

## Vergleichende Betrachtung von Schmierstoffen für öleingespritzte Schraubenverdichter

Dipl.-Ing W. Heine, Hamburg

### Zusammenfassung

Ausgehend von den behördlichen Vorschriften und Anforderungen an Luftverdichteröle wird in dem folgenden Beitrag anhand der physikalischen und technischen Eigenschaften von mineralischen und synthetischen Schmierstoffen aufgezeigt, welches Verhalten - auch im Hinblick auf die andersgeartete Basis und Additivierung der Produkte - in Ölumlaufsystemen von einspritzgekühlten Schraubenverdichtern zu erwarten ist.

Neben dem unterschiedlichen Betriebsverhalten des Konstruktionselementes "Öl", wird auch auf den wirtschaftlichen Aspekt, d.h. verbesserte Betriebssicherheit, geringere Wartungs- und Schmierstoffkosten für stationäre und fahrbare Anlagen eingegangen.

### Summary

Proceeding from the official regulations and requirements pertaining to air compressor oils, the following paper describes the physical and technical properties of mineral and synthetic lubricants to show the behavior which can be expected in oil circulation systems of screw-type compressors with spray cooler - consideration also being given to the different basis and additive content of the products.

In addition to the various features of the operating behavior of oil as a structural element, economic aspects, i.e. improved operational safety, lower maintenance and lubricant costs for stationary and mobile units, are also addressed.

## Einleitung

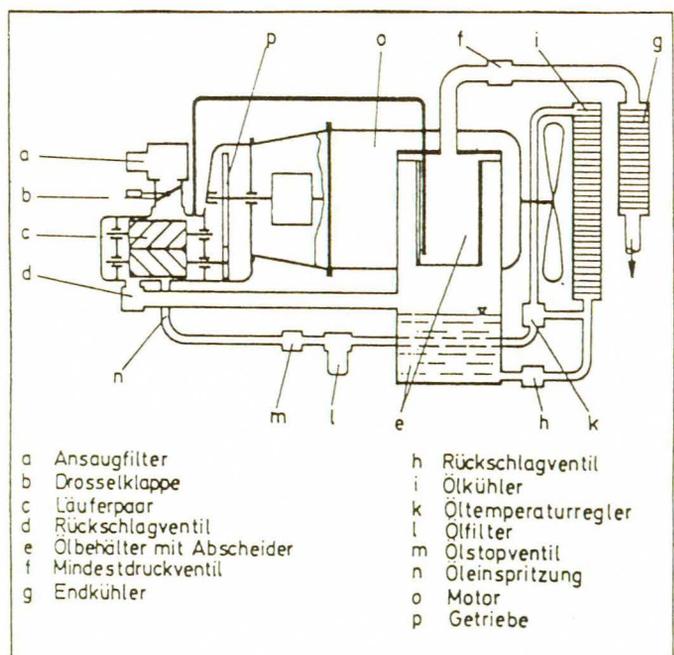
Für den wirtschaftlichen Einsatz der heutigen Schraubenverdichter sind mehrere Punkte entscheidend. Hierzu zählen als wichtigste Faktoren z.B. asymmetrische, optimierte Profile für den Haupt- und Nebenläufer, kleinste Spaltbreiten, um die Wirkungsgradverluste zu minimieren und last not least eine sichere Öleinspritzschmierung.

Im Gegensatz zu den ölfrei verdichtenden Schraubenverdichtern hat das Konstruktionselement "Öl" bei den einspritzgeschmierten Maschinen die Aufgabe, den größten Teil der entstehenden Verdichtungswärme in sich aufzunehmen. Zu diesem Zweck werden während des Verdichtungs Vorganges größere Ölmengen in den Verdichtungsraum eingespritzt. Weitere wichtige Punkte sind die Schmierung der Prof flanken und die Abdichtung der Spalte zwischen den Rotoren einerseits und den Rotoren und Gehäusewänden andererseits. Außerdem hat das Öl eine ganze Reihe anderer Aufgaben im Umlaufsystem zu erfüllen. Die physikalischen und technischen Eigenschaften der für die Öleinspritzschmierung vorgesehenen Produkte sind deshalb für den einwandfreien Langzeitbetrieb von großer Bedeutung.

Die Auswahl der geeignetsten Ölsorten erfolgt entsprechend den Angaben der Verdichterhersteller unter Berücksichtigung der Umwelt- und Betriebsbedingungen. Es zeigt sich hier, daß doch sehr unterschiedliche Merkmale in der Konstruktion und den Betriebsbedingungen bestehen, die im Laufe der Jahre zu unterschiedlichen Ölauswahlkriterien geführt haben.

Im Rahmen dieser Abhandlung sollen die wirtschaftlichen und technischen Bedingungen aufgezeigt werden, die sich bei Verwendung von mineralölbasischen und synthetischen Verdichterölen in Schraubenverdichtern ergeben.

Bild 1 zeigt das Funktionsschema eines öleinspritzgekühlten Schraubenverdichters. Die für die Lager- und Getriebeschmierung benötigte Ölmenge wird vom Hauptölstrom innerhalb des Verdichters abgezweigt.



Funktionsschema eines ölüberfluteten Schraubenkompressors.  
 Functional diagram of an oil-flooded screw-type compressor.

Bild 1

Grenzwerte der Verdichtungs- und Nachkühltemperaturen bei Luftverdichtern mit ölgeschmierten Druckräumen nach § 9				
Verdichterart	installierte Motorleistung kW	Verdichtungs- enddruck (Überdruck) bar	Verdichtungs- endtemperatur °C	Temperatur am Nachkühleraustritt °C
einstufig	≤ 20	≤ 10	220	80
	> 20	> 10	200	80
	> 20	—	200	60
mehrstufig	≤ 20	> 10	160	80
	> 20	> 10	160	60
	> 20	≤ 10	180 <sup>1)</sup>	80
	> 20	≤ 10	180 <sup>1)</sup>	60
mehrstufig bei inter- mittierendem Betrieb (Kurzzeitbetrieb)	≤ 20	≤ 16	200	80
mehrstufige Ver- dichter für elektrische Schaltanlagen	—	—	200	80
Verdichter für Diesel- motor-Anläßflaschen	≤ 20	≤ 35	200	80
einstufige Verdichter von Schienen- oder Kraftfahrzeugen	—	—	220 (bei Fahrbetrieb)	150 (Eintrittstemperatur Sammelbehälter)
mehrstufige Verdichter von Schienen- oder Kraftfahrzeugen	—	—	200 (bei Fahrbetrieb)	150 (Eintrittstemperatur Sammelbehälter)
Luftverdichter zum Fördern brennbarer Stoffe (§ 9 Abs. 8)	—	—	100	—
Verdichter mit Öl- einspritzkühlung (§ 9 Abs. 9)	—	—	100	—

<sup>1)</sup> Unmittelbar hinter den Druckstutzen der Endstufe wird für eine Abkühlung der Druckluft auf 160 °C gesorgt.

Grenzwerte der Verdichtungs- und Nachkühltemperatur bei Verdichtern mit ölgeschmierten Druckräumen (nach UVV; VBG 16)  
 Limiting values for final compression temperature

Bild 2

### Behördliche Vorschriften

Um den Betrieb der Verdichter so sicher wie möglich zu gestalten, werden z.B. in der Unfallverhütungsvorschrift Abschn. 19, Verdichter, vom April 1979 (VBG 16), die von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie herausgegeben wurde, die "Grenzwerte der Verdichtungs- und Nachkühltemperaturen bei Verdichtern mit ölgeschmierten Druckräumen nach § 9" festgelegt. Siehe Bild 2!

Über die Schmierung wird in § 9 der UVV folgendes ausgesagt: "Luftverdichter mit ölgeschmierten Druckräumen müssen so beschaffen sein und betrieben werden, daß die im Anhang zu dieser Unfallverhütungsvorschrift angegebenen Verdichtungs-Endtemperaturen nicht überschritten werden. Einem Überschreiten der Verdichtungs-Endtemperaturen nach dem Anhang um nicht mehr als 5% der Angabe in °C kann die Berufsgenossenschaft im Einzelfall zustimmen".

Ein wesentlicher Vorteil hinsichtlich der Konstruktion und des Betriebes von öleinspritzgekühlten Schraubenverdichtern wird in der VBG 16, § 13, Abs. 3 aufgeführt: "Bei Verdichtern mit Öleinspritzkühlung sind Nachkühler nicht erforderlich, wenn die Temperatur des eingespritzten Öles und der Druckluft so niedrig gehalten werden kann, daß sich zündfähige Ölalterungsprodukte oder auch Ölkohle nicht bilden können und das Öl aus der verdichteten Luft wirksam abgeschieden werden kann. Als ungefährlich anzusehender Grenzwert für die Verdichtungs-Endtemperatur werden 100°C angesehen."

Praktisch liegen die Verdichtungs-Endtemperaturen bei allen auf dem deutschen Markt angebotenen öleinspritzgekühlten ein- und mehrstufigen Schraubenverdichtern zwischen 80 - 100°C.

