigt keinerlei Veränderung.

Die Viskositätserhöhung von naphthenischen Kältemaschinenölen in Ammoniak-Anwendungen durch das Abwandern leichtersiedender Bestandteile bei hohen Verdichtungsendtemperaturen ist bekannt. Diese Leichtersieder wandern mit dem Kältemittelgas in den Kältekreislauf ab. Das im Verdichter verbleibende Kältemaschinenöl mit den schwerersiedenden Komponenten steigt in seiner Viskosität an. Es kann aufgrund der erhöhten Viskosität zu Anfahrproblemen der Verdichter (erhöhter Energieverbrauch) und zu Schmierungsproblemen (schlechtere Förderbarkeit von hochviskosem Öl zur Schmierstelle) kommen.

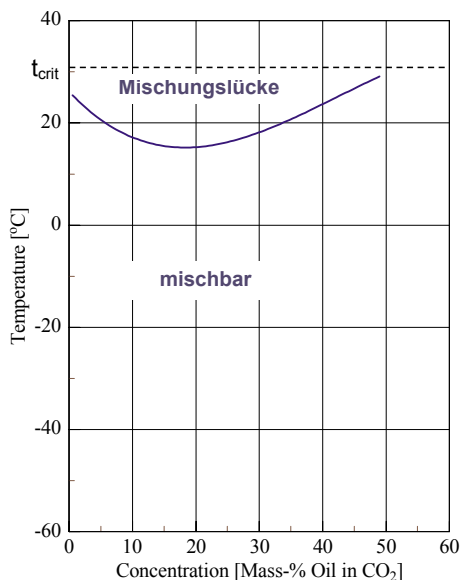


Bild 6 Mischungslücke-Diagramm von RENISO C 85 E mit CO₂

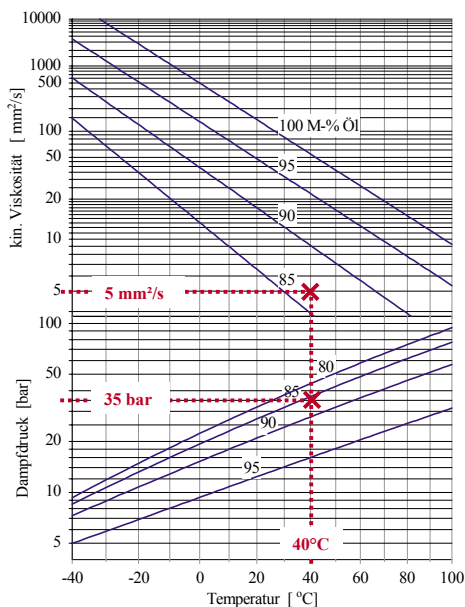


Bild 7 Daniel-Plot RENISO C 55 E

Der Grund für die Viskositäts-erhöhung durch teilweise Fraktionierung der Mineralöle liegt in der chemischen Zusammensetzung begründet. Mineralöle bestehen aus einer Vielzahl von Einzelmolekülen, im Wesentlichen Kohlenwasserstoffketten unterschiedlicher räumlicher Anordnung und Länge, und damit unterschiedlicher Siedetemperaturen.

Synthetische Schmierstoffe wie beispielsweise Polyalphaolefine bestehen aus gleich aufgebauten Einzelmolekülen, die

für einen engen Siedebereich/Siedeschritt stehen. Im Gegensatz zum Mineralöl fehlen kurzkettige, leichtersiedende Bestandteile.

Die höhere thermische Belastbarkeit von RENISO SYNTH 68 ermöglicht eine Verlängerung der Verdichter-Serviceintervalle. Ein Beispiel hierfür ist die Langnese-Iglo GmbH in Heppenheim mit einer der größten Kälteanlagen Europas: 24 MW Kälteleistung mit Ammoniak als Kältemittel. Durch Umstellung im Jahr 2000 von Mineralöl auf RENISO SYNTH 68 als Schmierstoff für deren Ammoniak-Kälteanlagen konnten die Fristen für die Grundüberholung der Verdichter um 50% verlängert werden [6].

Schaumverhalten

Immer wieder treten Schaumprobleme durch Ausgase-Effekte von flüssigem Ammoniak beim Anfahren der Verdichter auf. Ölschaum auf der Oberfläche und im Inneren des Schmierstoffs kann zu instationären Schmierzuständen führen und Öldruckschwankungen hervorrufen. Das Schaumverhalten unterschiedlicher Kältemaschinenöle wurde in Anlehnung an ASTM D 892 untersucht. Durch Einleiten von Ammoniak in eine Ölprobe durch einen feinporigen Diffusor entsteht je nach Schaumneigung des Öles auf der Flüssigkeitsoberfläche Schaum, dessen Volumen gemessen wird.

