

Erfahrungen mit Schmierölen für einspritzgekühlte Schraubenkompressoren zur Verdichtung von Luft

Dipl.-Ing. M. Herrmann, Hamburg

Zusammenfassung

15 Jahre Betriebserfahrungen mit Verdichterölen für Schraubenverdichter mit Öleinspritzkühlung führten zu den heutigen Spezialölen für diesen Einsatz.

Umweltschutzgründe erforderten weitere Änderungen technisch bereits bewährter Öle.

Die Ölentwicklung wird damit nicht abgeschlossen sein, denn der technische Fortschritt und die kommende europäische Gesetzgebung erfordern weitere Arbeiten.

1 Einleitung

Druckluft ist für viele technische Anwendungsgebiete ein ebenso bedeutender Energieträger wie Strom, Wasser oder Dampf.

Die ununterbrochene Erzeugung "reiner" Druckluft ist für viele Verbraucher von großer Bedeutung. Daher ist es wichtig, daß die eingesetzten Verdichter während der Wartungsintervalle problemlos arbeiten.

Eine wichtige Rolle spielt dabei das eingesetzte Verdichteröl, dessen Aufgaben in der Maschine hier nur kurz aufgeführt werden sollen:

- Kühlung der verdichteten Luft
- Lagerschmierung
- Abdichtung der Arbeitsraumspalte
- Korrosionsschutz
- Geräuschminderung
- Vermeidung von Rückstandsbildung.

2 Erste Schritte zu den heutigen Spezial-Verdichterölen

Etwa in den siebziger Jahren begann der Schraubenverdichter sich durchzusetzen. Aufgrund ständig verbesserter Fertigungstechnologien und damit verbundener erhöhter Wirtschaftlichkeit im Betrieb ersetzte er in vielen Bereichen andere Verdichterbauarten großer und mittlerer Volumenstrombereiche, in erster Linie den Kolbenverdichter.

Als Verdichteröle wurden Hydrauliköle vom Typ HL/HLP (nach DIN 51 524 T.1/T.2), meist ISO VG 32 als geeignet angesehen. Der Grund hierfür war, daß sich die Anforderungen an ein Verdichteröl weitestgehend mit den Eigenschaften von Hydraulikölen deckten.

- gutes Alterungsverhalten
- geringe Schaumneigung
- gutes Demulgierverhalten.

Die Erfahrungen der ersten Jahre zeigten jedoch, daß die Hydrauliköle den spezifischen Belastungen in einem Schraubenverdichter mit Öleinspritzkühlung in zu vielen Fällen nicht gewachsen waren:

- oxidative Beanspruchung durch sehr innige Verwirbelung mit dem Sauerstoff der Luft, dadurch große Reaktionsflächen
- thermische Belastung durch nicht zu erfassende "Blitztemperaturen"
- katalytischer Einfluß auf die Alterungsgeschwindigkeit durch das durch Luftfeuchtigkeit anfallende Wasser.

In Labor-Tests konnte nachgewiesen werden, daß sich die Alterungsgeschwindigkeit bei einem meßbaren Wassergehalt ($> 0,1\%$) etwa um den Faktor 5 bis 7 erhöht.

- Beschleunigung der Alterung durch Metallabrieb und Staub.

Durch diese Belastungen entstehen korrosive Säuren und Rückstände. Die Alterungsprodukte ließen nicht nur die Ölabscheidepatronen nach teilweise nur wenigen hundert Betriebsstunden zuwachsen (Filter-Blocking), sondern es bildeten sich auch schlamm-, gummi- oder lackartige Ablagerungen im Verdichter und teilweise auch in nachgeschalteten Anlagen.

Diese Rückstände führten zu Maschinenausfällen und außerplanmäßigen Wartungsarbeiten. Darüber hinaus ereigneten sich in dieser Zeit eine Reihe von Verpuffungen und Bränden, deren Ursache oft dem jeweils eingesetzten Öl angelastet wurde.

Ein Beispiel für die Auswirkungen von Ablagerungen und Verklebungen zeigt Bild 1. Hier wird, verursacht durch ein verklebtes und somit funktionsuntüchtiges Rückschlagventil, das Verdichteröl in die Atmosphäre geblasen.



Bild 1: Öl wird über die Saugseite in die Atmosphäre geblasen.

