

Schraubenverdichter in der Kältetechnik und Ölproblematik

Prof Dr.-Ing. **H. Kruse** und Dipl.-Ing. **U. Hesse**, Hannover

Kurzfassung

Das Mischungsverhalten von Kältemaschinenölen mit Kältemitteln wird erläutert. Dabei wird auf die verschiedenen für den Einsatz in Schraubenverdichtern in Frage kommenden synthetischen Kältemaschinenöle und ihr Verhalten in der Gegenwart unterschiedlicher Kältemittel eingegangen.

Am Beispiel der Schmierung von Gleitlagern und Wälzlagern der Schraubenläufer wird erläutert, wie sich die durch Verdünnung mit Kältemittel reduzierte Ölviskosität auf die Tragfähigkeit der Schmierfilme und damit die Lebensdauer der Maschine auswirkt. Weiter wird gezeigt, wie die wirksame Viskosität zu bestimmen ist und welchen Effekt die Wahl eines anderen Kältemittels oder Öls haben kann.

Abschließend werden anlagentechnische Konstruktionsvarianten diskutiert, mit denen sich die Auswirkungen der Ölverdünnung beeinflussen lassen.

1. Einleitung

Nur bei Turbokompressoren und den selten eingesetzten trockenlaufenden Verdichtern kommen Öl und Arbeitsmedium nicht miteinander in Kontakt. In allen anderen Fällen ist für eine weitgehend genaue Anlagen- und Verdichteraus-

legung zu berücksichtigen, daß als Fluid ein Gemisch aus Öl und Arbeitsmedium in Verdichter und der angeschlossenen Anlage vorliegt.

Im Gegensatz zu Luftverdichteranlagen befindet sich bei Kälteanlagen das Arbeitsmedium im Verdichter in der Nähe seines Sättigungszustandes. Dies hat zur Folge, daß sich das Kältemittel in erheblichen Mengen im Öl lösen kann. Dabei wird die für die Schmierung bedeutsame Ölviskosität herabgesetzt, so daß eine geringe Löslichkeit aus dieser Sicht erstrebenswert ist. Es wird aber trotz eines Ölabscheiders auch Öl mit in den Kreislauf ausgetragen, wo es z.B. in den Wärmeaustauschern zu Problemen führen kann.

Für die Ölrückführung zum Verdichter darf die Ölviskosität im Verdampfer nicht zu hoch sein, weshalb aus diesem Grund eine hohe Löslichkeit erstrebenswert wäre. Beide Folgen der Öllöslichkeit erfordern einen Kompromiß hinsichtlich der geringsten und höchsten Ölviskosität.

Verschiedene Verdichtertypen weisen unterschiedliche Ölversorgungssysteme auf:

Hubkolbenverdichter haben ihr Ölreservoir normalerweise im Kurbelgehäuse, wo es mit Saugdruck beaufschlagt wird. Mittels Ölpumpe oder Schleuderschmierung wird es den Schmier- und Dichtstellen zugeführt.

Bei den hier behandelten Schraubenverdichtern befindet sich das Ölreservoir auf der Druckseite im Ölabscheider. Von hier aus kann es entweder durch eine Ölpumpe oder allein durch die Differenz zwischen Saug- und Verflüssigungsdruck zu den Schmier- und Dichtungsstellen gefördert werden. Der Verzicht auf eine Ölpumpe ist wegen der unkritischeren Ölversorgung im Anlauf nur bei wälzgelagerten Schraubenverdichtern üblich.

Der Unterschied der Verdichterbauarten wirkt sich auf das Öl-Kältemittelsystem und die erforderlichen Ölviskositäten aus. Wird diese Problematik nicht beachtet, büßt der Schraubenverdichter seine an sich größere Zuverlässigkeit /1/ ein. Wenn es bei Schraubenverdichtern zu Schäden kommt, ist vorwiegend das Schmierungssystem betroffen, wobei die Ölpumpe wegen des Kältemittelgehaltes im Öl offenbar besonders anfällig ist, wie die Statistik /1/ gezeigt hat. Dies hat in letzter Zeit vermehrt zur Entwicklung von Kältemittel-Schraubenverdichtern ohne Ölpumpe geführt, die wälzgelagert sind und entweder nur noch eine Vorschmierpumpe oder überhaupt keine Ölpumpe mehr besitzen und das Öl ausschließlich durch die Druckdifferenz vom Ölabscheider zur Maschine fördern. Außer Ölpumpenschäden können gelegentlich aber auch Schäden an den Rotorlagerungen verzeichnet werden und zwar sowohl bei Gleitlagern als auch bei Wälzlagern.

Daher soll, nachdem die in Schraubenverdichteranlagen eingesetzten Kältemaschinenöle und deren Verhalten im Gemisch mit Kältemittel vorgestellt worden sind, auf die Frage der effektiven Viskosität im Lager eingegangen werden.

