



Jacques Souyolodyis,
Marketing Manager in der
Firma Danfoss-Maneurop,
Trevoux.



Philippe Duchêne,
Produkt-Manager in der
Firma Danfoss-Maneurop,
Trevoux.

Ölausgleichssysteme bei Verbundanlagen mit Scroll-Verdichtern größerer Leistung*

Jacques Souyolodyis und Phillippe Duchêne, Trevoux (F)

Die hermetische Verdichtertechnologie verfügt über Merkmale, die sie bei zahlreichen Klima- und Kälteanwendungen zur ersten Wahl machen. Für Kälteleistungen bis ca. 30 kW war die Verwendung von hermetischen Verdichtern bis vor kurzem jedoch begrenzt. Der wachsende Bedarf an vollhermetischen Verdichtern für größere Leistungen hat zu der Entwicklung von Verbundsystemen mit Maneurop Performer®-Scroll-Technologie geführt. Dieser Artikel behandelt sowohl die spezifischen Systemanforderungen als auch die Konstruktionskonzepte, welche umgesetzt wurden, um die Systemanforderungen zu erfüllen. Ferner wird das Ölrückführ- und Ölausgleichssystem der Maneurop Performer®-Scroll bei Einheiten mit zwei, drei und vier parallelen Verdichtern (TANDEM, TRIO und QUADRO) vorgestellt.

Warum Verbundschaltungen mit hermetischen Verdichtern?

Vor allem für Seriengerätehersteller war die Verwendung von hermetischen Verdichtern aufgrund ihrer relativ kleinen Leistungsgröße eingeschränkt. Deren Nachfrage nach Verdichtern mit

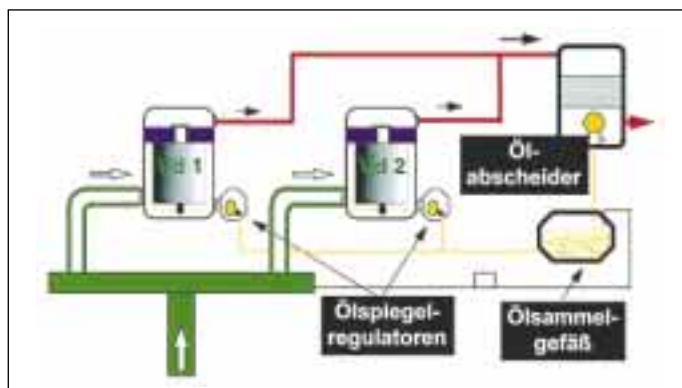
Kälteleistung von mehr als 50 kW führte zu der Entwicklung von Einheiten mit parallelgeschalteten Verdichtern.

Obwohl es eine Vielzahl von Gründen für die Verbundschaltung von Verdichtern gibt, bezieht sich dieser Aufsatz auf die zwei wichtigsten Faktoren, nämlich der Teillasteffizienz und Standardisierung von Verdichtern.

Durch die Parallelschaltung und das Zu- und Abschalten einzelner Verdichter ist im Vergleich zur Leistungsregulierung von Mehrzylinder-Verdichtern die Teillasteffizienz deutlich höher. Bei Verbundschaltungen arbeitet jeder einzelne Verdichter mit 100 % Belastung. Daher ist die Teillasteffizienz annähernd so groß wie bei Vollastbetrieb. Konventionelle Methoden der Verdichterleistungsregelung bringen eine deutliche geringere Effizienz bei Teillastbetrieb mit sich.

Der zweite genannte Faktor, die Standardisierung von Verdichtern, kann einfach anhand des aktuellen TANDEM-Programms von Maneurop erläutert werden. Ursprünglich wurde die Nachfrage nach 10, 15, 20, 25 und 30 PS-Verdichtern durch 5 Einzelverdichter abgedeckt. Durch die Parallelschaltung wird dieser Bereich heute durch 2 Grundverdichter und TANDEM-Kombinationen abgedeckt. Hierdurch

Abb. 1 Mechanische Ölausgleichssysteme.



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

reduziert sich die erforderliche Anzahl von Einzelverdichtern von 5 auf 2.

Anforderung an die Konstruktion

Während der Entwicklung ergaben sich unterschiedliche Aspekte, die Untersuchungen und Testreihen erforderlich machten.