Für den Dauerbetrieb stellen diese Endtemperaturen bei der intensiven Vermischung des Öles mit der zu verdichtenden Luft jedoch eine erhebliche thermische und oxidative Belastung dar.

Required Characteristics of Mineral-Oil Based Lubricants for Rotary Screw Air Compressors  
ISO DP 6521

Category	ISO-L-DAH						ISO-L-DAG						Test Method
Viscosity grades	15	22	32	46	68	100	15	22	32	46	68	100	ISO 3448
Kinematic viscosity: At 40°C (cSt ± 10%)	15	22	32	46	68	100	15	22	32	46	68	100	ISO 3104 (IP 71)
Viscosity index (min)	90						90						ISO 2909 (IP 226)
Pour point* (max °C)	-9						-9						ISO 3016 (IP 15)
Copper corrosion: 3 h at 100°C (max)	1b						1b						ISO 2160 (IP 154)
Rust-preventing characteristics	Rusting absent						Rusting absent						ISO/DP 7120A (IP 135A)
Emulsion characteristics† Temperature (°C)	54			82			54			82			ISO/DP 6614 (ASTM D1401)
Time to 3 ml emulsion (minutes, max)	30						30						
Foaming characteristics: Sequence I at 24°C	300						300						ISO/DP 6247 (IP 146)
Tendency, max (ml) Stability, max (ml)	nil						nil						
Oxidation stability: Evaporation loss (%wt) Increase in viscosity (%) Increase in acidity (%) Sludge (%wt)	To be decided						To be decided						To be established

Notes: \* When VG 15 or VG 22 oils are used in cold climates, pour points lower than -9°C are required.  
† Required only in those applications where condensation of atmospheric moisture is a problem. Where this does not apply, oils with dispersant additives, which tend to have poor water-separating properties, may be used satisfactorily.

Bild 3

International Standard

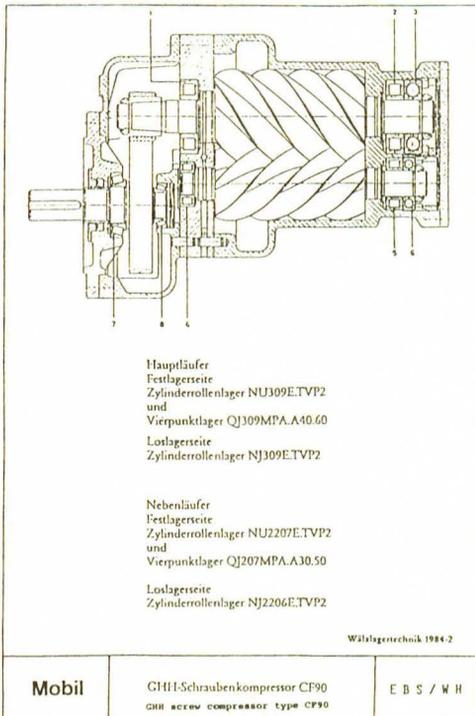


Bild 4

## N o r m u n g

Die in DIN 51 506 festgelegte Spezifikation der Mindestanforderungen an Kompressorenöle bezieht sich auf mineralölbasierte Produkte und ist hauptsächlich auf die Auswahl geeigneter Schmierstoffe für Kolben- und Rotationsverdichter (Vielzellenverdichter) zugeschnitten. Sie haben sich in den vergangenen Jahren für die Auswahl von Mineralölen für die Verdichterschmierung im großen und ganzen bewährt, jedoch gibt es Überlegungen die DIN 51 506 zu ergänzen und zu erweitern. Ansätze hierzu finden sich in den ISO-Normen, die z.Zt. aber noch im Entwurf vorliegen.

Bei der Erstellung der neuen ISO - Standards hat man neben mineralischen auch die synthetischen Verdichterschmierstoffe in die Überlegungen einbezogen. Bild 3 zeigt die vorgeschlagenen Spezifikationswerte für mineralölbasierte Schmierstoffe für die nach ISO DP 6521 vorgesehenen Kompressoren-Kategorien ISO - L - DAH und ISO - L - DAG. Für die Kompressorenkategorien DAC und/oder DAJ sind die Spezifikationen für synthetische Schmierstoffe in der unteren Tabelle aufgeführt. Weitere Hinweise über Kompressorenöle finden sich in den ISO 5388 - 1981 (E) "Stationary air compressors - Safety rules and code of practice".

## Anforderungen an Luftverdichteröle

Die wichtigsten Anforderungen, die an die Eigenschaften der Luftverdichteröle gestellt werden, sind in den folgenden Punkten kurz zusammengefaßt:

- o Ausgezeichnetes Schmierungsverhalten, auch bei der im Anfahr- und Abschaltbetrieb evtl. auftretenden Mischreibung, um Reibung und Verschleiß so gering wie möglich zu halten.
- o Sehr gute Oxydationsbeständigkeit, um Ablagerungen durch Rückstandsbildung aus Alterungsprodukten weitgehendst zu verhindern.
- o Vermeidung von Rostbildung im System bei Kondensatanfall, wenn der Taupunkt unterschritten werden sollte.

Bild 5	Turb. - Öl (Zn) LTD 32	Hydr.- Öl HLP 32	Turb. - Öl (Zn-frei) LTD 32	Verd. - Öl VDL 32	Diesel - Motorenöl HD- SAE 10	Diester ISO VG 32	PAO + Ester ISO VG 32
Viskosität mm <sup>2</sup> /s b. 40°C	29,6	31	32	28	33,6	28	28,3
Visk.-Index	113	106	116	108	110	131	135
Farbe n. ASTM-D-1500	L 1,0	L 1,5	farblos	1,0	L 5,0	2,0	3,5
Dichte b. 15°C g/cm <sup>3</sup>	0,867	0,876	0,857	0,856	0,879	0,905	0,858
Neutr.-Zahl mg KOH/g	0,17	0,84	0,04	0,17	TBN 4,9	0,1	TAN 0,4
Flammpunkt °C	214	215	225	213	222	246	230
Pourpoint °C	-20	-31	-9	-13	-34	-55	-57
LAV in min. DIN 51 376	2	3	2	3	10	1	2
Schaumtest Seq. I n. ASTM	10/0	90/0	20/0	10/0	5/0	0/0	40/0
Demulgierverm. ASTM-D-1401	15	10	15	20	praktisch kein demulg	15	30
Rosttest A DIN 51 585	0	0	0	0	0	0	0
FZG-A 8,3/90;Schad.-Kraft.St.	6	10	5	9	10	7	9
<b>Mobil</b>	<b>Tabellarische Kennwert-Aufstellung</b>					<b>E B S / W H</b>	
	Table of characteristic values						

- o Ein gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten, um eine nicht zu hohe Startviskosität zu haben und andererseits bei hohen Betriebstemperaturen die genügende Betriebsviskosität zu gewährleisten.

Für Schraubenverdichter mit Ölumlaufsystem, d.h. Ölein-spritzkühlung kommen noch folgende erforderliche Eigenschaften hinzu:

- o Gute Demulgierfähigkeit bzw. gutes Wasserabscheidervermögen von aus der Luftfeuchtigkeit kondensiertem Wasser
- o Geringe Schaumbildung, auch bei hohen Umwälzzahlen der Ölfüllung.
- o Relativ schnelles Luftabgabevermögen, damit die zu schmierenden Stellen mit einem luftblasenfreien Öl versorgt werden können.

Einen Überblick über die in einem Schraubenverdichter mit Öl zu versorgenden Schmierstellen gibt Bild 4.

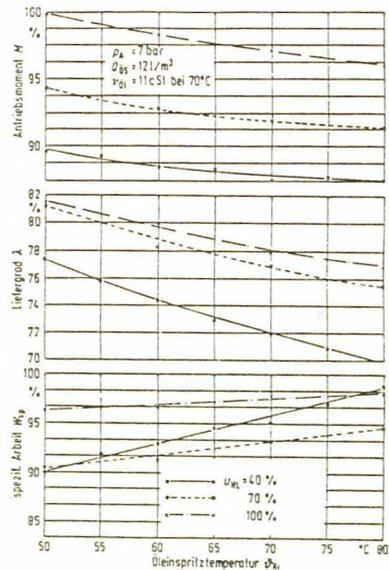
wie man sieht muß das Öl neben seiner Hauptaufgabe, d.h. der Abfuhr der bei der Kompression entstehenden Wärme noch alle im System befindlichen Wälzlager und die Getriebebestufe mit einem ausreichendem Schmierfilm versorgen.

#### Eigenschaften von Verdichterölen

Um den Anforderungen gerecht zu werden, die von den verschiedenen Stellen des Schraubenverdichtersystems während der Kompression der Luft an das zu verwendende Öl gestellt werden, wünscht man sich heute folgende Eigenschaften:

ausreichende Viskosität und einen hohen Viskositätsindex,  
guten Verschleißschutz/Lasttragevermögen,  
kontrolliertes Emulgier-/Demulgiervermögen,  
gutes Korrosionsschutzverhalten,  
Verträglichkeit mit Elastometern,  
hohe thermische und oxidative Stabilität.

Sehr viele dieser Eigenschaften werden von einer großen Reihe von hochwertigen Schmierstoffen erfüllt.