2. Kältemaschinenöle für Schraubenverdichter

In der Vergangenheit wurden in der Kältetechnik hauptsächlich Schmieröle auf Mineralölbasis eingesetzt. Diese Öle zeigten für Hubkolbenverdichter befriedigende Eigenschaften.

Im Schraubenverdichter werden dagegen vor allem halb- und vollsynthetische Öle mit höheren Viskositätsklassen etwa ab ISO VG 100 bis ISO VG 460 eingesetzt. Teilweise kommen noch zähflüssigere Öle zum Einsatz /2/. Wegen der erforderlichen Ölrückführung bei gegebenen Kälteanlagen sind

aber die Viskositäten begrenzt, so daß eventuell auch niedrigere Viskositätsklassen erforderlich werden, und zwar je nach Löslichkeitsverhalten des Öles mit dem jeweiligen Kältemittel.

Als vollsynthetische Schmierstoffe für Kälteschraubenverdichter sind bisher Öle auf der Basis folgender Grundflüssigkeiten verwendet worden /3,4/:

- Poly-alpha-olefin (PAO)
- Alkylbenzole (AB)
- Polyglykole (PG)

Poly-alpha-Olefine weisen eine große Ähnlichkeit zu Mineralölen auf. Der Herstellvorgang ist die Erzeugung von C_{10} -Alpha-Olefinen aus Ethylen-Molekülen (Bild 1). Anschließend erfolgt die Polymerisation zu C_{20} , C_{30} , C_{40} , usw. Poly-alpha-Olefinen. Das alpha bedeutet, daß die Doppelbindung am "Kopfende" zwischen 1. und 2. C-Atom bleibt. Der unterschiedliche Grad der Polymerisation gibt Auskunft über die Viskositätslage des Öles, die in weiten Bereichen variiert werden kann.

Poly-alpha-Olefine besitzen gute Öl-Kältemittelbeständigkeit, hervorragende Kältefließigenschaften, sowie gute chemische und thermische Stabilität. Sie sind mit Mineralölen unbeschränkt mischbar. Ihre geringe Lösungs-fähigkeit für Kältemittel bietet einen erhöhten Schutz gegen viskositätsbedingten Verschleiß aufgrund der Verdünnung des Öles mit Kältemittel. Es ergeben sich bessere Dichteigenschaften bei der Verwendung in Schraubenverdichtern. Allerdings sind auch anlagentechnische Überlegungen zur Ölrückführung erforderlich.

Nachteilig ist die schrumpfende Wirkung gegenüber einigen Dichtmaterialien, die aber durch bestimmte Additive sowie durch Beimischung von Alkylbenzolen ausgeglichen werden kann.

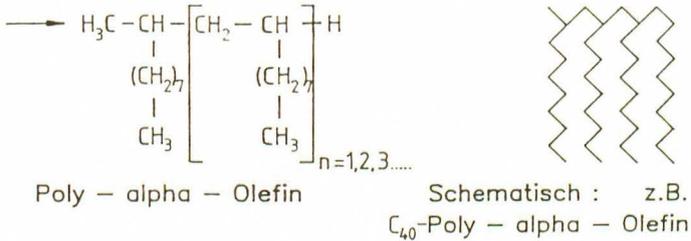
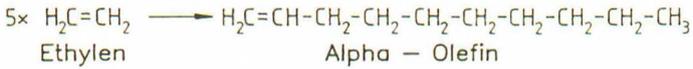


Bild 1: Erzeugung von Poly-alpha-Olefin

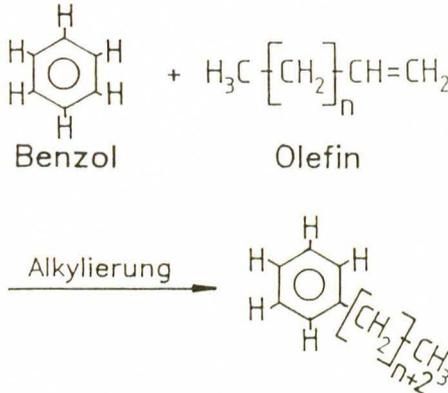


Bild 2: Erzeugung von Alkylbenzol

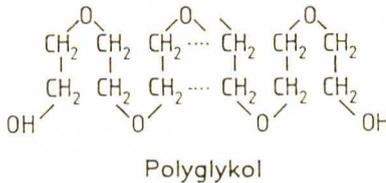


Bild 3: Erzeugung von Polyglykol

Alkylbenzole nehmen in der Kältetechnik eine bedeutende Stelle unter den synthetischen Ölen ein. Grundsubstanzen für die Herstellung sind Benzol- und Olefinmoleküle (Bild 2), die in der Gegenwart von Katalysatoren alkylieren. Hierbei ist die Herstellung von Mono- und Dialkylbenzolen möglich, was bedeutet, daß beim Monoalkylbenzol eine Olefinkette und beim Dialkylbenzol zwei Olefinketten an den Benzolkern angelagert sind. Diese Möglichkeit, sowie die Verwendung unterschiedlich langer Olefinketten ermöglichen wie auch bei den Poly-alpha-Olefinen die Erzeugung unterschiedlicher Viskositätslagen. Die Struktur zeigt, daß Alkylbenzole die Vorteile von ungesättigten und gesättigten Kohlenwasserstoffen vereinigen: Sie besitzen gute Stabilität durch die Alkylseitenketten, sowie gute Löslichkeit und Schmiereigenschaften durch den aromatischen Kern. Alkylbenzole lassen sich wie Poly-alpha-Olefine unbeschränkt mit Mineralölen mischen.