Der synthetische Schmierstoff auf Polyalphaolefin-Basis – RENISO SYNTH 68 – zeigt hier ein wesentlich niedrigeres Schaumvolumen als Mineralöl (Bild 5). Die Schaumbildung wird vermieden, die Tragfähigkeit des Schmierfilms bleibt erhalten. Ein stabiler Schmierfilm mit geringerem Schaumbannet die Verschleißgefahr im Anfahrzustand. Auch die Wärmeabfuhr und das Ölabscheideverhalten werden entsprechend durch eine geringere Schaumneigung positiv beeinflusst.

Öle für Kohlenwasserstoff-Anwendungen

Isobutan (R600a)-Anwendungen: niedrigviskose, additierte Mineralöle

Das lange Jahre in Haushaltskühl-schränken eingesetzte R134a ist mittlerweile in Europa zu einem großen Teil durch den Kohlenwasserstoff Isobutan (R600a) er-

setzt. Neben umweltpolitischen Gesichtspunkten steht die Energieeffizienz der Geräte im Vordergrund. Bei der Einsparung von Energie stehen die Optimierung der Isolierung und die Verbesserung der Verdichter im Vordergrund. Dabei ist der Energieaufwand, verursacht auch durch innere Reibung des Öles, mit Hilfe von immer niedrigviskoserem Schmierstoffen zu reduzieren.

Der Trend geht zu leistungsfähigeren Kältemaschinenölen mit speziellen Additiven – Antioxidantien und mit dem Basisöl synergistisch wirkende Verschleißschutz-/Antiwear (AW)-Additive wie sie bei der RENISO WF-Reihe verwendet werden. Moderne Vollhermetik-Verdichter werden mit hochausraffinierten Mineralölen der ISO VG 7 und in Zukunft auch verstärkt ISO VG 5 befüllt. Vor allem in außereuropäischen Ländern werden hingegen noch höherviskose Öle der ISO VG 10 bzw. 15 verwendet.

Durch Verringerung der Viskosität des eingesetzten Öles von 10 auf 7 mm²/s lässt sich der Energieverbrauch des Verdichters signifikant senken.

Diese geringen Ölviskositäten werden durch verdünnendes Isobutan, das sich aufgrund seines eng verwandten chemischen Aufbaus sehr gut in Mineralöl löst, noch weiter abgesenkt. Um den speziellen Anforderungen der R600a-Anwendungen gerecht zu werden, wurden die RENISO WF-Kältemaschinenöle mit leistungsfähigen Additivsystemen ausgestattet.

Propan (R290)-/Propen (R1270)-Anwendungen: Alkylbenzole und Polyolester

Für Anwendungen mit den Kältemitteln Propan und Propen sowie für das bei Verdampfungstemperaturen bis hinab zu -80°C verwendete Ethan stehen unterschiedliche Typen von Kältemaschinenölen zur Verfügung. Wegen ihrer guten Mischbarkeit mit Kohlenwasserstoffen haben sich Alkylbenzol-Öle der RENISO S/SP-Reihe bewährt. Für Wärmepumpen, die mit Propan/Propen betrieben werden, liegen umfangreiche Einsatzerfahrungen mit RENISO SP 100 vor. Neben der guten Mischbarkeit mit Kohlenwasserstoffen, sorgen spezielle Verschleißschutzadditive dafür, dass eine ausreichende Schmier-

