

# Einsatz kleiner Schraubenverdichter in gewerblichen und industriellen Kälteanlagen

Hermann Renz, Sindelfingen

## zum Autor

**Hermann Renz,**  
Leiter Anwendungstechnik in der Firma Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Sindelfingen



*Jüngste Entwicklungsschritte in Profilgeometrie, internem Ölumlauftsystem, Produktions- und Meßmethoden ermöglichen den Einsatz dieser fortschrittlichen, äußerst betriebssicheren Verdichtertechnik auch in Anwendungen, bei denen bisher überwiegend Hubkolbenverdichter zum Einsatz kamen.*

Mit den nachfolgenden Ausführungen werden wesentliche Konstruktionsmerkmale und anwendungsspezifische Kriterien für Schraubenverdichter im Fördervolumina von 84 bis 250 m<sup>3</sup>/h betrachtet.

Weitere Themen befassen sich mit den Anwendungsbereichen, Ausführung von Einzelverdichter- und Verbundanlagen sowie Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten im Vergleich zu anderen Verdichterbauarten.

## Einführung

In der Vergangenheit waren Hubkolbenverdichter in fast allen Bereichen der gewerblichen Kälte- und Klimatechnik dominierend. Diese Situation hat sich seit einigen Jahren geändert; inzwischen zeichnet sich bei einer Reihe von Anwendungen ein Wandel zu Rotationsverdichtern ab.

Einen wesentlichen Anteil an dieser Entwicklung nehmen Schraubenverdichter ein, die sich seit Anfang der 60er Jahre insbesondere im Bereich großer industrieller Systeme zunehmend durchgesetzt haben.

Schrauben zählen, wie Kolbenverdichter, zur Gruppe der Verdrängermaschinen. Ein wesentlicher Unterschied besteht allerdings beim Verdichtungsprozess. Beim Schraubenverdichter erfolgt die Abdichtung der Arbeitsräume dynamisch durch Öleinspritzung. Dies erklärt auch die Abhängigkeit der Leistungscharakteristik von der Umfangsgeschwindigkeit der Rotoren und somit die wirtschaftliche Begrenzung des Fördervolumens nach unten.

Mit früher üblichen Verdichterkonstruktionen lag die resultierende Grenze bei einem geometrischen Fördervolumen oberhalb etwa 300 m<sup>3</sup>/h. Anfang der 80er Jahre konnte Bitzer grundlegende Entwicklungsschritte in der Profilgeometrie, Produktions- und Meßtechnik vollziehen, die erstmals eine Serienproduktion wesentlich kleinerer sehr wirtschaftlicher Schraubenverdichter ermöglichten. Auf der Grundlage intensiver Forschung, einer langjährigen Betriebserfahrung und stetiger Verbesserung der Produktionsmethoden konnte diese fortschrittliche Technik inzwischen weiter optimiert werden. Schraubenverdichter kleinerer Leistung sind deshalb mehr denn je eine überzeugende Alternativ-Technologie zu größeren Hubkolbenverdichtern. Durch das einfache Konzept zur Parallelschaltung reicht der Anwendungsbereich bis hin zu indu-

striellen Anlagen; im unteren Leistungssegment ist dieses System sogar den in diesem Sektor üblichen Industrieschrauben in mehrfacher Hinsicht überlegen.

## Wesentliche Konstruktionsmerkmale

Die hohe Effizienz dieser zweiwelligen Schraubenverdichter [1] beruht auf einer speziell für kleinere Leistungsgrößen optimierten Profilgeometrie, einem speziellen Schmiersystem und der besonders präzisen Herstellung mit modernsten Bearbeitungszentren. Hinzu kommt eine höchst anspruchsvolle Qualitätsüberwachung durch automatische Meßmaschinen.

Mit Blick auf den bei gewerblichen Kälteanlagen geforderten geringen Installations- und Service-Aufwand, ist der konstruktive Aufbau sehr einfach gehalten. So erfolgt die Ölversorgung zur Abdichtung der Profil-Arbeitsräume und Schmierung von Lagerstellen aus dem unter Hochdruck stehenden Reservoir des Ölabscheiders – eine Ölpumpe ist deshalb in üblichen Anwendungsbereichen nicht erforderlich. Der Hauptrotor steht in direkter Verbindung mit dem Motor; auf ein Zwischengetriebe wird bewußt verzichtet.

Getriebe ermöglichen zwar durch Drehzahlerhöhung kleinere Abmessungen von Rotoren und Rotorgehäuse und eine Reduzierung der Profilvarianten innerhalb einer Baureihe (reduzierte Fertigungskosten), erhöhen jedoch die Anzahl der Verschleißteile und damit das Ausfallrisiko. Hinzu kommen eine verstärkte Empfindlichkeit bei Flüssigkeitsschlägen (relativ