Ein Vorteil der Alkylbenzole liegt in den relativ niedrigen Herstellungskosten. Alkylbenzole haben ein weit gefächertes Einsatzgebiet in der chemischen Industrie. Sie fallen bei einigen Prozessen als Nebenprodukt an.

Für Polyglykole ist auch Ethylen die Grundsubstanz (Bild 3). Es wird zu zyklischen Äthern oxidiert. Reaktionen zwischen diesen Molekülen unter der Zugabe von Wasser- oder Alkoholmolekülen ergeben verschiedene Polyglykole. Die enthaltenen C-O-C-Bindungen bewirken eine gute Beweglichkeit der Moleküle bei niedrigen Temperaturen, und damit ein günstiges Viskositäts-Temperatur-Verhalten. Die Sauerstoffatome geben den Polyglykolen eine Polarität, die zwar gute Verschleißschutzeigenschaften ergibt, die die Polyglykole aber auch wasserlöslich macht. Diese robuste C-O-C-Bindung bewirkt ebenfalls, daß die thermische Stabilität der Polyglykole besonders gut ist, die oxidative Stabilität muß allerdings durch Additive verbessert

werden. Diese Eigenschaften scheinen zunächst Polyglykole zu geeigneten Kältemaschinenölen zu machen und bei Propan und Propylen als Kältemittel haben Polyglykole aufgrund ihrer geringen Kohlenwasserstofflöslichkeit auch eine gewisse Bedeutung erlangt. Allerdings ist das Lösungsvormögen für Mineralöle ebenfalls eingeschränkt.

Als problematisch hat sich für diese Öle ihre Wasserlöslichkeit herausgestellt. Diese ist zwar durch Verwendung von Propylenoxid statt Ethylenoxid in der Herstellung reduzierbar, aber nicht vollkommen auszuschalten, so daß Polyglykole in ihrem Einsatz stark eingeschränkt sind.

Damit können diese drei synthetischen Grundflüssigkeiten für Kältemaschinenöle etwa wie folgt klassifiziert werden:

- Poly-alpha-Olefine und Alkylbenzole sind den Mineralölen recht ähnlich und mit diesen gut mischbar. Poly-alpha-Olefine weisen gute Stabilität, gute Kältefließ-eigenschaften und geringe Kältemittellöslichkeit auf, während Alkylbenzole gut mit Kältemittel löslich sind.
- Polyglykole erscheinen für die Kältetechnik recht interessant, scheiden aber bei Anlagen mit halogenisierten Kohlenwasserstoffen als Kältemittel wegen der Wasserlöslichkeit weitgehend aus.

3. Öl-Kältemittelgemische

Die interessanteste Kenngröße eines Öles ist sein Viskositäts-Temperatur-Verhalten, wobei auch die Abhängigkeit von dem in Öl gelösten Kältemittel nach Art und Menge zu berücksichtigen ist /5/.

Das Viskositäts-Temperatur-Verhalten verschiedener Kältemaschinenöle zeigt Bild 4 /4/. Hier sind die Verläufe der kinematischen Viskosität für ein Poly-Alpha-Olefin "PAO", ein Polyglykol "PG" und zwei Alkylbenzole "AB" über der

Temperatur dargestellt. Zum Vergleich sind zwei Mineralöle gestrichelt mit eingetragen.