Bild 8 Fresslasten Almen-Wieland unter 10 bar CO₂

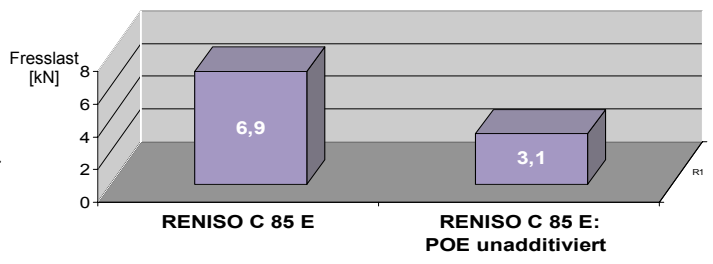


Bild 10 Chemischer Aufbau PAG konventionell – PAG für CO₂

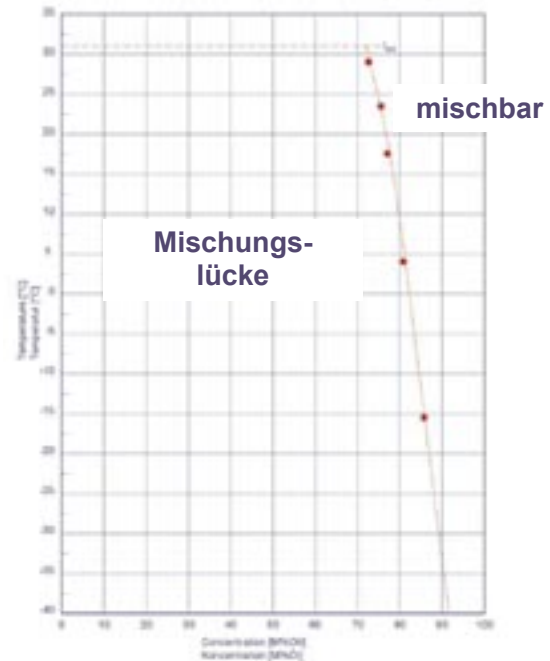
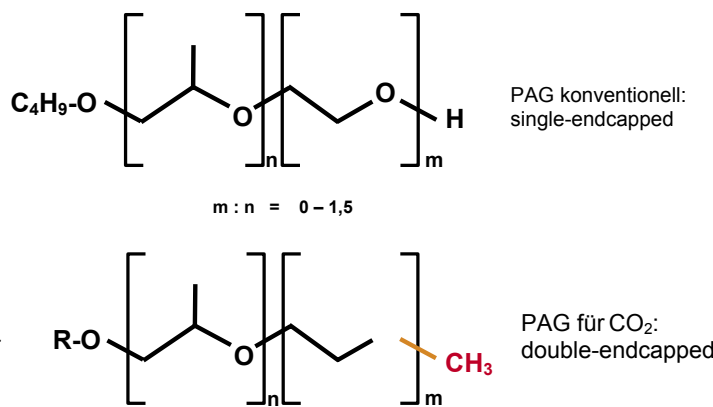


Bild 9 Mischungslücke-Diagramm von RENISO SYNTH 68 mit CO₂

auch im Bereich der Mischreibung gewährleistet ist.

Daneben werden auch Polyolester – RENISO TRITON SE/SEZ – wegen ihres günstigen Viskositäts-Temperaturverhaltens (VI > 120) eingesetzt.

Öle für Kohlendioxid-Anwendungen

Kohlendioxid als Kältemittel bietet eine Reihe von Vorteilen. Als Kältemittel hat es einen vernachlässigbar kleinen direkten Treibhauseffekt, es ist weder brennbar noch toxisch und günstig in der Anschaffung. Möglichen energetischen Nachteilen bei transkritischer Prozessführung und hohen, aber beherrschbaren Drücken steht eine hohe volumetrische Kälteleistung gegenüber. Mit seiner positiven Bilanz hat CO₂ bereits in einigen Kälte-/Klimatechnik-Bereichen deutlich an Bedeutung gewonnen.

Ein wichtiges Feld der Kohlendioxid-Anwendungen ist die Supermarktkühlung. Neben der Verwendung in der Tiefkühlstufe von Kaskaden-Anwendungen, wird CO₂ auch zunehmend überkritisch für die Normalkühlung eingesetzt. Umfangreiche Erfahrungen liegen mit dem synthetischen Polyolester (POE)-Öl RENISO C 85 E vor, welches effektive Verschleißschutzadditive besitzt. Aufgrund der ausgezeichneten Mischbarkeit mit CO₂ – das Öl hat keine

Mischungslücke bei tiefen Temperaturen (s. Bild 6) – ist der Ölrücktransport zum Verdichter auch bei problematischer Anlagengestaltung gesichert.

Spezielle synthetische Kältemaschinenöle der RENISO C-Reihe (auf Basis von Polyolester – POE) sind außerdem in den Viskositätsklassen ISO VG 55 (RENISO C 55 E: unterkritische Anwendungen, Hubkolbenverdichter) und ISO VG 170 (RENISO C 170 E: unter-/überkritische Anwendungen, Schraubenverdichter) erhältlich. Neben ihrer guten Mischbarkeit zeichnen sich die Produkte durch extreme Hochtemperaturstabilität (bis 200 °C) aus.

RENISO C 130 E auf Basis von Polymerester wurde aufgrund seiner besonderen Löslichkeitscharakteristik in erster Linie für die überkritische CO₂-Busklimatisierung entwickelt: Thermische Stabilität und eine für Ester niedrigere Viskositätsabnahme durch gelöstes CO₂ stehen bei diesem Schmierstoff im Vordergrund.

Zehnjährige Einsatzerfahrungen mit RENISO C-Kältemaschinenölen in unterschiedlichen Anwendungen liegen mittlerweile vor.