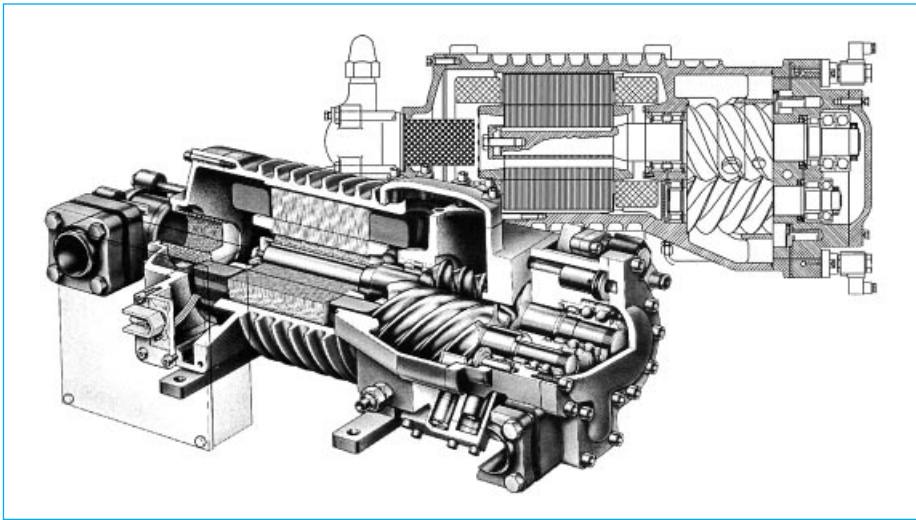


Abb. 1 Schnittbild eines halbhermetischen Schraubenverdichters mit integrierter 2stufiger Leistungsregelung (100-75-50 %)

kleine Arbeitsräume im Vergleich zum Massendurchsatz), zusätzliche Strömungs- und Übertragungsverluste, verminderte Lagerlebensdauer und eine höhere Schallemission in einem unangenehmen Frequenzbereich.

Die betreffenden Schraubenverdichter zeichnen sich durch äußerst stabile Rotor-konstruktion, reichlich dimensionierte Wälzlager - Axiallager in besonders solider Tandemanordnung - und ein optimiertes Ölumlaufsystem aus. Bei diesem Konstruktionsprinzip wird das Überströmen von Leckgas aus dem Profildbereich in die hochdruckseitig angeordnete Lagerkammer mittels Dichtlippen wirksam vermieden. Damit läßt sich der Druck in der Lagerkammer auf annähernd Saugniveau absenken, wodurch der im Öl gelöste Kältemittelanteil auf ein Minimum reduziert und gleichzeitig höchste Viskosität erzielt wird. Als gewichtiger Nebeneffekt erfolgt eine deutliche Druckentlastung der Axiallager. Des weiteren ist die Ölversorgung der saugseitig angeordneten Lager und der Wellenabdichtung (Abb. 1/2) derart ausgeführt, daß die Ausgasung (durch Entspannung) des im Öl gelösten Kältemittelanteils keinen wesentlichen Einfluß auf das Förderverhalten des Verdichters hat.

Alle Verdichter der neuen Generation sind mit ein- oder mehrstufiger Leistungsregelung ausgerüstet. Es handelt sich um hydraulisch betätigte Kolben, die über Magnetventile angesteuert werden können. Die Regler dienen auch der automatischen Anlaufentlastung, außerdem als zusätz-

liche Überlastsicherung gegen Überkompression und bei Flüssigkeitsschlägen. Unter derart außergewöhnlichen Bedingungen werden die Leistungsregler-Kolben vom Innendruck geöffnet und bewirken damit einen Abbau der Lastspitzen.

Leistungsregelung ist auch durch Drehzahländerung mittels eines Frequenzumrichters möglich. Durch den optimalen Massenausgleich (nur rotierende Triebwerksteile) und die stabile Lagerung kann, je nach Leistungsgröße, ein Frequenzbereich von 25 bis zu 75 Hz (1450 bis 4500

min<sup>-1</sup>) abgedeckt werden. Bei Verbundanlagen (siehe auch Abschnitt „Parallelsysteme mit Schrauben“) läßt sich diese Technik relativ preisgünstig einsetzen, indem nur der Grundlastverdichter frequenzmoduliert betrieben wird.

Durch den bereits zuvor beschriebenen Direktantrieb (ohne Zwischengetriebe) ergeben sich auch bei übersynchronem Betrieb keine nennenswerten Einflüsse auf Lagerlebensdauer und Geräuschentwicklung.

Halbhermetische Schraubenverdichter (Abb. 1) sind mit großvolumigen 2poligen Einbaumotoren bestückt. Sie erreichen äußerst hohe Wirkungsgrade über einen breiten Einsatzbereich. Die Motorkühlung erfolgt durch Sauggas, einem seit vielen Jahren auch bei größeren Hubkolben-Halbhermetiks bewährten Prinzip. Im Gegensatz zu Methoden mit Flüssigkeitseinspritzung erfordert Sauggaskühlung keinerlei zusätzliche Regeleinrichtungen und ist deshalb wesentlich einfacher in der Anwendung. Außerdem gibt es in dieser Hinsicht keine Besonderheiten gegenüber Hubkolbenverdichtern. Der Stator mit einem Schiebesitz ins Gehäuse eingepaßt, ein eventueller Austausch ist deshalb mit einfachen Hilfsmitteln möglich. Alle Motoren sind mit integrierter Schutz-einrichtung zur thermischen Absicherung (PTC) ausgerüstet. Das im Klemmenkasten fest installierte Überwachungsmodul übernimmt zudem die Drehfeldkontrolle zur