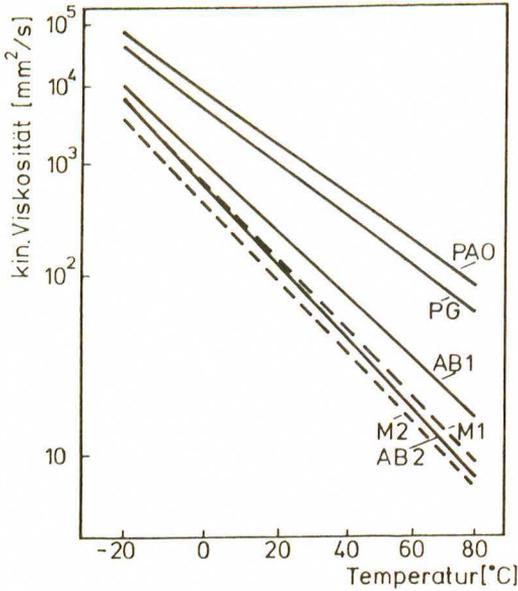


Bild 4: Viskositäts-Temperatur-Verhalten verschiedener Kältemaschinenöle

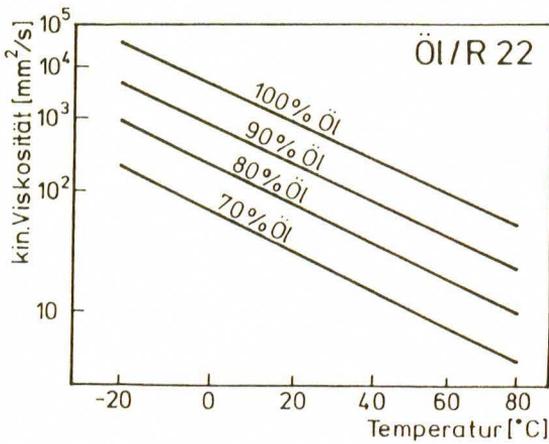


Bild 5: Einfluß des im Öl gelösten Kältemittels auf die Viskosität

Die unterschiedliche Viskositätslage der Öle ist weniger aussagekräftig, da sie im wesentlichen durch die Moleküllänge bestimmt wird. Der Syntheseprozess kann dazu entsprechend beeinflußt werden. Entscheidend ist dagegen der unterschiedliche Viskositätsabfall über der Temperatur.

Poly-Alpha-Olefine und Polyglykole sind in ihrem Viskositäts-Temperatur-Verhalten etwa gleich. Sie weisen gegenüber den Alkylbenzolen einen geringeren Temperatureinfluß auf. Die Alkylbenzole sind den Mineralölen am ähnlichsten, was durch den etwa gleich steilen Verlauf im Diagramm zum Ausdruck kommt.

Der Unterschied im Verlauf der beiden Alkylbenzole zueinander dürfte vor allem auf die unterschiedliche Struktur der an den Benzolkern angelagerten Seitenketten zurückzuführen sein. Während die Seitenketten bei dem Öl "AB 1" unverzweigt sind, sind die Ketten bei dem Öl "AB 2" verzweigt.

Außer der Temperaturabhängigkeit der Viskosität muß auch der Verdünnungseffekt durch das im Öl gelöste Kältemittel bekannt sein. Der Einfluß des im Öl gelösten Kältemittels geht aus Bild 5 hervor. Dargestellt sind Linien konstanter Gemischzusammensetzung. In der vorliegenden Diagrammform nach Ubbelohde ergeben sich Verschiebungen zu niedrigeren Viskositäten, die etwa der Kältemittelkonzentration proportional sind. Die Menge des sich im Öl lösenden Kältemittels hängt von Temperatur und Druck ab.

Bild 6 zeigt den Dampfdruck aufgetragen über der Temperatur für Gemische mit 20 Gew. % R12 bzw. 20 Gew.% R22. Zum Vergleich ist die Dampfdruckkurve des jeweiligen reinen Kältemittels mit aufgetragen.

Es ist deutlich zu erkennen, daß höhere Drücke erforder-

lich sind, um im Poly-alpha-Olefin die gleiche Kältemittelmenge zu lösen, wie im Alkylbenzol. In dem Gemisch mit R22 ist dieser Effekt stärker, was auf die grundsätzlich schlechtere Öllöslichkeit des R22 zurückzuführen ist. Das Polyglykol verhält sich mit R12 ähnlich wie das Poly-alpha-Olefin, im Gemisch mit R22 muß jedoch von einer wesentlich besseren Löslichkeit ausgegangen werden /3/.