Gasfluß durch den Ölsumpf

Im Gegensatz zu Halbhermetik-Verdichtern durchströmt bei hermetischen Verdichtern das Sauggas den Ölsumpf. Daher ist es schwierig, bei der Parallelschaltung von Verdichtern den gleichen Druck in allen Ölsümpfen sicherzustellen. Man kann dies durch die Verwendung einer großen Druckausgleichsleitung erreichen. Bei dieser Anordnung und speziell bei Teillastbetrieb wird der stehende Verdichter ständig von kaltem Sauggas durchströmt, welches die übliche Sauggasführung umgeht und über die Druckausgleichsleitung in den laufenden Verdichter gelangt. Diese Konfiguration führt schließlich zu Kältemittelverlagerung ins Kältemaschinenöl und möglicherweise zur Ansammlung von flüssigem Kältemittel im Verdichter. Um diesen Sauggasbypass zu verhindern, haben sich Ölausgleichsleitungen mit geringen Querschnitt bewährt.

Ölausgleich

Der Ölausgleich stellt die Grundfunktion des Öltransports und -ausgleichs zwischen den Verdichtern sicher. Die konstruktive Ausführung und die Stelle an der die Ölausgleichsleitung angebracht wird, ist sorgfältig zu wählen, da es ansonsten im Verdichter zu Ölverlagerung, Ölüberfüllung oder Kältemittelverlagerung kommen kann, wie bereits zuvor beschrieben.

Flexible Verdichterabstufung

Die Reihenfolge des Zu- und Abschaltens sollte weitgehend flexibel sein, um möglichst gleiche Verdichterlaufzeiten zu erreichen. Im weiteren Verlauf des Aufsatzes wird die Funktionsweise bei Systemen mit 2 Verdichtern erläutert und warum bei Parallelschaltung von 3 oder 4 Verdichtern eine festgelegte Reihenfolge des Zu- und Abschaltens der Verdichter erforderlich ist.

Gestaltung der Rohrleitungsführung

Hier kann der Hersteller die ihm zur Verfügung stehenden Mittel in der Ent-

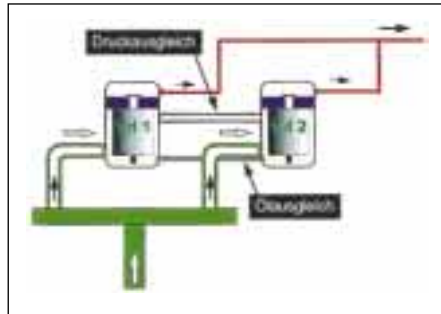


Abb. 2 Statisches Ölausgleichssystem.

wicklungs- und Testphase zum Nutzen des Anwenders einsetzen. Erst die Verwendung von werkseitig ausgelegten und getesteten Parallelsystemen stellen ruhiges Betriebsverhalten und eine hohe Zuverlässigkeit sicher und vermeiden Rohrleitungsvibrationen, Geräusche oder letztendlich Bruch von Rohrleitungen.

Einfluß des Taktens der Verdichter

Auch dieser Punkt ist Teil der Entwicklungsroutine bei Maneurop. Hierdurch soll sichergestellt werden, daß

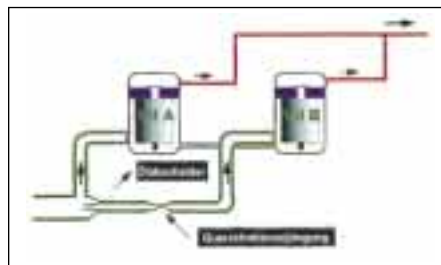


Abb. 3 Dynamisches Ölausgleichssystem.

die Ölausgleichssysteme und die Festigkeit der Verrohrung bei jeder Taktfrequenz einwandfrei sind und daß sie den Anforderungen entsprechen.

Wichtiger Hinweis: In keinem Fall darf die Schalthäufigkeit bei Performer®-Sroll-Verdichtern 12 Starts pro Stunde überschritten werden.

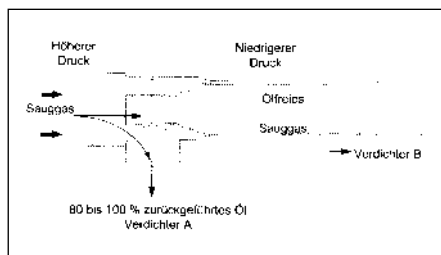


Abb. 4 Prinzip des Saugleitungsölabscheiders/Gasdüse.

Kompakte Ausführung und Servicefreundlichkeit

Die Montage- und Servicefreundlichkeit hat eine Menge damit zu tun, wie die Verdichter konstruiert sind und wie die Parallelverlegung der Rohrleitungen ausgeführt ist.