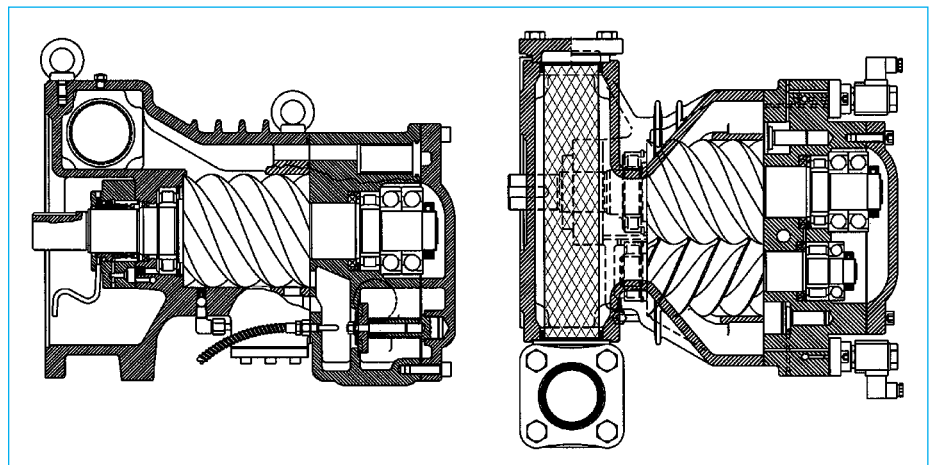


Abb. 2 Schnittbild eines offenen Schraubenverdichters

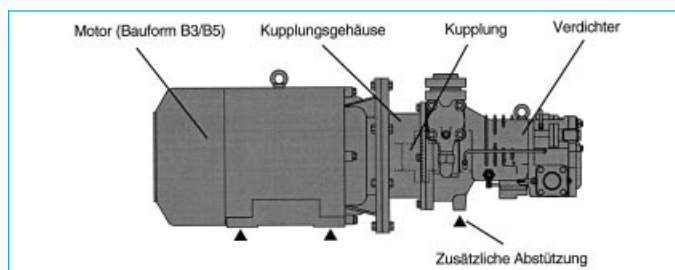


Abb. 3 Offene Motor/Verdichtereinheit

Absicherung gegen Betrieb in falscher Drehrichtung.

Offene Verdichter (Abb. 2) sind mit einer besonders verschleißfesten Wellenabdichtung mit Metall-Faltenbalg ausgestattet, die auch für HFKW Alternativ-Kältemittel und  $NH_3$  geeignet ist. Bei dieser Konstruktion haben O-Ringe nur eine statische Dichtfunktion, wodurch höchste Sicherheit und lange Lebensdauer gewährleistet sind.

Der Antrieb erfolgt über die nach außen geführte Welle des Hauptrotors. Auf der Seite des Wellendurchtritts ist eine bearbeitete Flanschfläche mit Zentrierbund vorgesehen, die mittels eines Kupplungsgehäuses den direkten Anbau eines Fuß-/Flanschmotors (B3/B5) erlaubt (Abb. 3). Diese Ausführung ermöglicht einfachste Montage und gewährleistet beste Fluchtung der Wellenenden. Durch die Stabilität der gesamten Einheit und das ausgewogene Drehmomentverhalten von Schrauben ist zudem die Belastung von Kupplung und Lagern besonders niedrig.

### Economizer-Betrieb

Die betreffenden Schraubenverdichter sind generell für sog. „Economizer-Betrieb“ [2] ausgelegt. Bei dieser Betriebsart werden mittels eines Unterkühlungskreislaufs oder 2stufiger Kältemittelentspannung sowohl Kälteleistung als auch Systemwirkungsgrad verbessert. Vorteile gegenüber der Standardanwendung ergeben sich insbesondere bei hohen Druckverhältnissen.

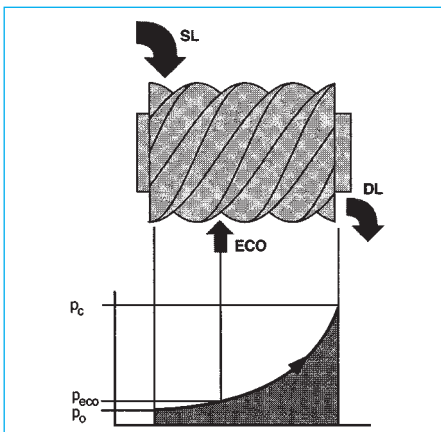
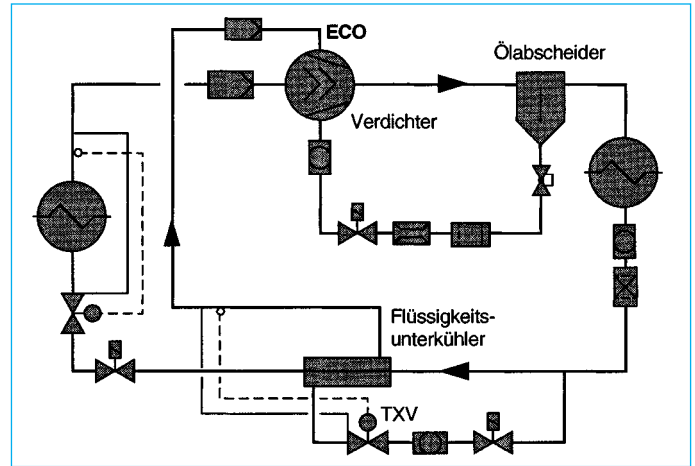