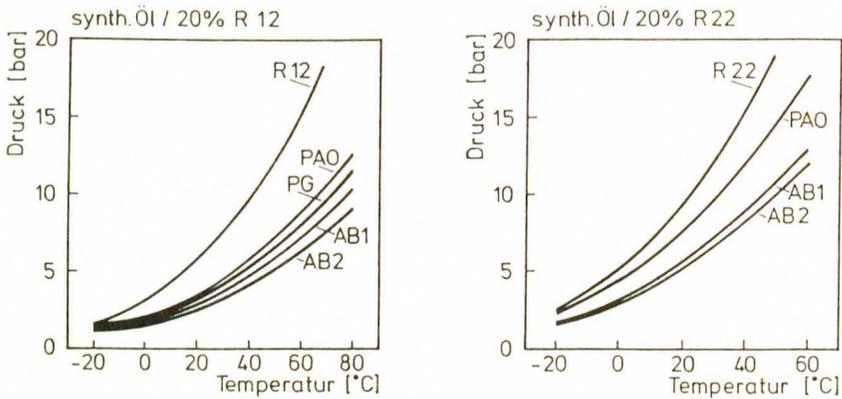


Bild 6: Dampfdruckkurven von Gemischen mit 20% Kältemittel im Öl

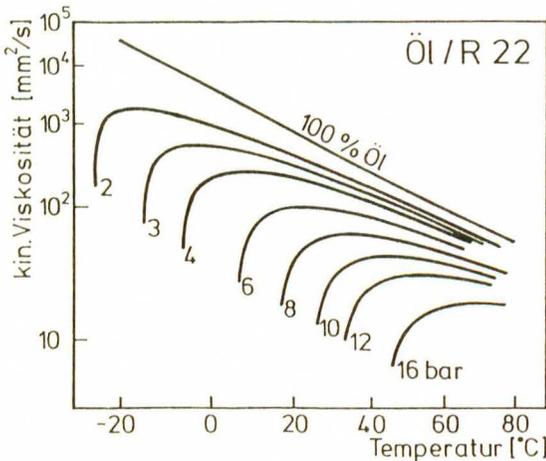


Bild 7: Viskositätsdiagramm mit Isobaren

Poly-alpha-Olefine sind also vor allem dort einzusetzen, wo Probleme durch die Verdünnung des Öls erwartet werden. Dies ist besonders beim Schraubenverdichter der Fall, der sein Ölreservoir auf der Druckseite hat. Alkylbenzole sind dagegen günstiger dort einzusetzen, wo Probleme bei der Ölrückführung aus dem Verdampfer erwartet werden. Sie sind unkritischer in Hubkolbenverdichtern als in Schraubenverdichtern einzusetzen.

Mit Kenntnis der Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit von Viskosität und Dampfdruck läßt sich die für den praktischen Gebrauch sehr hilfreiche Druck-Temperatur-Abhängigkeit der Viskosität angeben. Dies erfolgt häufig in Form der Viskositäts-Temperatur-Diagramme mit eingezeichneten Isobaren wie im Bild 7.

Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß nicht jedes Öl mit jedem Kältemittel beliebig ineinander löslich ist. Daher soll abschließend die Kältemittellöslichkeit am Beispiel von einem Alkylbenzol und einem Poly-alpha-Olefin auf die Lage von Mischungslücken hin untersucht werden. Bild 8 zeigt den Verlauf der Löslichkeitsgrenztemperatur über dem Ölanteil für jeweils ein Gemisch aus Poly-alpha-Olefin und Alkylbenzol mit R22.

Während das Alkylbenzol nur bei sehr niedrigen Temperaturen um -80°C Entmischungerscheinungen zeigt, ist das Poly-alpha-Olefin über den gesamten Temperaturbereich nicht vollständig mischbar. Auf zwei Wegen konnte hier die Löslichkeit des Poly-alpha-Olefin verbessert werden. Im ersten Fall ist dem R22 10% R12 zugemischt worden, wodurch sich die Löslichkeit um ca. 20 K verschob. Im zweiten Fall wurde dem Poly-alpha-Olefin 10 % Alkylbenzol zugemischt, wodurch sich die Löslichkeitsgrenze um ca. 25 K verschob. Mischungen von Poly-alpha-Olefin und Alkylbenzol werden auf dem Markt bereits angeboten. Mit derartigen Ölge-

mischen wird auch das beim Poly-alpha-Olefin typische Schrumpfen von Dichtungen und sonstigen Bauteilen auf Elastomerbasis umgangen.

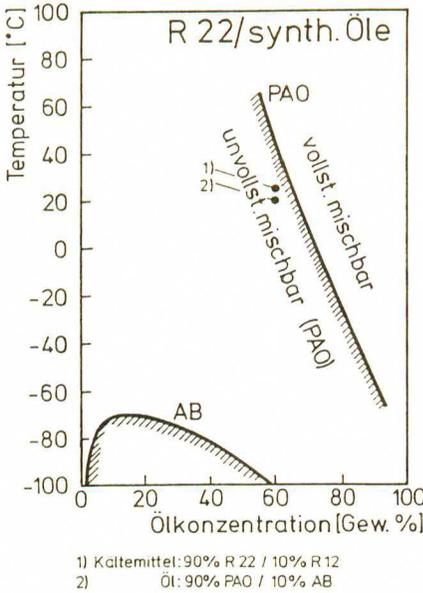


Bild 8: Vergleich der Kältemittellöslichkeit

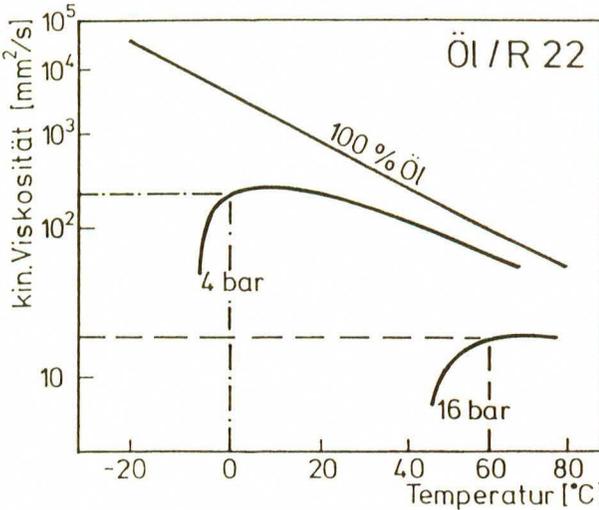


Bild 9: Viskositätsdiagramm mit dem Beispiel für eine Saugdruck- und eine Gegendruckisobare