Anwendungsbereich/-grenzen

Anwendungsbereich und die freigegebenen Kältemittel sind ausgewählt worden, um die Anforderungen für die beabsichtigte Anwendung erfüllen zu können. Ein Aspekt fällt dennoch in die Verantwortung des Anlagenbauers oder Systemherstellers, die Ölrückführung im Kältemittelkreislauf. Unabhängig von der Ausführung des Verbundsystems ist eine gute Ölrückführung der Kälteanlage zwingend notwendig und letztendlich Erfolgsgarant.

Ölausgleichssysteme

Der wichtigste Aspekt bei der Parallelschaltung von Verdichtern ist die Realisierung des Ölausgleichs. Hierfür stehen verschiedene Systeme zur Verfügung.

● **Mechanische Systeme**

Ein Ölabscheider in der Druckleitung führt das Öl einem Ölsammelgefäß zu, von dem die Ölspiegelregulatoren an jedem Verdichter versorgt werden (Abb. 1).

Zwischen Ölsammelgefäß und der Niederdruckseite (gemeinsame Saugleitung) strömt über ein Konstantdruckventil eine geringe Kältemittel-Öl-Menge. Hierdurch wird verhindert, daß Öl unter zu großem Druck in die Verdichter gelangt, welches zu Aufschäumen führen würde.

Mechanische Systeme benötigen einen guten zuverlässigen Ölausgleich und sind vor allem geeignet für Systeme mit vielen parallelgeschalteten Verdichtern und mehreren Kühlstellen. Derartige Systeme benötigen jedoch eine große Anzahl aktiver Bauteile, von denen jedes das Risiko der Fehlfunktion trägt und einen nicht unbedeutlichen Preis hat. Darüber hinaus ist eine größere Ölfüllung erforderlich, was zu einer Steigerung der Gesamtkosten der Anlage beiträgt. Trotzdem sind derartige Ölausgleichssysteme weit verbreitet und erfolgreich im Einsatz.

● **Statische Systeme**

Hierbei handelt es sich um die einfachste und billigste Methode Verdichter parallel zu schalten (Abb. 2).

Die Ölsümpfe der Verdichter und das unter Saugdruck stehende Verdichtergehäuse werden miteinander verbunden. Eine Verbindungsleitung mit großem Querschnitt im oberen Bereich des Verdichtergehäuses angebracht, sorgt für einen Druckausgleich zwischen den Ölsümpfen. Eine Verbindungsleitung mit kleinerem Durchmesser im unteren Teil des Verdichtergehäuses (auf Höhe des Ölniveaus) stellt den Ölausgleich sicher. Darüber hinaus ist bei der Konstruktion des Saugsammelstückes auf gleichmäßige Ölverteilung zu achten, vor allem für den Fall, daß alle Verdichter in Betrieb sind.

Eine erfolgreiche Anwendung von statischen Ölausgleichssystemen hängt vor allem von der Rohrleitungsverlegung ab, da kleine Druckunterschiede bei den Ölsümpfen zu größeren Schwankungen des Ölspiegels führen können. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß Kältemittel im Ölsumpf kondensieren kann, wenn ein Verdichter steht. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, dieses ansonsten gute System, das keine aktiven Komponenten (Kosteneinsparung) benötigt, für die Parallelschaltung von maximal 3 Verdichtern zu verwenden.

● **Dynamische Systeme**

Das ideale Ölausgleichssystem würde die Vorteile eines mechanischen mit denen eines statischen Ölausgleichssystem kombinieren (Abb. 3). Hierzu gehört vor allem, die Möglichkeit der Parallelschaltung mehrerer Verdichter, der einfache Aufbau des Systems, sowie der Aspekt der Kostenreduzierung. Das nachfolgend beschriebene dynamische System kommt der Idealvorstellung sehr nahe, wobei jedoch einige Einschränkungen zu berücksichtigen sind. Um dieses System zu erklären, wird im folgenden der Verdichter, der als erstes von der Saugleitung abzweigt, mit Verdichter ζ (Vd A) bezeichnet und der nachgeschaltete Verdichter als Verdichter η (Vd B).