Abb. 4 Kompressionsverlauf mit ECO-Einspeisung

Abb. 5 Economizer-System mit Wärmeaustauscher als Flüssigkeitsunterkühler



Im Gegensatz zur reziproken Arbeitsweise des Kolbenverdichters erfolgt der Verdichtungsprozess beim Schraubenverdichter nur in einer Strömungsrichtung; beim Drehen der Rotoren wird der Kältemitteldampf durch stetige Volumenreduzierung verdichtet. Diese Eigenschaft ermöglicht einen zusätzlichen Sauganschluß am Rotorgehäuse. Die Position ist so gewählt, daß der Ansaugvorgang (aus Richtung Verdampfer) abgeschlossen und bereits ein geringer Druckanstieg erfolgt ist (Abb. 4). Damit läßt sich ein zusätzlicher Kältemittel-Massenstrom über einen Unterkühlungskreislauf fördern (Abb. 5), der eine Flüssigkeitsunterkühlung mit dem Resultat erhöhter Kälteleistung bewirkt. Der Leistungsbedarf des Verdichters steigt dabei weniger stark an, da der Wirkungsgrad des Arbeitsprozesses günstiger ist.

Mit dem Economizer-System kann deshalb ein Verdichter mit wesentlich reduziertem Fördervolumen eingesetzt werden, wobei gleichzeitig eine deutliche Energieeinsparung zu erzielen ist (siehe auch Abschnitt „Leistungsverhalten und Betriebskosten“).

### Ölkühlung bei Schraubenverdichtern

Mit Blick auf einen wirtschaftlichen Verdichtungsprozess, genügende Ölviskosität zur Abdichtung der Arbeitsräume und Schmierung der Wälzlager, wird die Druckgastemperatur bei Schraubenverdichtern üblicherweise auf 80 bis 100 °C begrenzt. Je nach Kältemittel und Anwendungsbereich kann deshalb Ölkühlung erforderlich werden. Nachteilig ist der entsprechende Zusatzaufwand, der allerdings im Vergleich zum Umfang und den Kosten des Gesamtsystems relativ niedrig ist.

Preiswerteste Option ist die direkte Kältemittelspeisung mittels Kapillare oder Expansionsventil in einen geschlossenen Arbeitsraum des Profils. Wegen Gefahr von Ölverdünnung und eines erhöhten Leistungsbedarfs bei größeren Einspritzmengen, kann diese Methode nur zur Absicherung der Einsatzgrenzen – bei zeitweilig hoher Verflüssigungstemperatur im Bereich mittlerer und hoher Verdampfungs-temperaturen – empfohlen werden.

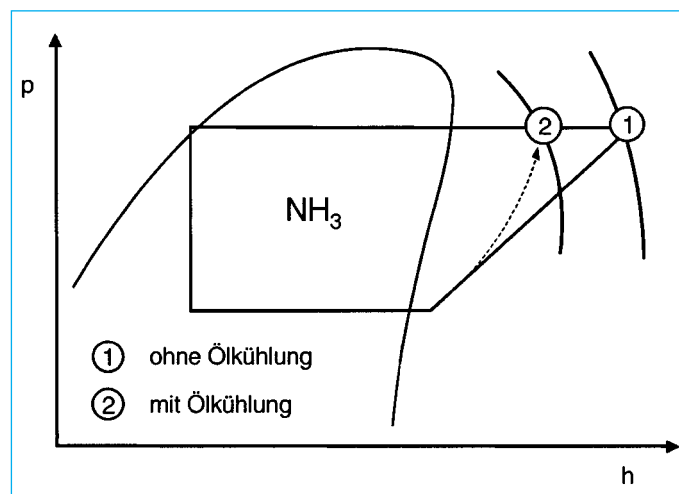


Abb. 6 Einfluß der Ölkühlung auf die Druckgastemperatur



Die klassische Methode zur Ölkühlung ist der wassergekühlte Wärmeaustauscher (Abb. 7), wie er vor allem bei größeren Anlagen zum Einsatz kommt. Als Bauarten werden überwiegend Bündelrohr- oder Plattenapparate verwendet.

Universell einsetzbar sind hingegen luftgekühlte Wärmeaustauscher (Abb. 8), die zum Beispiel im Außenbereich, unmittelbar neben dem Maschinenraum, angeordnet werden können. Unter gewissen Voraussetzungen ist auch eine Integration des Ölkühlers im Verflüssigerpaket möglich. Wegen der stark schwankenden Außentemperaturen ist bei beiden Lösungen ein Bypass-Mischventil zur Steuerung der Öltemperatur vorzusehen.

Der zusätzliche Platzbedarf ist relativ gering, da der Verflüssiger um den Anteil

der am Ölkühler abgeführten Wärmemenge kleiner sein kann. Bei der kombinierten Verflüssiger-/Ölkühlerausführung gibt es keine nennenswerten Unterschiede.