Es gab auch andere Ursachen, die zu Verpuffungen und Bränden führten. Anhand von Bild 2 und 3 ist der Nachweis gelungen, daß der Klebstoff eines Ölabscheideelements die Ursache für die Schadensfälle war.

Bei hoher Verdichtungsendtemperatur fand eine Selbstentzündung des Klebstoffes statt.

Nachdem der Filterhersteller auf eine andere Klebersorte umgestellt hatte, gab es Ausfälle dieser Art nicht mehr.

Zusammenfassend muß gesagt werden, daß der Einsatz von Hydraulikölen in Schraubenverdichtern sehr häufig zu Betriebsstörungen und Ausfällen führte. Ursache dafür waren:

- ungenügende Ölstandszeiten
- Bildung von Rückständen
- Verpuffungen und Brände.



Bild 2:
Verbrannte Klebenaht
einer Ölabscheidepatrone



Bild 3:
Ausgebranntes
Filterelement

Außer Hydraulikölen wurden auch Turbinenöle aufgrund ihrer Eigenschaften als Verdichteröle eingesetzt.

Die besonderen Merkmale dieser Öle sind:

- hohe Alterungsbeständigkeit und damit hohe Standzeiten beim Einsatz in Turbinen (> 250.000 Füllstunden)
- sehr gutes Wasserabschidevermögen (WAV)
- ausgezeichnetes Schaumverhalten
- sehr gutes Luftabgabevermögen (LAV).

Durch Taupunktunterschreitung können in einigen Verdichtern gewisse Mengen an Wasser anfallen. Diese Wasseranteile bewirken nicht nur, wie bereits erwähnt, eine beschleunigte Alterung des Öles, sondern können auch zu vorzeitigen Lagerausfällen durch Ermüdungsbrüche führen. Darüber hinaus besteht bei wasserlöslichen Additiven die Gefahr des Auswaschens und somit des Verlustes der gewünschten Eigenschaften.

Das eingesetzte Öl sollte also in der Lage sein, dieses Wasser wieder abzugeben, damit es aus dem Ölkreislauf entfernt werden kann.

Doch auch beim Einsatz von Turbinenölen in Schraubenverdichtern gab es in der Praxis häufig viele schlechte Resultate, begleitet von unbefriedigenden Standzeiten, die durch zu schnelle Alterung der eingesetzten Öle hervorgerufen wurden.

Die Alterungsprodukte bewirkten die gleichen Erscheinungen wie bereits bei den Hydraulikölen beschrieben.

Bild 4 zeigt die zähen Rückstände eines Turbinenöles in einem Schraubenverdichter.

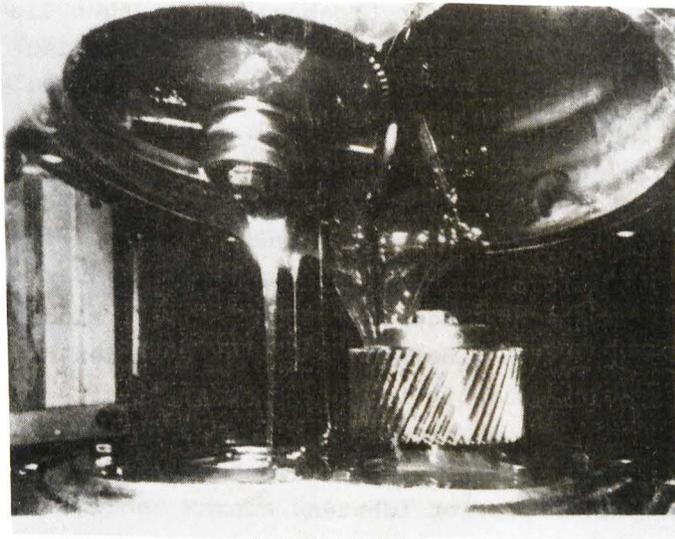


Bild 4: Rückstände im Schraubenverdichter

Alterung des Öles zeigte sich an den teilweise dramatisch veränderten physikalischen Werten des Öles:

- Anstieg der Viskosität um ein Vielfaches durch polymerisierte Alterungsprodukte
- Anstieg der Neutralisationszahl
- starke Beeinträchtigung des Demulgiervermögens
- negative Beeinflussung des Schaumverhaltens.