Antriebsmoment, Liefergrad und spezifische Verdichterarbeit in Abhängigkeit der Öleinspritztemperatur für verschiedene HL-Umfangsgeschwindigkeiten

Bild 6 Konstruktion 35 (1983) H. 4  
Influence of oil injection temperature

Mobil

Einfluß der Öleinspritztemperatur

E B S / W H

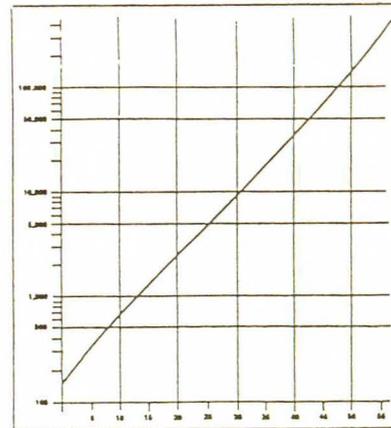


Bild 3 Viskositätsanstieg eines Turbinenöles der Qualität LTD mit der Viskositätsklasse ISO VG 32 bei steigenden Drücken. Ordinate: Viskosität (bei 38 °C); Abszisse: Druck in Tausend psi (1 psi = 0,0689 bar)

Bild 7

Mobil

Druckabhängigkeit der Viskosität

E B S / W H

Dependence of viscosity on pressure

Bedingt durch die unterschiedlichsten Einsatzgebiete und Betriebsbedingungen sind z.Zt. Industrieöle verschiedener Arten in Verwendung und von den Schraubenverdichterherstellern für den Einsatz freigegeben. Hierzu zählen z.B.:

Turbinenöle	nach DIN 51515	) überwiegend
Hydrauliköle	" DIN 51524, Teil 1 u. 2)	für stationäre
Verdichteröle	" DIN 51506	) re Verdichter

HD-Motorenöle nach MIL- bzw. DEF-Spez.) überwiegend für in wenigen Einzelfällen auch ATF-Öle ) fahrbare Ver-nach GM- bzw. Ford-Spezifikation ) dichter

Hinzugekommen sind in den letzten Jahren für den Langzeiteinsatz und besonders kritische Anwendungsfälle:

Dikarbonsäureester und synthetische Kohlenwasserstoffe (Poly- $\alpha$ -Olefine).

Typische Ausfallwerte für verschiedene handelsübliche Schmierstoffe sind in Bild 5 aufgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Viskositätsklasse ISO VG 32 nach DIN 51519 zugrundegelegt.

### Betriebsviskosität

1983 berichtete H. Mokolke in der Fachzeitschrift Konstruktion über den Einfluß der Öleinspritztemperatur auf die Leistungsdaten eines öleinspritzgekühlten Schraubenverdichters. Die bei den seinerzeit durchgeführten Versuchen gefundenen Werte der spezifischen Arbeit  $W_{sp}$ , des Liefergrades  $\lambda$  und des Antriebsmomentes  $M$  in Abhängigkeit von der Öleinspritztemperatur sind in Bild 6 dargestellt. Man erkennt deutlich, daß mit steigender Öleinspritztemperatur das benötigte Antriebsmoment abnimmt. Hieraus wird der sicherlich richtige Schluß gezogen, daß natürlich mit steigender Temperatur die Viskosität des verwendeten Öles abnimmt und damit auch die innere Reibung des Öles geringer wird. Dies könnte einer der Gründe für die Abnahme des Antriebsmomentes sein. Andererseits steigt die

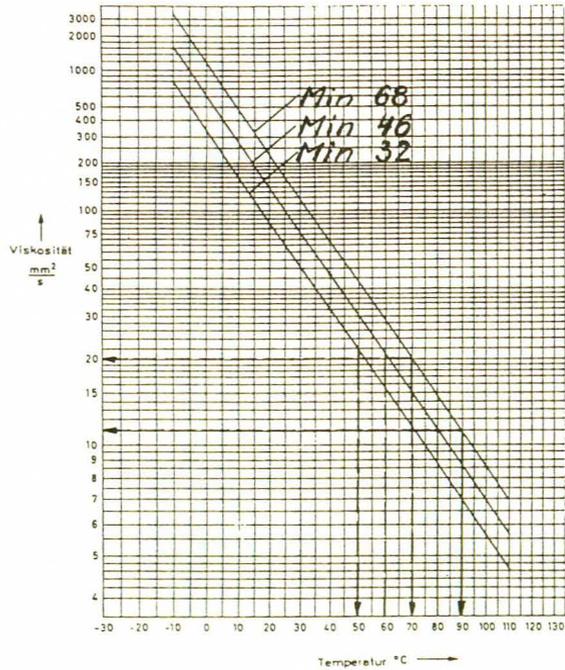


Bild 8

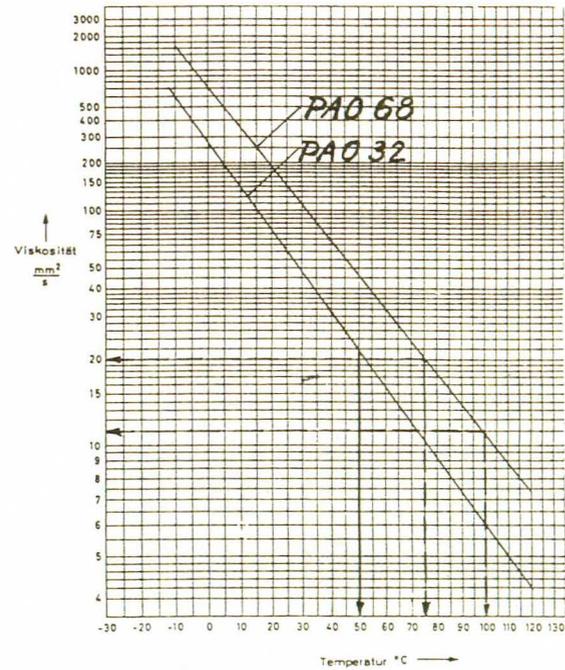


Bild 9

**Mobil**

**Viskositäts-Temperaturverhalten**

Dependence of viscosity on temperature

EBS / WH

Viskosität des Betriebsöles mit der Druckbelastung. Allerdings reicht der in den einstufigen Schraubenverdichtern im allgemeinen erzeugte Druck von 7 bis 10 bar nicht aus, um die Viskosität nennenswert zu erhöhen. Bild 7 zeigt die Veränderung der Viskosität eines Turbinenöles mit der Viskositätsklasse ISO VG 32 bei steigenden Drücken. Berücksichtigt man, daß das bei den Versuchen verwendete Öl bei 70°C eine Viskosität von 11 mm<sup>2</sup>/s hatte, was praktisch einem Öl der ISO VG 32 entspricht, so sollte im Hinblick auf die erwünschte lange Lebensdauer der in den Schraubenverdichtern eingebauten Wälzlager die Öleinspritztemperatur im täglichen Einsatz nicht wesentlich höher liegen. Dies basiert auf den Aussagen der Wälzlagerhersteller, die als Voraussetzung für eine ausreichende Schmierung bei der Betriebstemperatur eine Mindestviskosität von 10 bis 12 mm<sup>2</sup>/s wünschen. Will man diesen Mindestviskositätsbereich nicht unterschreiten, so muß dies durch Einsatz der nächst höheren ISO-VG-Klasse bei Steigerung der Öleinspritztemperatur um jeweils 10°C berücksichtigt werden. Siehe Bild 8! Es ergibt sich also folgende Zuordnung:

Öleinspritztemperaturen(max.) ISO VG - Klasse

bis 70° C	32
bis 80° C	46
bis 90° C	68

Verwendet man jedoch für die Schmierung der öleinspritzgekühlten Schraubenverdichter vollsynthetische Schmierstoffe, z.B. auf der Basis von synthetischen Kohlenwasserstoffen (Poly- $\alpha$ -Olefine), so kann man praktisch auf die ISO-VG-Klasse 46 verzichten. Siehe Bild 9! Die Zuordnung ist dann wie folgt:

Öleinspritztemperaturen(max.) ISO VG - Klasse

bis 75° C	32
bis 100° C	68

An dieser Stelle sei erwähnt, daß die meisten Schraubenverdichterhersteller als optimale Betriebsviskosität den

Bereich von etwa 20 bis 25 mm<sup>2</sup>/s ansehen.

Ein weiterer Vorteil ist, daß die im Handel befindlichen Syntheseöle, d.h. sowohl Poly- $\alpha$ -Olefine als auch Gemische aus PAO und Estern, im tiefen Temperaturbereich zu keinen Paraffinausscheidungen führen und daher ein Blockieren von Filtern und Rohrleitungen nicht zu erwarten ist, so daß diese Eigenschaften zur Betriebssicherheit im niedrigen Temperaturbereich beiträgt.