Eine weitere, sehr kostengünstige und platzsparende Möglichkeit bietet das Thermo-Syphon-Prinzip, bei dem unter Hochdruck stehende Kältemittelflüssigkeit in einem Wärmeaustauscher verdampft und dabei das gegenströmende Öl abkühlt (Abb. 9). Der Dampf wird wieder in die Druckgasleitung eingespeist und erneut verflüssigt. Voraussetzung für dieses System ist eine Anordnung des Verflüssigers oberhalb des Maschinenraums, um eine genügend hohe Flüssigkeitssäule für den Schwerkraftumlauf des zur Ölkühlung erforderlichen Kältemittels zu gewährleisten. Eine Unterstützung der Kältemittel-

zirkulation mittels Injektor oder Umwälzpumpe ist ebenfalls möglich.

Dem zusätzlichen Aufwand für Ölkühlung stehen andererseits wesentliche Vorteile gegenüber:

- Die Verdichter benötigen keine individuellen Zusatzlüfter (einschließlich Elektrik).

- Bei halbhermetischen Schraubensätzen ist die Abwärme in den Maschinenraum außerordentlich gering und damit auch der Aufwand für die Entlüftung.

- Der relativ hohe und gekühlte Öl-massenstrom ermöglicht eine nahezu isotherme Verdichtung und damit auch einstufigen Betrieb bei sehr hohen Druckverhältnissen und Sauggasttemperaturen – selbst bei Kältemitteln mit ausgeprägtem Isentropen-Exponenten, wie z. B. R 22 und NH<sub>3</sub> (Abb. 6).

Mit den Kältemitteln R 134a, R 404A und R 507 ist die thermische Belastung – bedingt durch den niedrigen Isentropenexponent – vergleichsweise gering. Deshalb kann zumindest bei mittleren und höheren Verdampfungstemperaturen in weiten Bereichen auf Ölkühlung verzichtet werden. Bei Betrieb nahe der thermischen Einsatzgrenze oder einer erforderlichen Ölkühlerleistung bis etwa 10 % der Verdichterkälteleistung, ist die bereits zuvor erwähnte kontrollierte Kältemitelein-spritzung in den Profilbereich als eine alternative Kühlmethode möglich. Geeignete Expansionsventile, die in Abhängigkeit von der Druckgastemperatur gesteuert werden, sind von mehreren Herstellern lieferbar.

### Anwendungsbereiche

Die Beurteilungskriterien über den Einsatz und die Wirtschaftlichkeit von Schraubenverdichtern werden auch heute noch vielfach auf ein weit zurückliegendes Entwicklungsniveau bezogen. Mit dieser neuen Verdichtergeneration ergeben sich völlig neue Gesichtspunkte, die zu einer wesentlichen Erweiterung der Anwendung bei günstigen Investitionskosten und bester Energieeffizienz führen.

Trotz des hohen Entwicklungsstandes moderner Schraubenverdichter liegt die untere wirtschaftliche Leistungsgröße für den Einsatz in gewerblichen Kälteanlagen bei einem geometrischen Fördervolumen

Abb. 7  
Wassergekühlter  
Ölkühler mit  
Temperaturregler

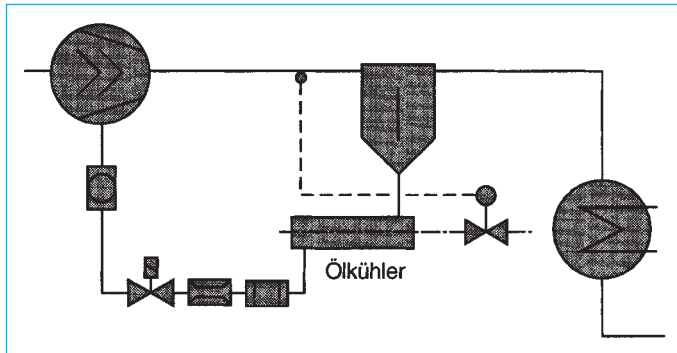


Abb. 8  
Luftgekühlter  
Ölkühler mit Bypass-  
Mischventil

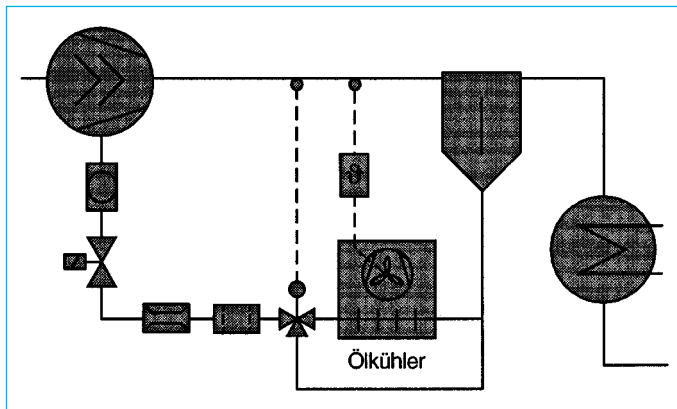
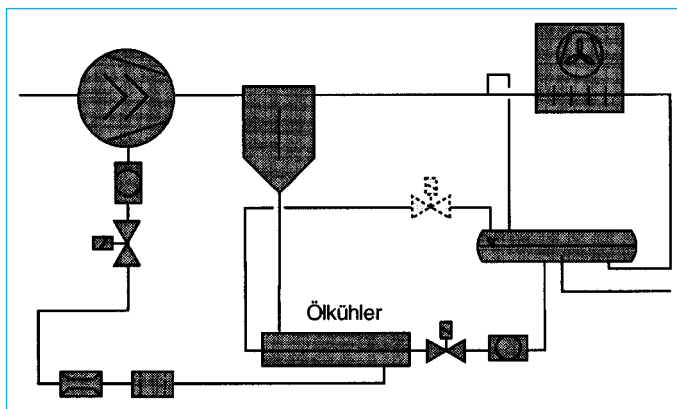