In das Viskositäts-Temperatur-Diagramm in Bild 9 sind als Beispiel für eine Saugdruck- und eine Gegendruckisobare eines Öl-R22-Gemisches die Kurven für 4 bar und für 16 bar eingetragen. Befindet sich das Ölreservoir auf der Druckseite, was beim Schraubenverdichter häufig der Fall ist, so ist nicht nur die Viskosität des gleichen Öles grundsätzlich niedriger, sondern das Maximum der Gemischviskosität liegt auch bei deutlich höheren Temperaturen. Daraus ist z.B. abzuleiten, daß das Öl bei Schraubenverdichteranlagen auf höherem Temperaturniveau als beim Hubkolbenverdichter gehalten werden muß. Während bei Hubkolbenverdichtern eine Beheizung des Ölsumpfs vor allem das Aufschäumen beim Anfahren verhindern soll und ansonsten eine niedrige Öltemperatur weitgehend unproblematisch ist, muß ein Absinken der Öltemperatur beim Schraubenverdichter verhindert werden.

4. Auswirkungen der Öl-Kältemittelmischung a.d. Schmierung

Die Bedeutung der wirksamen Ölviskosität für die Schmierung soll nachfolgend an zwei Beispielen für die Lagerschmierung dokumentiert werden und zwar einerseits für gleitgelagerte und andererseits für wälzgelagerte Rotoren.

4.1 Schraubenverdichter mit Gleitlagern

Am Beispiel einer Baureihe von Kaltwassersätzen, bei der häufig Schäden an den Gleitlagern der Rotoren auftraten, wurde eine Nachrechnung der Lagerauslegung vorgenommen. Eine Berechnung der Lagerbelastung ergab für die vom Hersteller des Verdichters zugelassene Mindestviskosität des Schmieröls im gesamten Betriebsbereich bis $t_c = 60^\circ\text{C}$ eine ausreichende Lagerdimensionierung, wie die minimale Schmier-spalthöhe in Relation zur Summe der Rauhtiefen von Welle und Schale zeigt (Bild 10). Eine Variationsrechnung

mit veränderlicher Viskosität ergab, daß erst für Viskositäten unter ca. $3,5 \text{ Ns/m}^2$ die minimale Schmierfilmhöhe kleiner als die Summe der Rauhtiefen wird (Bild 11). Da vom Öllieferanten keine gemessenen Daten über die Kältemittellöslichkeit des verwendeten Öles angegeben werden konnten, wurden an drei Stellen im Kreislauf Ölproben gezogen. Sie zeigten, daß erhebliche Mengen von etwa 30% Kältemittel im Öl gelöst waren (Bild 12). Dies führt zu einem Viskositätsabfall auf ca. 3 Ns/m^2 und damit zu Lagerschäden. Die Ursache war eine zu niedrige Temperatur im Ölabscheider. Es löste sich zuviel Kältemittel im Öl. Es ist also wichtig, auf eine ausreichend hohe Temperatur im Ölabscheider zu kommen, wie es prinzipiell vorher an Bild 9 erläutert wurde.