Betrachtet man die z.Zt. existierenden Schmierstoffempfehlungen der Schraubenverdichterhersteller, so kann man bei den Angaben zwei Richtungen unterscheiden. Die eine Gruppe bezieht sich bei der Schmierstoffauswahl auch auf die bereits behandelten Öleinspritztemperaturen, während die andere Gruppe nach Umgebungstemperaturen differenziert. Beide Auswahlverfahren haben etwas für sich. Für das Wartungspersonal ist oft die Umgebungstemperatur, insbesondere bei fahrbaren Anlagen, von Bedeutung. Bei stationären Anlagen mit guter Ölkühlung sollte dagegen von einer genau einstellbaren Öleinspritztemperatur ausgegangen werden, da dies zu einer optimalen Erzeugung der Druckluft beiträgt. Beispiele über Auswahlangaben aus Bedienungsanleitungen sind in Bild 10 aufgeführt.

### Verschleißschutz

Eine der Hauptaufgaben des Öles in einem einspritzgekühlten Schraubenverdichter ist der Schutz der tragenden und kraftübertragenden Flächen an den Rotoren, Zahnrädern und Lagern durch einen ausreichend gebildeten Ölfilm.

Ein wesentlicher Punkt ist die gute Schmierung der Wälzlager des Haupt- und Nebenläufers, um einen einwandfreien Betrieb bei gleichbleibenden engen Spalten zu gewährleisten, damit möglichst keine größeren Wirkungsgradverluste auftreten. Im Gegensatz zu Gleitlagern zeigen die zur Lagerung der Läufer verwendeten Wälzlager bei den hohen Belastungen und Drehzahlen wesentlich geringere Reibungsverluste.

Lfd. Nr.	Öltyp	Umgebungs-temperaturen	ISO VG	Produkten- art
1	Mineralöl	konstant über 25°C	68	HLP
2	Mineralöl	zwischen -10 u. 25°C	32	HLF
3	Mineralöl	konstant unter 0°C	15	HLF
4	Synthetik	zwischen -15 u. 40°C (Ganzjahresöl)	32 oder 46	PAO

Lfd. Nr.	Öltyp	Öleinspritz-temperaturen	ISO VG	Produkten- art
1	Mineralöl	von ca. 50°C	32	HLP TDL HD
2	Mineralöl	von ca. 60°C	46	HLP TDL HD
3	Mineralöl	von ca. 70°C	68	HLP TDL HD
4	Synthetik	Bei erschwerten Betriebsbeding- ungen	32 46 68	PAO ester

Bild 10 Lubricant recommendations  
for screw compressors  
with oil injection cooling

**Mobil**

**Schmierstoffempfehlung  
für Schraubenverdichter  
mit Öleinspritzkühlung**

E B S / W H

TESTDAUER: 72 STUNDEN BEI 175°C IM TROCKENSCHRANK		
PRODUKTENART	MIN 32	SYN 32 (DIESTER)
ZUNAHME DER TAN, MG KOH/G	7,6	0,8
VISKOSITÄTSANSTIEG BEI 37,8°C; %	23,0	7,9
GEWICHTSVERLUST DER METALLE (MG/CM <sup>2</sup> )		
KUPFER	- 0,09	- 0,03
MAGNESIUM	- 0,05	- 0,01
EISEN	- 0,01	+ 0,01
ALUMINIUM	+ 0,01	0,00
SILBER	+ 0,01	- 0,01
VERDAMPFUNGSVERLUST, %	0,8	0,7
SCHLAMMBEURTEILUNG	LEICHT	SAUBER
OXIDATIONS-/KORROSIONSSTABILITÄT Oxidation/corrosion stability		

Bild 11

Die Lagerbelastungen ergeben sich aus den Gasdruckkräften, den Gewichtskräften, sowie den Zahnkräften vom Antriebsrad. Um eine lange Standzeit dieses wichtigen Konstruktionselementes zu gewährleisten, ist deshalb eine den Betriebsbedingungen gut angepaßte Schmierung von großer Bedeutung. Es hat sich herausgestellt, daß für die Anfahrphase keine zusätzliche Versorgung der Wälzlager über eine Vorschmierölpumpe erforderlich ist, sondern daß die beim Stillstand in den Außenringlaufbahnen verbleibenden Ölanteile ausreichen. Mit dem Einsetzen des Kompressionsvorganges stehen dann die erforderlichen Druckölmengen wieder zur Verfügung.

Ähnlich wie in hochtourigen Turbinengetrieben reicht im Normalfall bei den schnellaufenden Schraubenverdichtern ein Schmierstoff mit der Schadenskraftstufe 6 bis 8 im FZG-Normal-Test A 8,3/90 aus, wie dies bei modernen Turbinenölen der ISO VG 46 der Fall ist. Einige Schraubenverdichterhersteller bevorzugen aber Schmierstoffe, die im FZG-Normaltest A 8,3/90 die Schadenskraftstufen 10 oder 11 bis 12 erreichen, z.B. Hydrauliköle der Qualität HLP nach DIN 51524, Teil 2.

Für die Wälzlager als eines der wichtigsten Funktionselemente in einem öleinspritzgekühlten Schraubenverdichter dürfte aber die Nachrechnung der spezifischen Schmierfilmstärke bei der zu erwartenden höchsten Betriebstemperatur, d.h. Massentemperatur des Bauteiles, für den ausgewählten Schmierstoff sinnvoll und zweckmäßig sein.

Mit einer vereinfachten EHD-Rechenmethode, die auf den Grundlagen von Grubin und Cheng beruht, kann bei einem vorgegebenen  $\lambda$ -wert, relativ schnell der erforderliche Schmierstoff bestimmt werden.

#### Oxidationsstabilität

Die gewollte intensive Vermischung des eingespritzten Kühlöles mit der erzeugten Druckluft und die damit verbundene Wärmezufuhr der bei der Verdichtung der Luft

entstehenden Kompressionswärme, stellt auf Dauer eine sehr hohe Belastung des Schmieröles dar. Hinzu kommt, daß bei öleinspritzgekühlten Schraubenverdichtern während der Komprimierung einzelner im Öl eingeschlossener Luftblasen wesentlich höhere Temperaturen als 100°C auftreten können. Die so bedingte höhere Oxidationsgeschwindigkeit kann nur durch ein entsprechendes oxidationsstabiles Produkt stark reduziert werden.

Infolge des in den letzten Jahren verstärkt zu erkennenden Trends zu Kompakt-Bauarten und den damit verbundenen hohen Umwälzzahlen der durch die Konstruktion zu verzeichnenden kleineren Ölfüllungen, können insbesondere bei Anwesenheit von katalytisch wirkenden Metallen Ölalterungsprodukte entstehen, die wiederum zu Ablagerungen und Angriffen auf Metallen führen.

In Bild 11 wird die Oxidations-/Korrosionsstabilität eines Mineralöles der ISO VG 32 mit einem viskositätsgleichen synthetischen Produkt auf Di-Ester-Basis verglichen. Als Vergleichsparameter wurden folgende Testwerte gewählt:

1. Zunahme der TAN
2. Viskositätsanstieg
3. Gewichtsverlust der Metalle
4. Verdampfungsverlust
5. Schlammbeurteilung

Die Vorteile des synthetischen Schmieröles sind insbesondere in der äußerst geringen Zunahme der TAN und dem relativ leichten Viskositätsanstieg zu sehen.

Zur Überprüfung des Alterungsverhaltens in Form der Oxidationsstabilität sind im Laufe der Zeit weitere Tests entwickelt worden, die Hinweise auf das zu erwartende Praxisverhalten geben. Außerdem sind in der DIN 51506 einige Prüfmethode aufgeführt, die Aufschluß über die mögliche Rückstandsbildung von Kompressorenschmierstoffen geben. In Bild 12 werden Untersuchungsergebnisse eines Mineralöles der Qualität VDL den Werten eines synthetischen Kohlenwasserstoffes (PAO mit Ester-Komponente)

Prüfverfahren	Meß-Einheit	SHC/Ester-Gemisch	Mineralöl VDL 22
DIN 51 562 Viskosität des Frischöles	mm <sup>2</sup> /s bei 40 °C	28	28
DIN 51 562 Viskosität des 20 Vol-%- Destillations-Rückstandes	mm <sup>2</sup> /s bei 40 °C	47	62
ASTM D 2272 Rot, Bomb, 150 °C	Minuten	570	160
DIN 51352.2 POT, 200 °C, 24 h, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CCR	0,44	1,3
DTA, 220 °C, lnd.-Zeit	Minuten	138	4
DTA, 240 °C, lnd.-Zeit	Minuten	39	1

Bild 12 Aging stability

<b>Mobil</b>	Alterungsbeständigkeit	EBS / WH
--------------	------------------------	----------

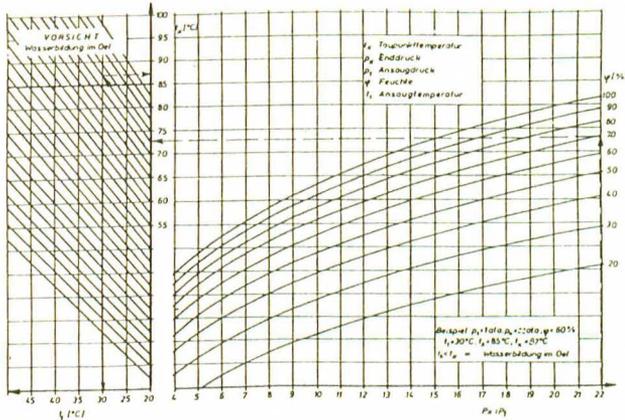


Bild 13

<b>Mobil</b>	Taupunkt - Diagramm Dew point diagram	EBS / WH
--------------	--	----------

gegenübergestellt. Auch hier zeigt sich die ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit des synthetischen Schmierstoffes. Das Verhalten verschiedenbasischer Schmierstoffe im Coalescer-Blocking-Tendency-Test, der besonders auf Ölalterungsprodukte anspricht, wird in einem weiteren Abschnitt beschrieben.