Abb. 9  
Thermosyphon-  
Kühlung



oberhalb etwa 80 m<sup>3</sup>/h. Damit ergibt sich nur eine Überdeckung im oberen Leistungsbereich der in solchen Anlagen bisher überwiegend verwendeten Hubkolben-Halbhermetiks. Schraubenverdichter werden demzufolge in diesem Anwendungsspektrum in erster Linie bei größeren Leistungen eingesetzt.

Eine bevorzugte Anwendung sind Parallelsysteme mittlerer und größerer Leistung, wie sie zum Beispiel in Kühl- und Gefrieranlagen für den Lebensmittelbereich, in Supermärkten, Logistik-Zentren und in der Prozeßtechnik sowie in Schiffskälte- und Klimaanlage verwendet werden. Als Kältemittel können sowohl R 22 als auch chlorfreie HFKW sowie NH<sub>3</sub> (offene Verdichter) [3, 4] zum Einsatz kommen – selbst bei hohen Druckverhältnissen ist einstufige Betriebsweise möglich.

Schraubenverdichter für den Einsatz in weitverzweigten Systemen werden bevorzugt mit einem dezentralen Ölkreislauf ausgeführt. Er besteht aus einem Ölabscheider, der zum Verdichter führenden Ölleitung mit Ölfilter, Durchflußwächter, Magnetventil und – bei Bedarf – einem Ölkühler. Damit ist der Aufwand für Systeme mit Einzelverdichtern relativ hoch und nur dort vorteilhaft, wo durch die leistungsmäßige Begrenzung halbhermetischer Hubkolbenverdichter eine aufwendige Parallelschaltung oder größere offene Industrieverdichter erforderlich wären.

Wesentlich anders ist die Situation bei Systemen, die aufgrund optimaler Leistungsanpassung und Betriebssicherheit als Parallelverbund ausgeführt werden sollen. In diesen Fällen erweist sich die dezentrale Anordnung des Ölkreislaufs als gewichtiger Vorteil. Sie ermöglicht sogar einen wesentlich einfacheren Anlagenaufbau als bei Hubkolben- und Scrollverdichtern – ein Ölausgleichssystem und damit eine zusätzliche Störquelle ist nicht erforderlich.

Für fabrikmäßig gefertigte Kühltische und Flüssigkeitskühler im Klima- und Normkühlbereich können auch halbhermetische Kompaktschrauben [5] sehr vorteilhaft eingesetzt werden. Es handelt sich um Verdichter mit direkt am Gehäuse angeflanschem Ölabscheider. Damit ist der Verrohrungsaufwand gleich wie bei Hubkolbenverdichtern.

Über Konstruktion und Anwendung dieser Schraubenverdichter-Technologie wird in einem weiteren Fachartikel berichtet werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb in erster Linie auf Bauarten mit individuell zugeordnetem Ölabscheider.

### Parallelsysteme mit Schrauben

Parallelsysteme bilden den Schwerpunkt in der Anwendung dieser kleinen Schraubenverdichter. Das Konzept erweist sich nach nunmehr langjähriger praktischer Erfahrung als außerordentlich wirtschaftlich und betriebssicher. Besondere Merkmale derart ausgeführter Verbundsätze sind der einfache Aufbau, hohe Betriebssicherheit, niedriges Schwingungsniveau, günstige Investitions- und Servicekosten und ein äußerst wirtschaftliches Teillastverhalten.

Abweichend von dem bei großen Industrieschrauben üblichen Aufbau von Parallelsystemen – mit individuellen Ölabscheidern – wurde für diese Baureihe eine wesentlich einfachere Ausführung entwickelt, bei der nur ein Abscheider (mit einem gemeinsamen Ölvorrat) für alle Verdichter eingesetzt wird [6]. Es lassen sich damit auch unterschiedliche Leistungsgrößen und Verdichterausführungen kombinieren, die Saugdrücke können sogar unterschiedlich sein.

Die Ölversorgung der Verdichter erfolgt direkt aus dem Ölabscheider über eine zentrale Rohrverbindung, die zu den einzelnen Einheiten verzweigt wird. Ölfilter, Öldurchflußwächter, Ölventil und Schauglas (zur visuellen Kontrolle des Ölflusses) sind jeweils individuell zugeordnet und garantieren somit optimale Über-

wachung und Kontrollmöglichkeit. Zur Absicherung der maximal zulässigen Druckgas- und Öltemperatur dient ein zur Serienausstattung gehörender Druckgasüberhitzungsschutz (PTC).