Beim dynamischen Ölausgleichssystem wird das in die Saugleitung zurückgeführte Öl abgeschieden und dem Verdichter ζ zugeführt. In der Saugleitung des Verdichters η wird künstlich ein geringer Druckabfall erzeugt, was dazu führt, daß der Druck im Ölsumpf des Verdichters η niedriger als im Verdichter ζ ist. Diese Druckdifferenz zwischen den Ölsümpfen bewirkt, daß überschüssiges Öl von Verdichter ζ zu Verdichter η über-

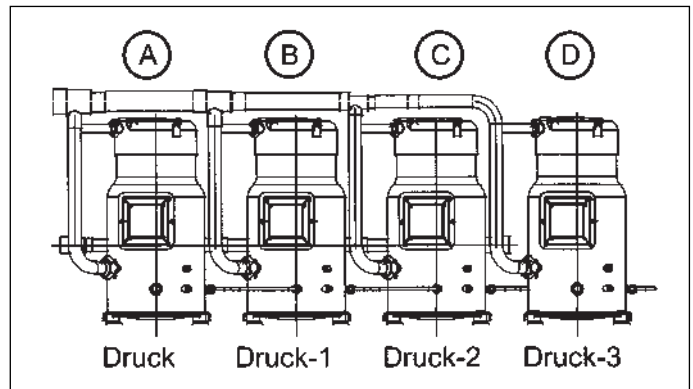
strömt. Um zu verhindern, daß unzulässig viel Öl an der Gehäusewandung entlang von einem in den anderen Verdichter gesaugt wird, ragt die Ölausgleichsleitung in die Verdichtergehäuse hinein. Streng genommen handelt es sich hierbei um ein Ölüberlaufsystem.

Dieses System verzichtet auf eine Druckausgleichsleitung zwischen den Verdichtern und ermöglicht eine zuverlässige Ölverteilung, ohne mechanische Komponenten zu benötigen. Die erforderlichen Komponenten sind vom Hersteller dimensioniert und getestet und ermöglichen die Parallelschaltung von bis zu 4 Verdichtern bei minimalem Kostenaufwand.

● **Saugleitungsölabscheider/ Gasdüse**

Die Abb. 4 zeigt die konstruktiven Details, mit denen eine bevorzugte Ölrückführung erreicht wird. Hierdurch ist sichergestellt, daß das zur Verdichtereinheit zurückgeführte Öl stets zum Verdichter ζ geführt wird. Der Saugleitungsölabscheider mit integrierter Gasdüse ist ein wichtiger Bestandteil der Saugleitungsverlegung bei Verbundschaltungen.

Abb. 6 Beispiel einer QUADRO-Anwendung.



Weil sich das zurückkommende Öl in der Saugleitung im allgemeinen an den Rohrwandungen befindet, ist die Konstruktion des Saugleitungsölabscheiders sehr einfach. Von der Austrittsseite (Verdichter η) ragt ein Rohr mit geringem Durchmesser in das T-Stück hinein. Dadurch gelangt das Öl zwangsläufig zum Verdichter ζ . Die Anordnung des kleineren Rohres und sein Durchmesser sind genau abzustimmen, um eine zuverlässige Ölabscheidung über den gesamten Anwendungsbereich des Verdichters sicherzustellen. Mit der derzeitigen Kon-

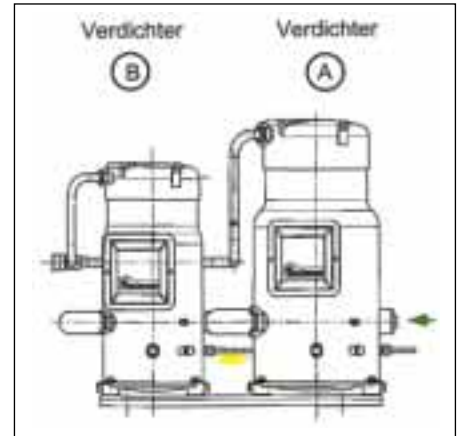


Abb. 5 Beispiel für TANDEM-Anordnung.

struktion werden Abscheideraten von 80 bis 100 % erreicht. Die zweite Aufgabe dieses Bauteils besteht darin, einen kleinen Druckabfall in der Saugleitung zum Verdichter η zu erzeugen. Auf diese Weise wird erreicht, daß der Druck im Ölsumpf von Verdichter η niedriger ist. Die Druckdifferenz zwischen den Ölsümpfen ist mit ca. 40 mbar niedrig, jedoch stets ausreichend groß, um die Druckverluste in der Ölausgleichsleitung kompensieren zu können. Der er-

forderliche Druckabfall wird durch Anpassen der Düsenlänge und des Düsendurchmessers erreicht. Durch die Verwendung des Saugleitungsölabscheiders mit integrierter

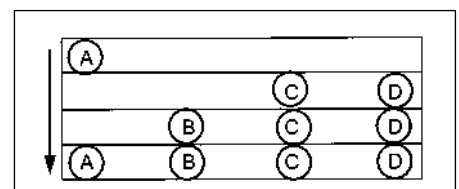


Abb. 7 Schaltfolge der Verdichter für Teillastbetrieb für eine QUADRO-Anordnung.