### Luftabscheidevermögen

Wenn die im Öl durch Verwirbelung eingeschlossenen Luftbläschen nicht schnell wieder abgeschieden werden, kann dies zu Problemen bei der Schmierung und Kühlung der Aggregate führen.

Bei Verdichter-, Turbinen- und Hydraulikölen auf Mineralölbasis in den Viskositätsklassen ISO VG 32 und 46 liegt das Luftabscheidevermögen, kurz LAV genannt, meistens bei oder unter 5 Minuten.

Synthetische Verdichterschmierstoffe auf PAO- oder Esterbasis bzw. Mischungen aus beiden Flüssigkeiten liegen mit ihrem LAV, gemessen nach DIN 51 381, noch günstiger, d.h. unter 3 Minuten. Mit allen vorgenannten Schmierstoffsorten sind jedoch im allgemeinen keine Probleme im praktischen Einsatz zu erwarten.

Dieselmotorenöle, die auch bei mobilen Schraubenverdichtern im Einsatz sind, haben wegen ihrer anderen Additivierung zwar von Haus aus ein recht gutes schaumdämmendes Verhalten, das Luftabscheidevermögen ist allerdings mit etwa 9 bis 10 Minuten nicht so befriedigend.

### Kontrolliertes Emulgier-/Demulgiervermögen

Infolge der gewollten intensiven Vermischung der zu komprimierenden Luft mit dem zu Schmierzwecken eingespritzten Öl, kann es in Abhängigkeit von den Betriebs- und Umweltbedingungen im Laufe der Zeit auch zu einer gewissen Anreicherung des Öles mit Schwitz- bzw. Kondenswasser kommen. Dies insbesondere wenn intermit-

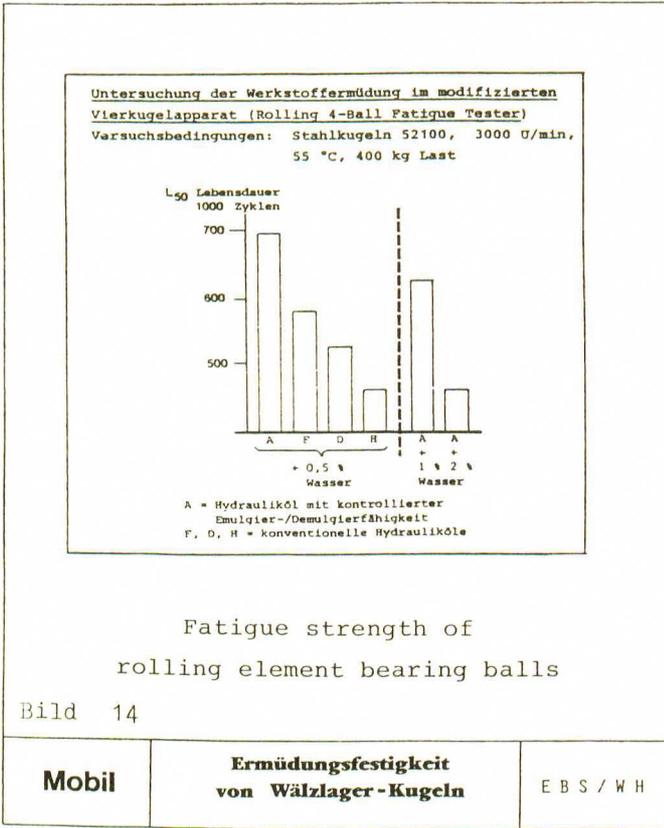
tierender Betrieb vorliegt und der Schraubenverdichter überwiegend im kalten Bereich gefahren und dadurch der Taupunkt oft unterschritten wird. Motorenöle können in solchen Fällen zu Problemen führen, da sie das Kondenswasser stark einemulgieren und praktisch nicht wieder abscheiden. Die Füllmenge vergrößert sich hierdurch zwangsläufig in relativ kurzer Zeit und kann im Winterbetrieb durch Bildung von Eiskristallen zum Blockieren der Filter führen. Auch hier zeigt sich, wie wichtig eine hoch genug liegende Öleinspritztemperatur ist, um ein Unterschreiten des Taupunktes zu vermeiden.

In Bild 13 wird anhand eines Beispiels gezeigt, welche Öleinspritztemperatur bei einem 2-stufigen Schraubenverdichter bei bestimmten Umgebungsbedingungen im mitteleuropäischen Raum erforderlich ist, um eine Taupunktunterschreitung zu verhindern.

Um das System vor den Angriffen von Wasser zu schützen, ist ein guter Korrosionsschutz erforderlich. Bei den handelsüblichen untersuchten Ölen wird der Rosttest A nach DIN 51585 (Verhalten gegenüber Stahl) erfüllt.

Wenn es aber zu einem gewissen Einemulgieren von Kondenswasser im Öl gekommen sein sollte, ist das Verhalten im System genauer zu betrachten. In Ölumlaufsystemen scheidet sich eingedrungenes Wasser im allgemeinen bei höheren Betriebstemperaturen und bei ruhendem Öl schneller ab als bei tiefen Temperaturen und strömendem Öl. Eine niedrige Umwälzzahl, d.h. eine relativ lange Verweilzeit des Öles im Ölsammelbehälter begünstigt die Wasserabscheidung bei Verwendung entsprechender Schmierstoffe, z.B. Turbinenöle. Dies ist bei öleinspritzgeköhlten Schraubenverdichtern wegen des Einsatzes anderer Produkte meistens aber nicht der Fall.

Die Anwesenheit von freiem Wasser kann jedoch auf die Lebensdauer der im System enthaltenen Wälzlager einen sehr ungünstigen Einfluß ausüben. Versuche an der Universität von Leeds haben erbracht, daß bereits ein Wasseranteil von 0,5% die Lagerlebensdauer erheblich mindert.



VERGLEICH DES QUELLVERHALTENS MIT NBRI\*  
 (NACH DIN 53538, TEIL 1, ENTWURF)  
 168 STUNDEN; 100°C

PRODUKTENART	SCHMIERÖL VDL	SYNTH. KOH- LENWASSERST.	DIKARBON- SÄUREESTER
ISO VG - KLASSE	32	32	32
HARTEVERÄNDERUNG, IRHD	-2	-2	-9
VOLUMENÄNDERUNG, %	+7,2	+7,6	+20

\*STANDARD-REFERENZ-ELASTOMER

Bild 15      Seal compatibility

<b>Mobil</b>	<b>Dichtungs-Verträglichkeit</b>	E B S / W H
--------------	----------------------------------	-------------

Prüfungen der Ermüdungslebensdauer zeigten, daß mit den "stabilisierten" Hydraulikölen, d.h. Produkten mit kontrollierter Emulgier-/Demulgierfähigkeit, wesentlich bessere Ergebnisse als mit herkömmlichen Hydraulikölen erzielt werden.

Unter kontrolliertes Emulgier-/Demulgierfähigkeit versteht man bei den stabilisierten Hydraulikölen, daß diese etwa 2% Schwitz- bzw. Kondenswasser einemulgieren können. Wassermengen, die über 2% liegen, werden in Stillstandszeiten jedoch wieder abgeschieden und können dann am tiefsten Punkt des Sammelbehälters abgelassen werden.

In Bild 14 werden die Testergebnisse verschiedener Hydrauliköle, die in einem modifizierten Vierkugelapparat (Rolling-4-Ball Fatigue Tester) ermittelt wurden, gegenübergestellt. In diesem Test werden 1000 Zyklen als  $L_{50}$  Lebensdauer nur von einem wasserfreien Hydrauliköl erreicht. Man sieht, daß bei Anwesenheit von Schwitz- bzw. Kondenswasser die Ermüdungslebensdauer der Wälzlagerkugeln stark abnimmt. Das bedeutend bessere Verhalten der neuen "stabilisierten" Produkte (A) im Vergleich zu konventionellen Hydraulikölen (F, D, H) bei Zugabe von 0,5% Wasser wird klar sichtbar.

Auch bei Erhöhung des Wasseranteiles auf 1% ergeben sich bei Öl A noch bessere Lebensdauerwerte, als bei den Ölen F, D und H mit 0,5% Wasserzusatz. Erst bei einem Wassergehalt von 2% verringert sich die Ermüdungslebensdauer für Öl A stärker und ist mit dem Wert für Öl H bei 0,5% Wasseranteil vergleichbar.