Unter den extremen Einsatzbedingungen, die bei CO₂-Anwendungen herrschen – vor allem bei überkritischen Prozessen: Drücke bis 150 bar, Druckgastemperaturen > 180 °C – steht die Leistungsfähigkeit

der Additive im Vordergrund. Insbesondere durch die starke Verdünnung durch CO₂ der auf POE basierenden Kältemaschinenöle und der damit verbundenen starken Viskositätsabsenkung rückt die Bedeutung von Verschleißschutzadditiven bei CO₂-Anwendungen in den Vordergrund.

In den Diagrammen zur Löslichkeit (Daniel-Plots) lässt sich am Beispiel des POE-Öles RENISO C 55 E bei typischen Betriebsparametern (Fahrzeugklimatisierung: Verdampfungstemperatur 0 °C, Temperatur im Verdichter 40 °C, Saugdruck 35 bar) ein Viskositätsabfall durch Einlösen von CO₂ von bis zu ~ 90% auf 5 mm²/s feststellen (s. Bild 7).

Neben der Wahl von in der Viskosität angepassten, entsprechend höherviskosen Polyolestern (überkritisch: ISO VG 80 oder höher) sind ausgewählte Antiwear-Additive notwendig, um die Schmierung und den Verschleißschutz zu gewährleisten.

Als Verfahren zur Untersuchung des Verschleißschutzverhaltens von Kältemaschinenölen unter Kältemittelatmosphäre haben sich tribotechnische Versuche an einer hermetisierten Almen-Wieland-Maschine des ILK Dresden bewährt [7,8]. Um die Wirkung von verschiedenen Grundöl-/Additivkombinationen unter CO₂-Hochdruck zu bestimmen, wurden u.a. Tests nach folgendem Prinzip durchgeführt: Eine mit Prüföl geschmierte Welle dreht bei

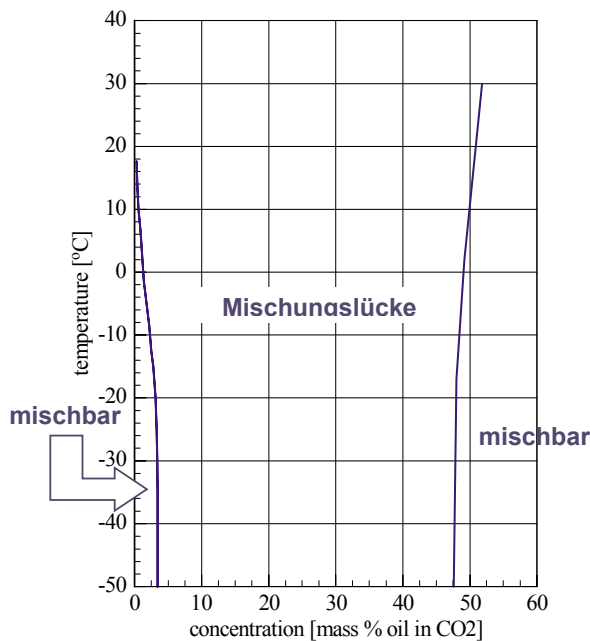


Bild 11 Mischungslücke-Diagramm PAG ISO VG 46 double-endcapped/CO₂

10 bar CO₂-Druck zwischen zwei Lagerhalbschalen. Die entstehende Reibung durch konstante Steigerung der Lagerlast mit zunehmender Laufzeit führt zu einem Verschleiß/Fressen von Lager und Welle. Je höher diese Fresslast, d.h. die Last, bei der es zu diesem Ausfall kommt, desto besser der Verschleißschutz des Kältemaschinenöles.

Wie in Bild 8 dargestellt, wird durch das verwendete Antiwear-Additiv bei RENISO C 85 E der Verschleißschutz gegenüber dem unadditivierten Polyolester stark verbessert.

Neben POE-basierenden Ölen finden auch Polyalphaolefine (PAO) Verwendung. Da es sich bei diesen Schmierstoffen um mit CO₂ nicht mischbare Produkte handelt, müssen die Anlagen mit entsprechend leistungsfähigen Ölabscheidern ausgerüstet werden [9].

Bild 9 zeigt die Mischungslücke von RENISO SYNTH 68, PAO-Kältemaschinenöl, mit CO₂.