Auffallend war, daß diese starken Beeinflussungen der Öle überwiegend dort zu beobachten war, wo die Betriebs- und Umgebungsbedingungen von "normalen Verhältnissen" abwichen:

- Intervallbetrieb
- Taupunktunterschreitung
- erhöhtes Temperaturniveau
- Kühler mit Kupferrohren (Cu als Alterungskatalysator!).

Zusätzlich beeinträchtigen die Umgebungsbedingungen die Lebensdauer des Öles, wenn die Ansaugluft belastet ist mit:

- sauren und/oder korrosiven Gasen, z.B. SO_2
- Dämpfen von Lacken, Lösungsmitteln, etc.
- Abgasen (vor allem bei mobilen Anlagen)
- staubförmigen Verunreinigungen.

Die Auswirkungen chemisch aggressiver Ansaugluft sind auf Bild 5 zu sehen. In einem Chemiebetrieb führten saure Gase in der Ansaugluft in Verbindung mit Luftfeuchtigkeit bzw. Kondenswasser im Verdichter zu Säuren, die durch das Öl nicht neutralisiert werden konnten und zu starker Korrosion führten.

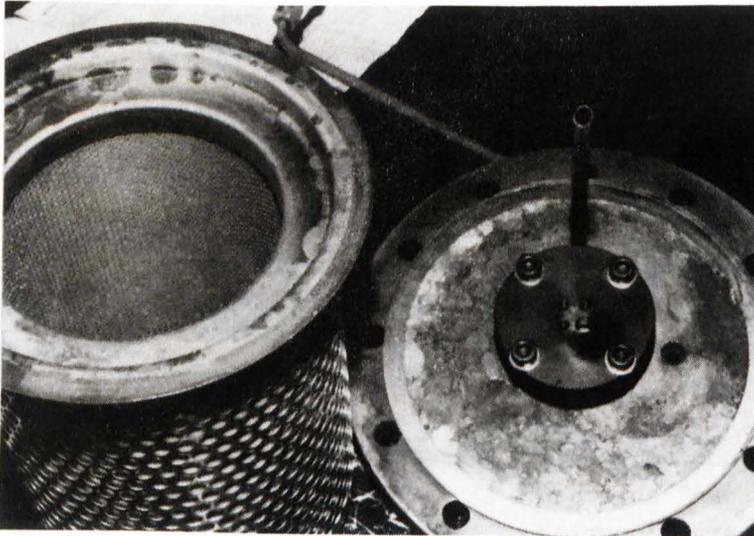


Bild 5: Korrodierte Filterteile

Die aufgeführten Luftbelastungen können auch für heutige Schraubenverdichteröle problematisch sein, wenn die Einflüsse durch das Öl nicht abgepuffert werden können.

Schon damals sollten synthetische Produkte auf Esterbasis die Lösung solcher Problemfälle sein, doch war der Einsatz eines solchen Öles oft keine Verbesserung.

Als Beispiel sei ein Fall aufgeführt:

Verunreinigung der Ansaugluft durch Nitrat, Sulfat und Chlorid sowie sehr hohe Luftfeuchtigkeit führten zur Aufspaltung des Esters unter Bildung kristalliner Säuren. Die Folgen waren Belegung der Filterpatronen, Verstopfung der Ölbohrungen, totale Ablösung der Verzinnung der Kupferrohre im Kühler und teilweise Zerstörung der Rohre. Die gesamte Verdichteranlage mußte überholt werden.

Die häufige Unzufriedenheit mit den eingesetzten Produkten, aber auch neue technische Forderungen führten zu der Überlegung, Motorenöle einzusetzen.

Die Verdichterhersteller hatten Bedenken gegen diesen Öltyp, da sie befürchteten, emulgiertes Wasser ruft bei Frost Startschwierigkeiten hervor. Zudem neigen Motorenöle mehr zum Schäumen und das Luftabgabevermögen ist schlechter.

Versuche mit Motorenölen in Schraubenverdichtern zeigten teilweise auch schlechte Ergebnisse, oft im Hinblick auf das Schaumverhalten, obwohl dies auch ein Maschinenproblem sein kann (Druckentlastungsgeschwindigkeit bei Schnellabschaltung).

Durch weiter verbesserte Fertigungsmöglichkeiten konnte das Druckniveau innerhalb einer Verdichterstufe erhöht werden, was zu erhöhten Temperaturen bei der Verdichtung selbst und am Austritt führte.