#### Verträglichkeit mit Elastomeren

Mit den handelsüblichen synthetischen Verdichterölen wurden eine Vielzahl von Untersuchungen über die Dichtungsverträglichkeit durchgeführt. Im einzelnen können folgende Hinweise gegeben werden:

Di - Ester

Aufgrund vorliegender Erfahrungen verträglich mit

Dichtungswerkstoffen aus Fluorkautschuk, Fluorsilikonkautschuk, Polytetrafluoräthylen (PTFE) sowie bedingt verträglich mit Acrylnitril-Butandien-Kautschuk (Perbunan) mit einem Acrylnitril-Gehalt über 36%.

#### Synthetische Kohlenwasserstoffe

Schmierstoffe auf Basis synthetischer Kohlenwasserstoffe verhalten sich gegenüber Dichtungsmaterialien ähnlich wie Mineralöle. Sie sind verträglich mit Acrylnitril-Butandien-Kautschuk (Perbunan) sowie mit Fluorkautschuk, Fluorsilikon-Kautschuk und Polytetrafluoräthylen (PTFE).

#### Standard-Referenz-Elastomer

Der nach DIN 53538, Teil 1 (Entwurf) durchzuführende Test gibt Hinweise über die Härte und Volumenänderung von NBR 1 unter Prüfbedingungen. Siehe Bild 15.

Der Vergleich zeigt, daß ein Verdichteröl der Qualität VDI und ein synthetischer Kohlenwasserstoff praktisch die gleichen Ergebnisse bringen, während das Standard-Referenz-Elastomer von einem Di-Ester stärker beeinflusst wird.

#### Thermische Stabilität/Entflammbarkeit/Brandrisiko

Brände und Explosionen (Verpuffungen) in Verdichtern und dem nachgeschalteten Rohrleitungssystem können auftreten, wenn die richtige Mischung aus einem Brennstoff und Luftsauerstoff, sowie eine Zündquelle bzw. die notwendige Zündtemperatur (ähnlich wie beim Diesel) vorhanden ist. Der Brennstoff kann hierbei aus fein vernebelten bzw. verdampften Schmierölen, Oxidationsprodukten oder gasförmigen Zersetzungsprodukten bestehen. In den USA wurden deshalb mit Hilfe des Isotenskops die Zersetzungstemperaturen von synthetischen Di-Esterölen im Vergleich zu Mineralölen gemessen. Außerdem wurden die Flammpunkte und Selbstentzündungstemperaturen einer Reihe von Produkten bestimmt.

Aus der folgenden Übersicht ersieht man, daß die Di-Ester

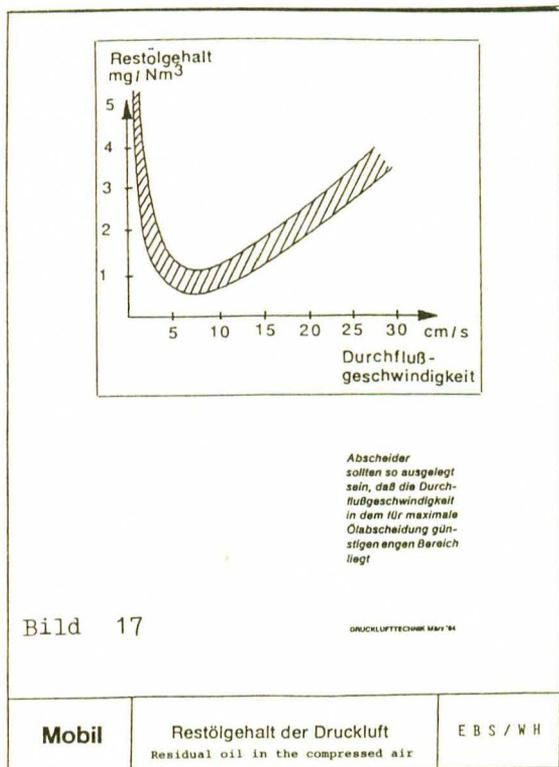
Produktenart	Flammpunkt °C	Zersetzungs- temperatur °C	Selbstentzündungs- temperatur °C
Mineralöl ISO VG 32	215	230	315
Mineralöl ISO VG 68	252	250	330
-----			
Diester ISO VG 32	245	340	405
Diester ISO VG 68	252	350	410
-----			
Poly - $\alpha$ - Olefin ISO VG 32	240	Brennpkt. 274	354
Pentaeryth.Ester ISO VG 68	285	324	463

Bild 16 Flash point, decomposition temperature and autoignition temperature of different products

**Mobil**

Temperaturverhalten

E B S / W H



**Mobil**

Restölgehalt der Druckluft  
Residual oil in the compressed air

E B S / W H

eine größere thermische Stabilität sowie höhere Zünd- und Flammpunkte als Mineralöl aufweisen, während Poly- $\alpha$ -Olefine etwa zwischen Mineralölen und Estern liegen.

Siehe Bild 16.

#### Restölgehalt der Druckluft

Es sei noch erwähnt, daß der Restölgehalt der Druckluft weit mehr durch die Konstruktion und Art der Ölabscheider bzw. Ölfilter beeinflusst wird, als durch die Produkarten des Schmieröles, z.B. Hydraulik-, Turbinen- oder Motorenöl. Bild 18 zeigt die Filteranordnung in einer Schraubenkompressorenanlage zur Erzeugung von steriler Druckluft. Die Trennung des Öl-Luft-Gemisches erfolgt mechanisch bis zu 98% im Druckluftkessel/Ölbehälter, wobei das Gemisch meistens tangential eingeleitet wird. Der Rest wird über Feinstabscheider und Filter aus der Druckluft abgeschieden, wobei die Strömungsgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle spielt. In Bild 17 wird dargestellt, wie stark der Abscheidegrad von der Strömungsgeschwindigkeit der Druckluft beeinflusst wird.

#### Coalescer-Blocking-Tendency-Test

Der Verdampfungsverlust der verschiedenen in öleinspritzgekühlten Schraubenverdichtern eingesetzten Ölsorten kann meistens außer Betracht gelassen werden, da dieser bei Verdichtungsendtemperaturen bis 100°C und Drücken, die beizweistufiger Ausführung 20 bis 25 bar nicht überschreiten äußerst gering ist.

Die Vernebelbarkeit der Schmierstoffe und die Fähigkeit zur Bildung von Aerosolen ist allerdings für die in der komprimierten Luft enthaltenen Ölmenge von großer Bedeutung. Bekannt ist das gute Schwebevermögen von Öltröpfchen im Bereich von  $< 5 \mu\text{m}$  im Luftstrom.

In vielen Anwendungsfällen wird heute jedoch eine weitgehendst ölfreie Druckluft verlangt. Man widmet deshalb

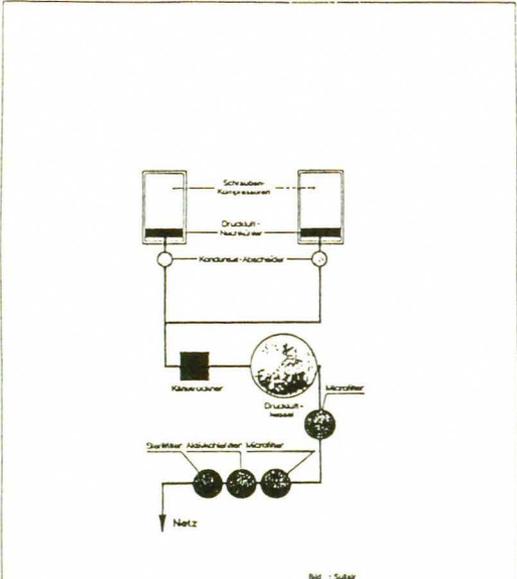
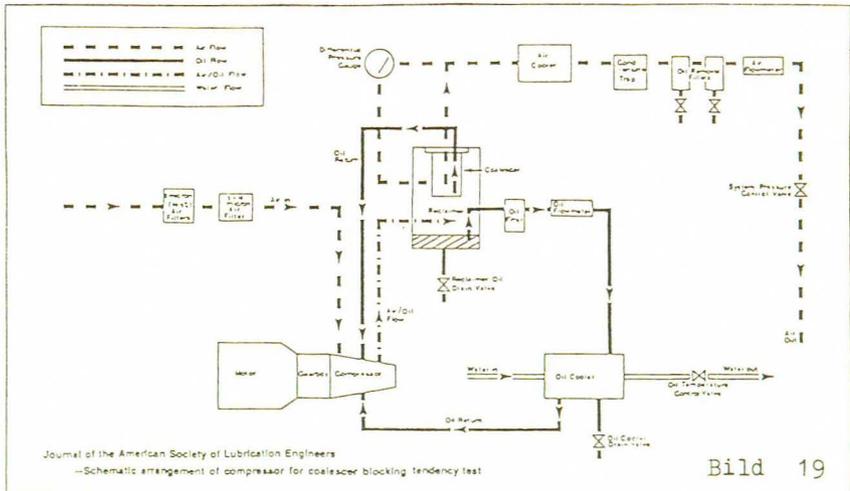


Bild 18

Mobil	Schraubenkompressoren für sterile Druckluft	EBS / WH
-------	---	----------



Mobil	DEVELOPMENT OF A COALESCEER BLOCKING TENDENCY TEST	EBS / WH
	CBT TEST	

der Ölabscheidung aus der Druckluft ein besonderes Augenmerk. Die Ölabscheider arbeiten z.Zt. meistens nach dem zwei oder drei Stufenprinzip, wobei die letzte Stufe aus einem sogenannten Koalescer-Filter besteht. Das lateinische Wort "coalescere", d.h. zusammenwachsen, verschmelzen, beschreibt am besten die Wirkungsweise dieses Filterabscheiders. D.h. kleinere Öltröpfchen verbinden sich mit anderen zu größeren und können dann besser ausgeschieden werden.