Ebenfalls geringe Mischbarkeit mit CO₂ zeigen konventionelle Polyalkylenglykol-Öle (single-endcapped PAG), wie sie zum

Kältemittel	Öltyp (Anwendung)	FUCHS-Kältemaschinenöl
Ammoniak NH ₃ (R717)	Mineralöl	RENISO K-Reihe
	Alkylbenzol (thermisch-hochbelastete Anw.)	RENISO S 68
	PAO (thermisch-hochbelastete Anw.)	RENISO SYNTH 68
Isobutan (R600a)	Mineralöl	RENISO WF-Reihe
Propan (R290) Propen (R1270)	Alkylbenzol	RENISO SP 100
	POE	RENISO TRITON SE/SEZ
Kohlendioxid CO ₂ (R744)	POE (mischbar, Industrie-/Gewerbekälte)	RENISO C-Reihe
	PAO (nicht-mischbar)	RENISO SYNTH 68
	PAG (Auto A/C)	Entwicklungsstatus

Bild 12 Kältemaschinenöle für natürliche Kältemittel

Teil in R 134a-A/C-Anwendungen eingesetzt werden. Mischbarkeit mit CO₂ tritt erst bei Öl-Konzentrationen größer 50% auf.

Aufgrund spezieller chemischer Modifikation der Molekül-Endgruppen (s. Bild 10 double-endcapped PAG) lässt sich die Mischbarkeit mit CO₂ dahingehend verbessern, dass eine Restmischbarkeit im Bereich zwischen 1 und 3% Öl (je nach Temperatur) entsteht (s. Bild 11).

Diese Restmischbarkeit reicht in kompakten Anlagen wie beispielsweise Haushaltswärmepumpen oder PKW-Klimaanlagen aus, um das Öl zum Verdichter zurückzutransportieren. In größeren Anlagen muss diese geringe Mischbarkeit der PAG-Öle als kritisch betrachtet werden.

Zusammenfassung

Für natürliche Kältemittel mit geringem Ozonabbau Potenzial steht bereits eine Reihe von Kältemaschinenölen zur Verfügung (s. Bild 12).

Bei Ammoniak-Anwendungen ergeben sich durch synthetische Kältemaschinenöle auf Alkylat- oder Polyalphaolefin-Basis Vorteile gegenüber Mineralölen, vor allem hinsichtlich der Kältefließfähigkeiten und der thermischen Stabilität. Für die Anlage bedeutet das eine mögliche Verlängerung der Service-Intervalle durch den Wechsel von Mineralöl zu synthetischen Schmierstoffen.

Vollhermetik-Verdichter in Haushaltskühlschränken werden aus Gründen der Energieeinsparung zunehmend mit spezi-

ellen, niedrigviskosen, paraffinbasierten Kältemaschinenölen mit sehr guter Kältefließfähigkeit betrieben. Der Einsatz von speziellen Additivsystemen ist hier unerlässlich. Durch Verschleißschutzzusätze wird die Schmierung der sich überwiegend im Mischreibungsgebiet befindlichen Verdichterkomponenten gewährleistet.

Wegen ihrer sehr guten Mischbarkeit und ihrer Hochtemperaturstabilität werden für CO₂-Industrie- und Gewerbekälteanwendungen seit Jahren mit Erfolg Polyolester-basierende Kältemaschinenöle eingesetzt. Hohe Drücke und starkes Einlösen von CO₂ erfordern ausgewählte Antiwear-Additive, um den Verdichter vor Verschleiß zu schützen. In kleinerem Umfang werden auch Öle geringer Mischbarkeit eingesetzt: Polyalphaolefin und Polyalkylenglykole. ■

Literatur

- [1] D. Ren and A.J. Gellman, Tribology Letters 6 (1999) 191
- [2] D. Sung and A.J. Gellman, Tribol. Int. 35 (2002) 579
- [3] P. C. Hamblin; U. Kristen: Aschefreie Extreme-Pressure- und Verschleißschutz-Additive in W. Bartz: Additive für Schmierstoffe, Expert-Verlag (1994)
- [4] DIN ISO 3016 Bestimmung des Pourpoints
- [5] DIN 51568 Bestimmung des Fließvermögens. U-Rohr-Verfahren
- [6] FUCHS Forum 1/05: Kältemaschinenöl für eine der größten Eisfabriken Europas (Jan. 2005)
- [7] Forschungsrat Kältetechnik, Bericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 10927: Stabilität von Kohlenwasserstoffen im Kältekreislauf, Heft 2: tribotechnische Eigenschaften (März 1999)
- [8] Forschungsrat Kältetechnik / ILK Dresden: Systematische tribotechnische Untersuchungen mit herkömmlichen Schmierstoffen und natürlichen Kältemitteln. Studie (Juni 2006)
- [9] Kai Selmer: YORK CO₂-Kompressionskälteanlagen in der Industriekälte, DKV-Vortrag (2006)