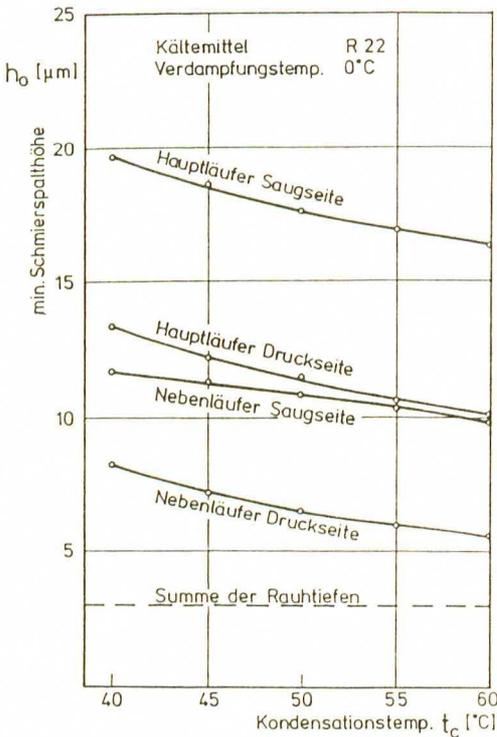


Bild 10: Minimale Schmierfilmdicke als Funktion der Kondensationstemperatur

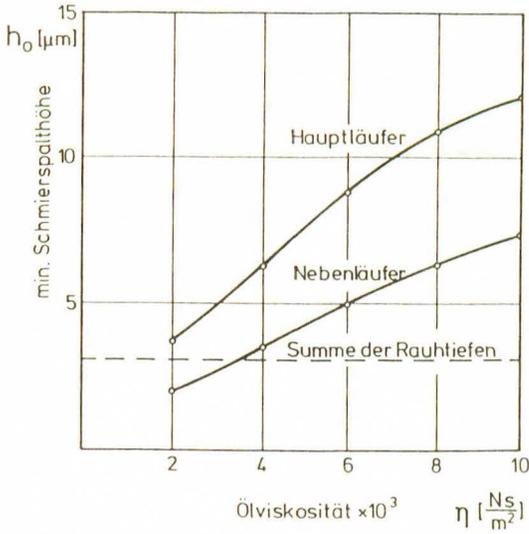


Bild 11: Minimale Schmierspalthöhe als Funktion der Ölviskosität

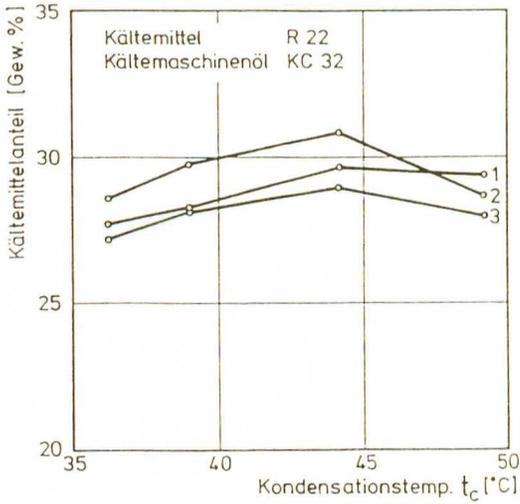


Bild 12: Gemessener Kältemittelanteil im Öl über der Kondensationstemperatur

4.2 Schraubenverdichter mit Wälzlager

Gelegentlich treten auch Lagerschäden an wälzgelagerten Schraubenverdichtern auf, für die die wirksame Ölviskosität einer der verantwortlichen Faktoren sein kann.

Die Lebensdauer eines Wälzlagers wird neben der Belastung P und der Tragzahl C des Lagers auch von der Werkstoff-Schmierstoffpaarung bestimmt. Berücksichtigt wird dies durch einen Faktor a_{23} in der Berechnungsformel für die Lebensdauer:

$$L = a_1 \cdot a_{23} \cdot (C/P)^3$$

Dieser Faktor ist eine Funktion des Verhältnisses der tatsächlich vorhandenen Viskosität zur erforderlichen Viskosität.

	Öl ₁	Öl ₂	Öl ₃	Öl ₁	Öl ₃
ISO-VG	100	220	460	100	460
Kältemittel	R 22			R 12	
p _c	17,3 bar			10,9 bar	
erforderl.Visk.	14 mm ² /s				
tatsächl.Visk.	4	10	28	3	25
a ₂₃	0,17	0,5	1,5	0,15	1,4

Annahmen : Kondensation bei 45°C
 Drehzahl 3000 / min.
 Lagergröße d=45mm
 Temperatur im Ölabscheider 90°C
 Lager unter Kondensationsdruck

Tabelle 1: Abhängigkeit des Lebensdauerfaktors a_{23} vom Öl und vom Kältemittel

Tabelle 1 zeigt den Vergleich des Faktors a_{23} bei drei

unterschiedlichen Kältemaschinenölen verschiedener Viskositätsklasse und mit den Kältemitteln R12 und R22. Aus der Lagerauslegung ergibt sich eine erforderliche Viskosität von $14 \text{ mm}^2/\text{s}$. Mit dem Öl 1 und dem Öl 2 wird diese Viskosität nicht erreicht, lediglich bei Verwendung des Öls 3 ergibt sich eine ausreichende Viskosität. Auf ca. 20% bzw. 50% reduzierte Lebensdauerwerte gegenüber der rechnerischen Auslegung sind die Folgen bei den beiden niedrig viskoserem Ölen. Die gute Öllöslichkeit des R12 führt trotz niedrigerem Sättigungsdruck zu noch etwas schlechteren Werten der Viskosität und des Faktors a_{23} , weil mehr Kältemittel im Öl gelöst ist. Da aber die Druckniveaus und damit die Lagerkräfte beim Betrieb mit R12 niedriger sind als beim Betrieb mit R22 wird in diesen Fällen die Lagerlebensdauer trotz sonst gleichen Betriebsbedingungen und etwas schlechterem Faktor a_{23} entsprechend der Lagerberechnungsformel größer sein gegenüber der R22-Anlage. Das hängt jedoch vom jeweiligen Löslichkeitsverhalten des betrachteten Öls ab, so daß auch eine Lebensdauerverringering beim Übergang auf R12 denkbar ist.