Im Laufe der Zeit wurden immer intensiver wirkende Koalescer-Filter mit kleineren Filtereinheiten eingebaut, was zu einer verbesserten Ölabscheidung und damit zu geringeren Ölverlusten führte, d.h. die Ölnachfüllrate ist ständig zurückgegangen. Das Verdichteröl wird also im Kreislauf immer länger der thermischen und oxidativen Belastung ausgesetzt, wobei die Ölalterung durch katalytisch wirkende Metalle, z.B. Eisen und Kupfer beschleunigt wird. Durch die hierdurch geförderte Bildung von Alterungs- und Zersetzungsprodukten im Öl, wird die Möglichkeit zur Blockade der Koalescerfilter erhöht. Feinere Filter setzen sich durch Ölalterungsprodukte selbstverständlich schneller zu. Diese Tendenz wird außerdem durch die geringere Nachfüllrate verstärkt, da es praktisch zu keiner Auffrischung der Ölfüllung durch Nachfüllmengen kommt. Dies hat dazu geführt, daß früher bei größeren Filtern bestimmte Öle eine Standzeit von 2000 Bh erreichten, während heute bereits nach 1000 Std. eine Blockade möglich ist. Der Wartungsaufwand durch Wechseln des Abscheiders und des Verdichteröles belasten den Betrieb mit höheren Kosten. Es ist der Wunsch vieler Kompressorenbetreiber, die heute üblichen Ölwechselintervalle, die je nach Bauart und Baugröße der öleinspritzgekühlten Schraubenverdichter bei 1000 bis 2000 Bh liegen, möglichst auf 4000 Betr.-Std. auszudehnen. Dies ist aber bei der beobachteten verkürzten Lebensdauer von Mineralölen und Abscheidefiltern nicht zu realisieren.

Air delivery pressure	Minimum	70 psi	( 5 bar)
	Normal	100 psi	( 7 bar)
	Maximum	150 psi	(10 bar)
Free air delivery	42 liters/s (93 cubic feet/min)		
Oil capacity (nominal)	Unit	40 liter	(10.6 US Gallons)
	Reclaimer	32 liter	( 8.5 US Gallons)
Compressor	Single stage, oil injected, asymmetric screw		
Motor	22 kW (30 hp)		
Cooling	Compressor	— Air/Oil Cooled	
	Air Cooler	— Thermostatically controlled updraft fan.	
Filters	Inlet Air	5–10 micron paper cartridge	
	Oil	15 micron paper cartridge	
	Coalescer	1–2 micron	

Bild 20

<b>Mobil</b>	Details of the Compressor Used for the Coalescer Blocking Tendency Test	E B S / W H
--------------	--	-------------

	MINERAL OIL BASED Iso 46	POLYALPHA OLEFIN Iso 46	ESTER BASED Iso 46
Flash Point (°C) COC ASTM D92	227	224	280
Pour Point (°C) ASTM D97	-27	< -40	< -40
DIN 51352 (Pt. 2) % Evaporation Loss	17.6	4.2	6.3
Oxidation Test % Carbon Residue	3.0	0.21	0.02
Air Release ASTM D3427	352 s	60 s	30 s
Demulsibility ASTM D1401	40/40/0 (25 min)	40/40/0 (15 min)	40/40/0 (5 min)
Foam Tendency ASTM	20/40/40	40/10/20	Tr/Tr/Nil
Foam Stability D892	Nil	Nil	Nil
Rust ASTM D665A	No Rust	No Rust	Severe Rust
Copper Corrosion 100°C/3 hours ASTM D130	lb	lb	lb
Antiwear FZG IP334	Pass L/S 6	Pass L/S 12	Pass L/S 6
4-Ball Wear ASTM D2783	0.62 mm	0.30 mm	0.99 mm
Seal Compatibility % Swell	-4	-2	+30
(medium nitrile) % Hardness	+10	+7	-22
Paint Compatibility	Good	Good	Attacked
Filter Bowl Compatibility	Good	Good	Attacked
Coalescer Blocking Tendency (Hours to blocking)	90, 118	480	160

Bild 21

COMPARISON OF COMMERCIAL COMPRESSOR FLUIDS

In den nachfolgenden Ausführungen soll deshalb auf die Bedeutung von synthetischen Grundflüssigkeiten in Verbindung mit besonders ausgewählten Additiven im Hinblick auf verlängerte Öl- und Filterwechselintervalle eingegangen werden. Bekanntlich bestimmt nicht nur der Anteil an Abrieb- und Verschmutzungsstoffen, sondern auch die Menge an Alterungsprodukten im Öl die Gebrauchsdauer der Füllung und des Koalescers.

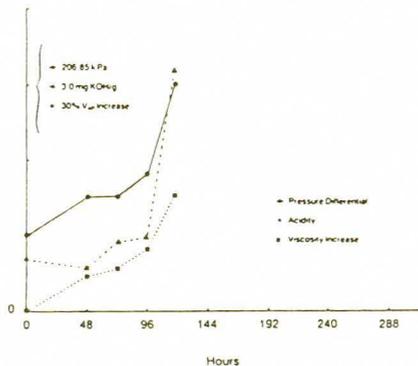
Die Tendenz eines Gebrauchtöles, das vorhandene Abscheidefilter zu blockieren, kann durch Labormethoden nicht eindeutig bestimmt werden. In England wurde deshalb unter Mitwirkung von Schraubenverdichterherstellern ein Filter-Blockade-Test entwickelt, der die Praxisverhältnisse in einem normalen Verdichter sehr gut widerspiegelt. Siehe Bilder 19 u. 20.

Um im späteren Betrieb mit Sicherheit eine Koalescer-Blockade zu vermeiden, sollte die im Test ermittelte Laufzeit von dem Aggregate-Hersteller entsprechend verkürzt werden, um auch schwierigen Betriebsbedingungen gerecht zu werden.

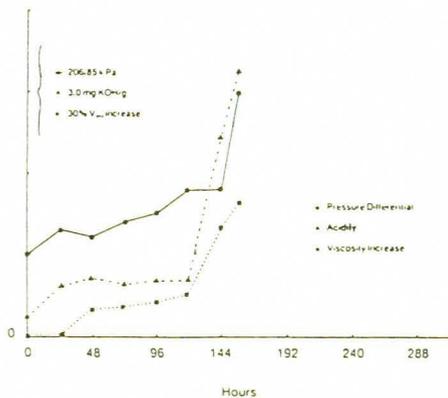
Zu den Tests wurden mehrere Mineralöle und auf dem Markt befindliche Syntheseöle auf PAO- und Ester-Basis herangezogen. In dem Bild 21 werden die in Labortests ermittelten physikalischen Daten und Eigenschaften von Verdichterölen der Viskositätsklasse ISO VG 46 auf Mineralöl, PAO- und Esterbasis gegenübergestellt. Man erkennt deutlich die Vorteile des auf PAO-Basis aufgebauten Verdichteröles.

Während die mit den Mineralölen bewirkte Blockade des Coalescer-Filters wohl eindeutig auf Ölalterungsprodukte zurückgeführt werden kann, ist die Filterblockade durch den Diester wohl mehr auf abgelöste Partikel zurückzuführen, die durch den Angriff des Diesters auf den Farb-anstrich und die Klebestellen der Filterpatrone im Fluid enthalten waren.

Als Bewertungskriterien für den Koalescer-Blockade-Test

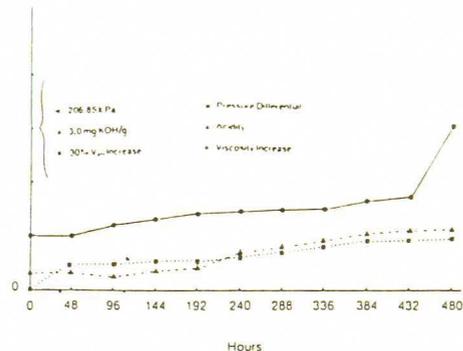


Coalescer blocking tendency test results for Fluid A (repeat run).

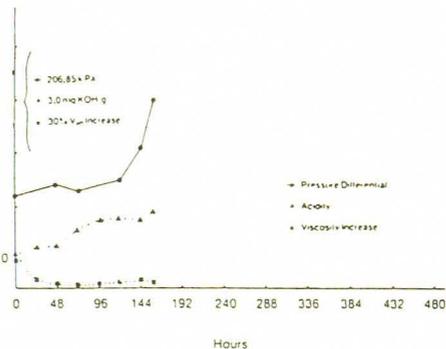


Coalescer blocking tendency test results for Fluid D

Bild 22



Coalescer blocking tendency test results for commercial poly-alphaolefin-based compressor fluid



Coalescer blocking tendency test results for commercial ester-based fluid

Bild 23

wurden folgende Werte zugrundegelegt:

1. Druckdifferenz am Koalescerfilter = 206,85 k Pa
2. Anstieg der Neutralisationszahl auf max. = 3 mg KOH/g
3. Anstieg der Viskosität auf max. = 30%

Bild 22 zeigt den typischen Verlauf von 2 Mineralölen.