Gasdüse bei den dynamischen Ölausgleichssystemen können sowohl Verdichter ζ als auch Verdichter η bei Teillastbetrieb einzeln betrieben werden (Abb. 5).

- Wenn Verdichter ζ alleine läuft, wird das gesamte Sauggas und returnierte Öl zum Verdichter ζ geführt. Der Druck im Ölsumpf von Verdichter η ist höher als in Verdichter ζ . Sollte sich in Verdichter η überschüssiges Öl befinden, was im Normalfall nicht auftritt, gelangt dies zu Verdichter ζ .

- Ist nur Verdichter η in Betrieb, wird von ihm das gesamte Sauggas und geringe Mengen Öl von diesem angesaugt. Der Großteil des retournierten Öls wird aus Gründen der Schwerkraft dem Verdichter ζ zugeführt. Der Ölsumpf von Verdichter ζ hat einen höheren Druck als Verdichter η ; was ein Überströmen überschüssigen Öls zur Folge hat.

Die Vorzüge des dynamischen Ölausgleichssystems können bei TANDEM-Anordnungen effektiv genutzt werden, da sie die Parallelschaltung unterschiedlicher Baugrößen möglich machen. Der Performer® SM 310 besteht z. B. aus einem SM 185 (15 PS) und einem parallel angeordneten SM 125 (10 PS). Hierdurch sind drei Leistungsstufen möglich.

Stufe 1: SM 125 in Betrieb: 40 % Kälteleistung,

Stufe 2: SM 185 in Betrieb: 60 % Kälteleistung,

Stufe 3: beide Verdichter in Betrieb: 100 % Kälteleistung.

Auf diese Weise wird erreicht, daß sowohl bei 40, 60 als auch 100 % Kälteleistung stets mit optimalem COP gefahren wird.

Abb. 8 QUADRO-Anordnung mit 200 kW Kälteleistung.



TRIO- und QUADRO-Anordnungen

Die erfolgreiche Einführung von dynamischen Ölrückführsystemen bei TANDEM-Anordnungen ermöglichen den Einsatz von Scroll-Verdichter in Anwendungen mit großen Kälteleistungen durch die Parallelschaltung von 3 und 4 Verdichtern (Abb. 6).

In solchen Anordnungen wird prinzipiell das gleiche dynamische Ölausgleichssystem eingesetzt, basierend auf der bevorzugten Ölrückführung zum Verdichter ζ . Auch hier werden Druckdifferenzen zwischen den Ölsümpfen der Verdichter erzeugt. Wenn alle Verdichter laufen, gilt für die Drücke im Ölsumpf $p_{\zeta} > p_{\eta} > p_{\gamma} > p_{\delta}$. Wodurch ein Öltransport von $\zeta \Rightarrow \eta \Rightarrow \gamma \Rightarrow \delta$ erreicht wird.

Die 1/2"-Ölausgleichsleitung wird zwischen dem Ölausgleichsanschluß von Verdichter ζ zum Ölausgleichsanschluß von Verdichter η angeschlossen. Verdichter η und γ sind untereinander über den Schauglasanschluß und dem Ölausgleichsanschluß verbunden.

Eine solcher Aufbau ermöglicht Teillastbetrieb mit 25 %, 50 %, 75 % Kälteleistung für den QUADRO, im Ge-

gensatz zum TANDEM ist jedoch im Hinblick auf einen zuverlässigen Betrieb eine festgelegte Schaltfolge der Verdichter einzuhalten (Abb. 7).

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung wird eine gute Ölverteilung für den gesamten Anwendungsbereich auch bei häufig schaltenden Verdichtern sichergestellt.

Da für einen zuverlässigen Betrieb eine sorgfältige Auslegung der Düse des Saugleitungsölabscheiders und der Rohrleitungsverlegung notwendig ist und auch aufgrund ihrer Abmessungen und Gewichte, werden TRIOs und QUADROs als Bausätze geliefert.

Zusammenfassung

Die beschriebene Methode von Parallelschaltungen von Verdichtern ermöglicht es dem Anlagenplaner die umfangreichen Vorzüge der Performer®-Scroll-Technologie zu nutzen. Sie erleichtert dem Anlagenbauer die Arbeit bei der Planung von Verbundanlagen und schafft Möglichkeiten für modernen Ausrüstungen mit großen Leistungen bei verbesserter Effizienz, die die Vorzüge der Scroll- und Hermetik-Technologie nutzen.