Die Anforderungen hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit wurden damit noch höher. Man geht davon aus, daß bei einer Erhöhung der Öltemperatur um 10 K die Alterungsgeschwindigkeit verdoppelt wird.

Tabelle 1 zeigt Ergebnisse von 2 Testläufen bei unterschiedlichen Verdichtungsendtemperaturen (95°C/118°C), Umgebungstemperatur ca. 40°C.

Testtemperatur	-	<--	95°C	-->	<--	118°C			-->
Laufzeit (h)	0	200	500	1000	200	400	600	800	1000
Visk./40°C (mm ² /s)	43.9	44.3	44.8	45.6	46.3	47.4	48.7	49.4	50.5
Visk./100°C (mm ² /s)	6.78	6.73	6.77	6.85	6.92	7.04	7.10	7.23	7.31
Basenzahl (mgKOH/g)	7.7	7.5	7.4	7.4	7.4	7.4	7.2	6.9	6.8
Farbe (ASTM)	I4.0	5.0	6.0	8.0	7.5	8.0	> 8.0	> 8.0	> 8.0
Aussehen	blank								
Abrieb: Fe (ppm)	-	6	5	4	8	10	7	7	14
Cu (ppm)	-	2	2	2	< 2	< 2	< 2	< 2	2

Tab. 1: Testläufe Verdichteröl

Beim höheren Temperaturniveau (118°C) sind folgende Veränderungen zu beobachten:

- kontinuierliche Zunahme der Viskositäten durch polymerisierte Alterungsprodukte
- Abnahme der Basenzahl über die Laufzeit
- schnellere Zunahme der Farbzahl
- erhöhte Abriebwerte, wahrscheinlich durch die niedrigere Betriebsviskosität verursacht.

3 Entwicklung von Spezial-Verdichterölen

All diese Beobachtungen und Erfahrungen führten zu der Forderung, ein speziell im Hinblick auf die Anforderungen von Schraubenverdichtern mit Öleinspritzkühlung abgestimmtes Öl zu entwickeln. Im Vergleich zu Hydraulik- und Turbinenölen sollte dieses Produkt folgende Eigenschaften besitzen, die man in den bisher eingesetzten Ölen zu Teil vermißte:

- hohe thermische und oxidative Beständigkeit
- gutes Dispergier- und Lösevermögen für Alterungsprodukte und Fremdstoffe, somit Verhütung von Ablagerungen und Verlackungen in der Maschine, Verlängerung der Filterstandzeiten
- Fähigkeit, saure Produkte abzapuffern
- geringe Schaumneigung
- gutes Luftabscheidevermögen
- Verschleißschutz
- Korrosionsschutz.

Diese Konzeption konnte sich für erste Versuchsläufe gerade bei Anwendern, die zuvor große Probleme mit Hydraulik- oder Turbinenölen hatten, durchsetzen. Durch regelmäßige Öluntersuchungen begleitet, konnten bisherige Ölwechselintervalle, die durch Ölalterung und/oder blockierte Filter bestimmt wurden, auf ein Vielfaches ausgedehnt werden.

Von Verpuffungen und Bränden hörte man nur sehr selten.

Das Öl bewährte sich in den ISO VG 46 und 68 viele Jahre hervorragend als Spezialverdichteröl und gab kaum Anlaß zu Beanstandungen. In kontrollierten Versuchen wurden weit über 7.000 Betriebsstunden erreicht.

Bild 6 zeigt das unterschiedliche Aussehen zweier Filterpatronen nach jeweils 2.000 Betriebsstunden. Die linke Patrone, fast frei von Ablagerungen und Rückständen, stammt aus einem mit einem Spezialschraubenverdichteröl betriebenen Verdichter. Die rechte Patrone, mit Alterungsprodukten überzogen und mit hohem Δp , stammt aus einem mit Hydrauliköl betriebenen Verdichter.



Bild 6:
Filterpatronen
nach jeweils
2000 Betriebs-
stunden mit
Spezialver-
dichteröl
(links) und
Hydrauliköl
(rechts)

Bild 7 und 8 zeigen Ölabscheidepatronen nach jeweils 6.000 Betriebsstunden in 40-facher Vergrößerung.