5. Anlagenschaltungen

Nicht immer kann das Problem zu starker Ölverdünnung durch die Wahl eines höher viskosen Öls gelöst werden, da z.B. auch die Ölrückführung aus dem Kreislauf gegeben sein muß. Hier bieten sich gegebenenfalls anlagentechnische Schaltungsvarianten an, die eine höhere Viskosität gewährleisten.

Den ersten Schritt wird der Einbau eines Ölkühlers darstellen. Dabei muß die Auswirkung auf die Temperatur an der Schmierstelle geprüft werden, da der Verdünnungseffekt durch das im Öl gelöste Kältemittel noch besteht und das Öl an der Schmierstelle wieder erwärmt wird.

Bei wälzgelagerten Verdichtern können auch die druckseitigen Lager unter Saugdruck bzw. einem Zwischendruck gehalten werden. Es muß dann jedoch sicher gestellt sein, daß ein Teil des Kältemittels nach der Drosselung aus dem Öl ausdampft, bevor dieses an der Schmierstelle wirksam wird.

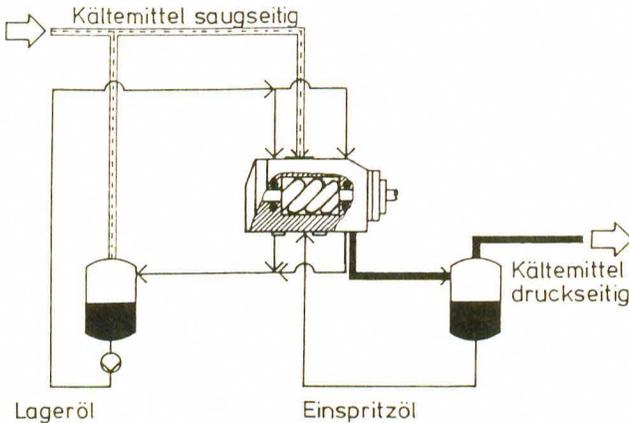


Bild 13: Trennung von Lageröl- und Schmierölkreislauf

Die sicherste Methode ist die Trennung von Lager- und Einspritzölkreislauf. Im Bild 13 ist ein entsprechendes Schema dargestellt /6/. Der Abscheider des Lagerölkreislaufs steht unter Saugdruck. Das gelöste Kältemittel wird weitgehend abgesaugt. Eine Ölpumpe ist dann aber auch bei wälzgelagerten Verdichtern notwendig.

6. Zusammenfassung

Schraubenverdichter sind aufgrund ihres einfachen Aufbaus mit wenig bewegten Teilen zuverlässige Kälteverdichter. Dies gilt aber nur, wenn die gegenüber Hubkolbenverdichtern andere Ölproblematik ausreichend beachtet wird. Sonst sind Schäden die Folgen, wobei häufig die Lager betroffen sind. Die hohen Anforderungen an die Öl-Viskosität haben dazu geführt, daß vor allem synthetische Kältemaschinenöle eingesetzt werden.

Literatur

- / 1/ H. Brandt:
Vergleichende Zuverlässigkeitesuntersuchung an
Kältekompressoren auf Kühlschiffen;
1977, DKV-Tagung, Hannover
- / 2/ Y. Kukazawa, U. Ozawa:
Small Screw Compressor for Automobile Airconditio-
ning Systems; Proceedings of the 1980 Compressor
Technology Conference at Purdue
- / 3/ W.A. Schmid:
Erfahrungen mit Schmierstoffen für Verdichter;
Tagung "Schraubenmaschinen" 1984 in Dortmund,
VDI-Berichte 521, VDI-Verlag, Düsseldorf
- / 4/ U. Hesse, H. Kruse:
Synthetische Kältemaschinenöle und deren
Mischungen mit Kältemitteln;
1986, DKV-Tagung, Bad Homburg
- / 5/ M. Schroeder, H. Kruse:
Fundamentals of lubrication in refrigerating
systems and heat pumps,
Int. J. Refrig., 1985 Vol. 8 November
- / 6/ E. Ganter:
Schraubenverdichter im Wärmepumpeneinsatz;
Tagung "Schraubenverdichter" 1984, Dortmund,
VDI-Berichte 521, VDI-Verlag, Düsseldorf
- / 7/ M. Schroeder:
Beitrag zur Bestimmung thermophysikalischer Eigen-
schaften von Mischungen synthetischer Kältemaschi-
nenöle mit Ein- und Zweistoff-Kältemitteln,
DKV-Forschungsbericht Nr. 19, 1986

- / 8/ M. Schroeder:
Entwicklung und Erprobung eines preisgünstigen
Schraubenverdichters für die Kältemittel R12 und
R114 sowie deren Mischungen;
Abschlußbericht, BMFT, 03 E-5365-A, 1985
- / 9/ H. Kaiser, H. Kruse:
Schraubenverdichter für Wärmepumpen und Kältean-
lagen; Tagung "Schraubenverdichter" 1984, Dortmund
VDI-Berichte 521, VDI-Verlag, Düsseldorf