Aggregataufbau und Rohrleitungsführung sind so gestaltet, daß eine Ölüberflutung der Verdichter während der Abschaltperioden wirkungsvoll verhindert wird. Selbst im relativ seltenen Fall einer Leckage des Ölventils ist die Gefahr eines Verdichterschadens gering. Bei einer teilweisen Überfüllung des Verdichters erfolgt eine Entlastung gegen hydraulische Druckspitzen durch die sich beim Start automatisch öffnende Leistungsregelung. Bei völliger Überflutung kommt es zu Blockierung und damit zu einer Abschaltung über die Motorschutzeinrichtung.

Besondere Merkmale von Schraubenverdichtern sind auch das außerordentlich niedrige Schwingungsniveau und die geringen Druckgas-Pulsationen. Diese Eigenschaften vermindern ganz wesentlich die Gefahr von Rohrbrüchen, die bekanntlich einen bedeutenden Anteil der Kältemittelmissionen und Servicekosten verursachen.

Der Platzbedarf von Parallelsystemen mit Schraubenverdichtern ist eher geringer als bei Kolben- und Scrollverdichtern. Bedingt durch die einfache Art der Leistungsregelung (auch bei Tiefkühlung möglich) kann die Anzahl der Verdichter bei Bedarf reduziert werden. Bei Einsatz eines Frequenzumrichters läßt sich zudem der gesamte Drehzahlbereich bis 4500 min<sup>-1</sup> nutzen – die Kälteleistung erhöht sich dabei um ca. 50 % gegenüber üblichem 50-Hz-Betrieb.

Zu berücksichtigen ist auch das relativ geringe Bauvolumen der Schrauben;

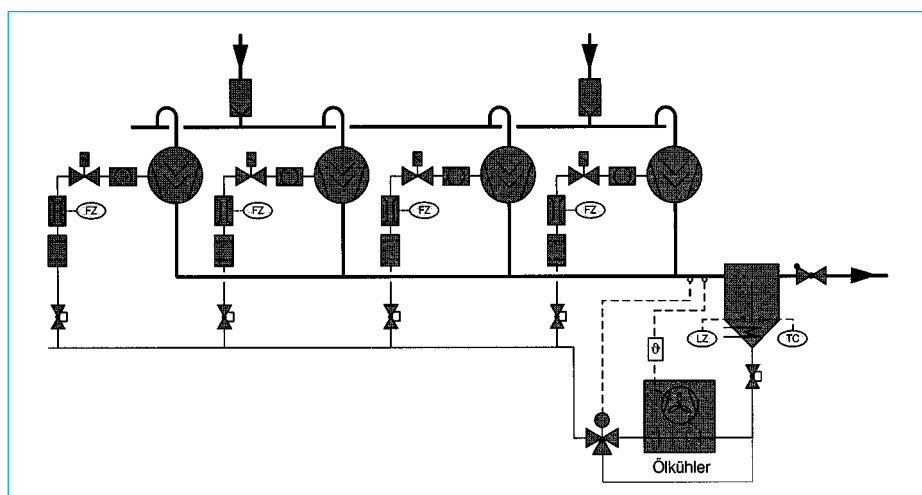


Abb. 10 Parallelsystem mit Schraubenverdichtern und luftgekühltem Ölkühler

selbst die offene Bauart ist durch den direkt angeflanschten Motor sehr kompakt. Hinzu kommt eine höhere spezifische Kälteleistung, bedingt durch einen sehr stabilen Liefergrad über dem Druckverhältnis. Besonders bei Tiefkühlung und Betrieb mit Unterkühlungskreislauf (Economizer) kann deshalb das geometrische Fördervolumen von Schrauben wesentlich kleiner sein als bei Hubkolbenverdichtern (siehe auch Abschnitt „Leistungsverhalten und Betriebskosten“, Abb. 13).

Der Platzbedarf für Ölabscheider (zuzüglich Ölreguliersystem bei Kolben- und Scrollverdichtern) ist bei allen Bauarten ähnlich.

### Investitionskosten

Verschiedentlich gibt es pauschale Aussagen über höhere Investitionskosten bei Verwendung von Schrauben gegenüber Hubkolbenverdichtern. Nachdem derartige Vergleiche oftmals nur die Komponenten berücksichtigen, ist damit noch keine definitive Beurteilung der Gesamtkosten eines Systems möglich.

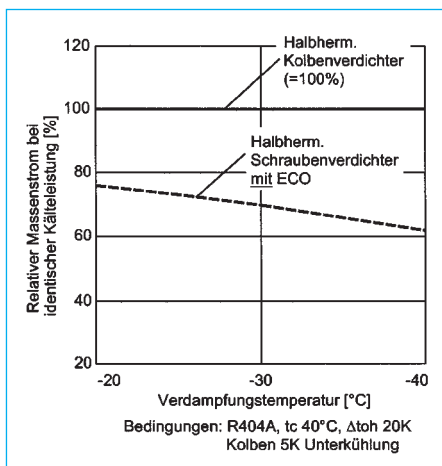


Abb. 11 Vergleich der Kältemittel-Massenströme bei identischer Kälteleistung

Vor allem bei größeren Einheiten ist die üblicherweise geringere Verdichteranzahl bei Schrauben zu berücksichtigen, die sich auch auf die Kosten für Verrohrung und elektrische Ausrüstung auswirkt.