Bild 7: Filterelement aus dem Betrieb mit einem nicht dispergierenden Öl (Hydrauliköl), Δp 1,4 bar



Bild 8: Filterelement aus dem Betrieb mit einem dispergierenden Öl (Spezialverdichteröl), Δp 0,2 bar

4 Neue Anforderungen

Durch das in den achtziger Jahren gestiegene Umweltbewußtsein entstand eine weitere Forderung: Verbessertes Demulgiervermögen bei gleichbleibender Leistungsfähigkeit. Das in Verdichtern nachgeschalteten Kältetrocknern anfallende ölhaltige Kondensat konnte nicht (mehr) sorglos in die Kanalisation abgelassen werden. Umweltschutzaufgaben (Wasserhaushaltsgesetz) limitierten den Ölgehalt auf 10 bzw. 20 mg/l Wasser. Die in den seltensten Fällen mit einfachen Mitteln zu trennende Emulsion mußte, mit hohen Kosten verbunden, entsorgt werden.

Nun warf sich ein Widerspruch auf. Die Forderung nach gutem Schmutztragevermögen, das bedeutet Umhüllen von Fremdstoffen und Binden von Wasser, stand auf der einen Seite, schnelles Abgeben (Demulgieren) von Wasser auf der anderen. Völlig neue Formulationen mußten entwickelt und geprüft werden, um diese beiden konträren Eigenschaften zu vereinen und dies nicht aus technischen sondern aus Gründen des Umweltschutzes.

Durch die in Abschnitt 2 erwähnten, dem Öl schädlichen Umgebungsbedingungen kann sich das Demulgiervermögen während der Betriebszeit verändern.

Hier nun auf ein Turbinenöl wegen des sehr guten Demulgiervermögens (im Frischölzustand) zurückzugreifen, wäre sicherlich nicht der richtige Weg. Das Turbinenöl altert im Schraubenverdichter schneller und verliert somit sehr viel schneller sein gutes Demulgiervermögen, verbunden mit der Gefahr von Ablagerungen durch Alterungsprodukte.

Ich möchte an dieser Stelle betonen, daß Hydraulik- und Turbinenöle für Verdichter mit Öleinspritzkühlung nicht generell ungeeignet sind, denn es gibt sicherlich viele Anlagen, die seit Jahren problemlos mit diesen Ölen betrieben werden. Doch haben die zum Teil schlechten Erfahrungen den Entwicklungsweg zum heutigen Stand gewiesen.

5 Ausblick

Die Entwicklung der Schraubenverdichter geht weiter. Eine Norm für diese Öle scheint noch nicht in Sicht. Die Leistungsfähigkeit dieser Öle scheint durch übliche Labormethoden noch nicht ausreichend geprüft werden zu können. Um so mehr müssen diese Öle ihre Eignung in der Praxis beweisen. Ich möchte hier betonen, daß die immer wieder gern zitierte DIN 51 506 für Verdichter mit Öleinspritzkühlung keine Gültigkeit hat und keine Aussage über das Leistungsvermögen der Öle im Schraubenverdichter gibt.

Bisher ungeklärte Phänomene im Zusammenspiel Betriebsbedingungen - Umweltbedingungen - Verdichter - Verdichteröl müssen weiter erforscht werden. Neue Anforderungen an das Öl müssen bewältigt werden:

- weitere Erhöhung der Betriebstemperaturen - wird der Grenzwert auf 110°C angehoben?

(Stichwort: Harmonisierung 1993)

Dies erfordert eine noch größere Alterungsstabilität der Öle, die durch Grundöle mit optimalem Raffinationsgrad (Abb. 1) und ausgewogener Additivierung erreicht werden können.