Bild 23 zeigt die Ergebnisse von einem Poly- $\alpha$ -Olefin und einem handelsüblichen Diester-Schmierstoff.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die im CBT-Test gemessenen Werte eine gute Korrelation zu den im Praxisbetrieb ermittelten Daten zeigen.

### Praxisbewährung

Wie schon ausgeführt, ist eine der wichtigsten Eigenschaften der Verdichteröle eine hohe Oxidationsfestigkeit, um eine lange Lebensdauer der Ölfüllungen zu gewährleisten. Dies bezieht sich sowohl auf die Füllungen von 1-stufigen, als auch 2- u. 3-stufigen Schraubenverdichtern.

Bei den Ölen, die diese Eigenschaften nicht in ausreichendem Maß besitzen, können sich recht schnell öllösliche Oxidationsprodukte und Rückstände bilden. Durch Laboranalysen sind die sauren Anteile relativ leicht über den Anstieg der Neutralisationszahl (NZ) bzw. der Total Acid Number (TAN) nachzuweisen. Die Säuren, die sich durch Öloxidation und Alterung gebildet haben, können aber zu Rostbildung im System und Angriffen auf Lagermetalle, Ölleitungen und Kühlern führen.

Neben der Verschmutzung des Öles während der Betriebszeit und evtl. vorhandenes Schwitz- bzw. Kondenswasser, ist letztendlich der Anstieg und die Höhe der Neutralisationszahl bzw. der Total Acid Number ein entscheidendes Kriterium für die Ölwechselfrist. Wegen ihrer ausgezeichneten Oxidationsstabilität sind jedoch synthetische Schmierstoffe hervorragend für die Schmierung von Verdichtern geeignet.

Beispiel

Hersteller: Demag - Spiros  
 Typ: S Z 350 WES  
 Verdichtung: einstufig  
 Bauart: öleinspritzgekühlt  
 Schmierstoff: Poly -  $\alpha$  -Olefine

Betriebsergebnisse

Proben- entnahme	Betr.- Std.	TAN mg KOH/g	Viskosität mm <sup>2</sup> /g bei 40°C	Toluol- Unl.- Gew.- %
27.4.81	2260	0,90	28,76	0,008
31.8.81	4600	0,83	29,74	0,008
14.12.81	6600	0,87	27,99	0,010
29.3.82	8500	0,98	30,94	0,020
2.8.82	11000	1,17	30,35	0,060

Bild 24      Screw compressor operating experience

<b>Mobil</b>	<b>Schraubenverdichter Betriebs Erfahrungen</b>	E B S / W H
--------------	---	-------------

	PAO	Mineralöl
Füllmenge (l)	225	225
Nachfüllmenge (l)	57	95
Mineralölwechsel (9x)		2025
PAO-Wechsel (0x)	0	
Ölverbrauch, gesamt (l)	282	2345
Öl-Kosten (DM/l)	16,-	4,-
Gesamt-Schmierstoff- kosten (DM)	4512,-	9380,-
Anzahl der ausgewechsel- ten Filterpatronen	2	9
Kosten der Filterpatr. (DM)	90,-	90,-
Gesamt-Filter-Kosten (DM)	180,-	810,-
Arbeitskosten f. Filter- u. Ölwechsel (DM)	120,-	540,-
Gesamt-Kosten (DM)	4812,-	10730,-

<b>Mobil</b>	<b>Wirtschaftlichkeit von Luftverdichterölen</b>	E B S / W H
--------------	--	-------------

Bild 25

Economics of air compressor oils

Die in Laboruntersuchungen gefundenen guten Werte wurden inzwischen durch viele Praxisergebnisse bestätigt. Nachstehend wird dies anhand des folgenden Beispieles dargestellt. Siehe auch Bild 24.

### Beispiel

Hersteller:	Ingersoll Rand
Typ:	SSR 2000
Verdichtung:	einstufig
Enddruck:	7 bar
Fördervolumen:	15 m <sup>3</sup> /min.
Motorleistung:	96 KW
Schmierstoff:	Poly- $\alpha$ -Olefine/Ester-Gemisch
Endtemperatur:	110°C max.
Erreichte Betr.-Std.:	8000

### Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Aus einer großen Anzahl von Testergebnissen, die durch eine Vielzahl von Praxiswerten untermauert worden sind, läßt sich zusammenfassend sagen, daß synthetische Verdichteröle im Vergleich zu mineralölbasischen Schmierstoffen eine Reihe von gravierenden Vorteilen bieten:

- o hohe Oxidationsstabilität
- o geringe Rückstandsbildung
- o relativ geringe Verdampfungsneigung
- o hohe thermische Beständigkeit
- o hohe Selbstentzündungstemperatur

Am besten kommen diese guten Eigenschaften dort zum Tragen, wo die Verdichter einer guten Kontrolle und Wartung unterliegen. Dies ist meistens bei stationären Anlagen der Fall.

Aufgrund der in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen sind eine Reihe von Verdichterherstellern dazu übergegangen in den Wartungsanleitungen eine wesentlich längere Ölwechselfrist zuzulassen, z.B. von 1000 BH bei

Mineralöl auf 4000 Bh bei Verwendung bestimmter synthetischer Schmierstoffe. Daraus resultiert natürlich ein geringerer Wartungsaufwand. Bei einem in den USA laufenden Schraubenverdichter, bei dem der Ölwechsel durch Einsatz eines Poly- $\alpha$ -Olefines auf 10000 Bh ausgedehnt werden konnte, ergab sich im Vergleich zum vorher verwendeten Mineralöl die in Bild 25 dargestellte Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Dies entspricht einer Kostenersparnis von ca. 55% bei Einsatz eines synthetischen Kohlenwasserstoffes (PAO) gegenüber einem konventionellen Mineralöl.

### Zukünftige Trends

Mit den heute auf dem Markt befindlichen Schmierstoffen für öleinspritzgekühlte Schraubenverdichter werden praktisch alle Anforderungen der verschiedenen Arten von Maschinentypen und Anwendungsfälle überdeckt.

Die Praxiserfahrung hat jedoch gezeigt, daß sich durch Verwendung von synthetischen Verdichterschmierstoffen folgende Vorteile für den Verdichterbetrieb ergeben:

- o Die Zuverlässigkeit, d.h. die Verfügbarkeit der Verdichter wird erhöht durch störungsfreien Betrieb und lange Lebensdauer der Ölfüllung.
- o Die Betriebssicherheit wird verbessert durch weitgehende Vermeidung von Brand- und Explosionsrisiken durch äußerst geringe Rückstandsbildung.
- o Höhere wirtschaftlichkeit durch geringere Ausfallkosten und verringerte Wartungs- u. Schmierstoffkosten.

Sicherlich werden die bisher gesammelten guten Erfahrungen dazu beitragen, daß sich der Einsatz von synthetischen Verdichterschmierstoffen in der Industrie noch stärker durchsetzt. Dies auch vor allem vor dem Hintergrund, daß die Betriebe bestrebt sind ihre Wartungsintervalle zu verlängern und die Reparatur- und Instandhaltungskosten drastisch zu senken.

Literaturverzeichnis

- Arbocus, G.; Weber, H.: Synthetic Compressor Lubricants-  
State of the Art.  
Lubrication Engineering, 1978, Volume 34, 7, 372 - 374.
- Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie:  
Unfallverhütungsvorschrift, Abschnitt 19, Verdichter.  
VGB 16, April 1979.
- Heine, W.: Schmierstoffe für Luftverdichter.  
Pneumatic Digest, 1982, Heft 7 - 8.
- Schmid, W.A.; Daniel, G.: Synthetische Schmierstoffe  
für Luftverdichter.  
Mineralöltechnik, 1982, Heft 10.
- Baumann, H.; Pfennig, F.: Enge Spalte auf Dauer einge-  
halten - zum Beispiel Schraubenkompressoren.  
Wälzlagertechnik 1984 - 2.
- Jayne, G.J.J.; Jones, A.P.: Progress in Development.  
Industrial Lubrication and Tribology, 1984, May/June, 90-98
- Short, G.D.: Development of Synthetic Lubricants for  
Extended Life in Rotary-Screw Compressors.  
Lubrication Engineering, 1984, Volume 40, 8, 463 - 470.
- Heine, W.: Synthetische Verdichteröle zur Verringerung  
von Wartungs- und Schmierungskosten.  
techno-tip, 16. Jahrgang, Heft 5/1986
- Mills, A.J.; Brand, K.G.: Kompressorenöle, Vergleich von  
Produkten auf synthetischer und mineralischer Basis.  
Technische Tagung Hohenheim, 1987.