Raffinationsgrad von Grundölen

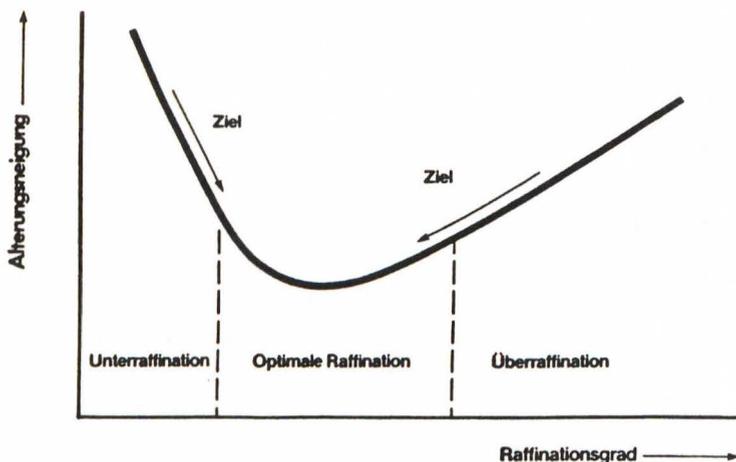


Abb. 1: Raffinationsgrad von Grundölen

- Erhöhung der Viskosität bei Betriebstemperatur bei gleichzeitiger Erhaltung eines sicheren Anlaufes bei tiefen Temperaturen erfordern Öle mit Mehrbereichscharakter.

Dieser kann nur von scherstabilen Ölen erreicht werden, die auf besonderen Grundölen mit geringer Viskositäts-Temperaturabhängigkeit basieren (Abb. 2).

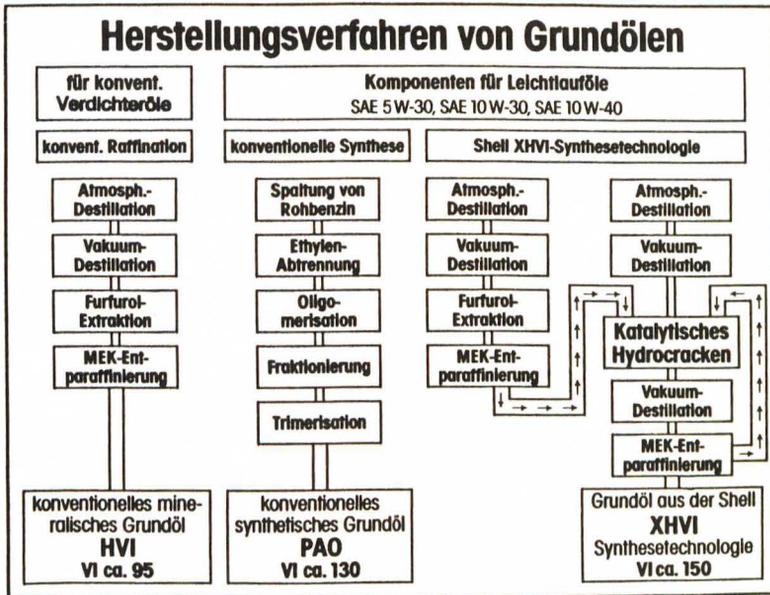


Abb. 2: Herstellungsverfahren von Grundölen

Ein Verdichteröl mit Mehrbereichscharakter könnte die vorwiegend eingesetzten Viskositäten 46 und 68 überdecken (Abb. 3).

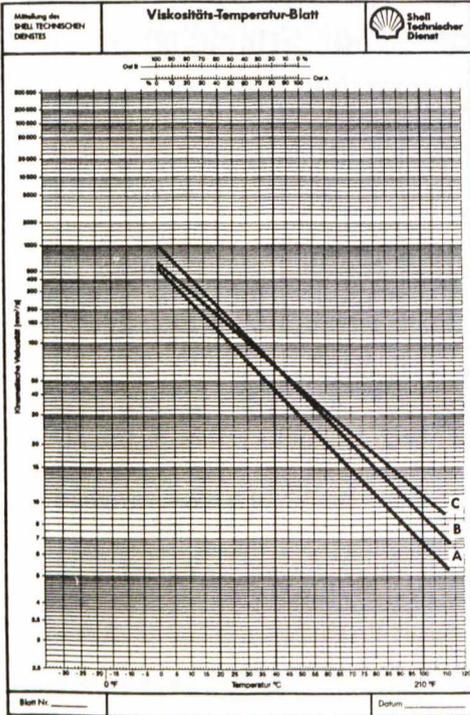


Abb. 3:
Viskositäts-Tempera-
tur-Abhängigkeit im
Vergleich

- A: Verdichteröl
ISO VG 46
- B: Verdichteröl
ISO VG 68
- C: Verdichteröl mit
Mehrbereichs-
charakter

Für die Optimierung der Verdichteröle sind Verdichter-
hersteller, Betreiber und Öllieferanten auf eine
weiterhin intensive und "fruchtbare" Zusammenarbeit
angewiesen.