Hinzu kommt bei der Gegenüberstellung eines üblichen einstufigen Kälte-

kreislaufs mit einem bei Schraubenverdichtern üblichen Economizer-System, daß dem Zusatzaufwand für die Unterkühlungseinrichtung ein wesentliches Einsparungspotential bei Komponenten und Rohrleitungen – sowie deren Verarbeitung – gegenübersteht. Durch den deutlich geringeren Massen- und Volumenstrom in der Flüssigkeitsleistung und auf der Saugseite lassen sich Verdichter-Fördervolumen, Rohrquerschnitte, Dimensionen der Expansions- und Magnetventile, je nach Anwendungsbereich und Kältemittel, um bis zu 40 % reduzieren (Abb. 11).

Wegen der notwendigen Isolierung der Flüssigkeitsleitung ist dort das Sparpotential geringer; bei Verdichtern, Regelkomponenten sowie Saugleitungen und deren Isolierung ist jedoch eine beträchtliche Kostenreduzierung möglich.

### Service

Der Wartungsaufwand ist bei Schraubenverdichtern äußerst niedrig. Bedingt durch die dynamische Abdichtung der Arbeitsräume und die geringe thermische Belastung des Öls, bleibt der Anteil an Abrieb oder chemischen Zersetzungsprodukten sehr gering. Ein Ölwechsel ist deshalb nur in Ausnahmefällen erforderlich. Nachdem in größeren Verbundanlagen auch saugseitige Reinigungsfilter obligatorisch sind, erübrigt sich häufig sogar ein ÖlfILTERwechsel.

Die Erfahrungen zeigten auch, daß insbesondere bei Verbundanlagen die Ausfallrate von Schrauben eher geringer ist als bei Kolbenverdichtern. Dies ist vor allem auf die geringere Empfindlichkeit bei Flüssigkeitsschlägen und die optimale Überwachung des Ölkreislaufs zurückzuführen. Eine eventuelle Verdichterüberholung beschränkt sich meist auf die wenigen Verschleißteile und ist deshalb relativ kostengünstig.

### Leistungsverhalten und Betriebskosten

Bei Leistungs- und Betriebskostenvergleichen ist es bekanntlich besonders schwierig, Verdichter unterschiedlicher Leistungscharakteristik gegenüberzustellen, zumal das dynamische Verhalten der Anlage wesentlich von diesem Merkmal abhängig ist. Mit den nachfolgenden Betrachtungen wird deshalb ein breiteres Spektrum an Kriterien beleuchtet. Außerdem beziehen sich die Vergleichsdaten auf eine für

größere gewerbliche Anlagen praxisnahe Sauggasüberhitzung (bis zum Verdichter) von 20 K. Als Flüssigkeitsunterkühlung sind 5 K und bei Schraubenverdichtern alternativ noch Economizer-Betrieb berücksichtigt.

Bedingt durch die druckabhängige Steuerung der Arbeitsventile passen sich Hubkolbenverdichter beim Arbeitsprozeß dem Druckverhältnis des Systems optimal an und erreichen damit gute Leistungszahlen über einen weiten Anwendungsbe- reich. Wegen der direkten Abhängigkeit des Liefergrades vom Druckverhältnis (Rückexpansion) vermindert sich die Zy-

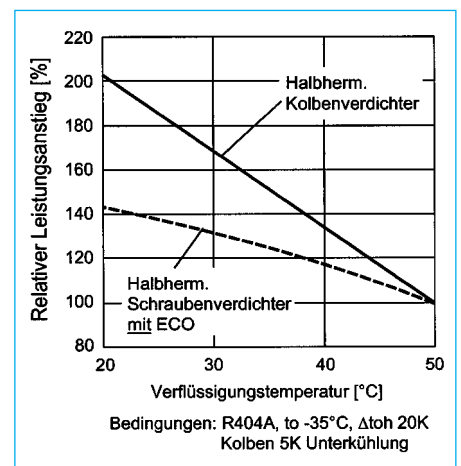


Abb. 12 Vergleich der Leistungscharakteristik über der Verflüssigungstemperatur

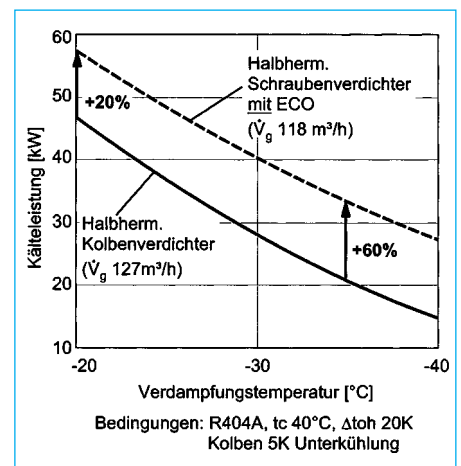


Abb. 13 Vergleich der Leistungscharakteristik über der Verdampfungstemperatur

linderfüllung bei höheren Verflüssigerdrücken aber deutlich und führt zu einer relativ stark abfallenden Leistungscharakteristik. Daraus resultiert andererseits eine enorme Überkapazität bei niedrigen Verflüssigungstemperaturen (Abb. 12) mit der Folge erhöhter Temperaturdifferenz an den Wärmeaustauschern und einer steigenden Schalthäufigkeit des Verdichters.

Bei Schraubenverdichtern besteht – wegen der dynamischen Abdichtung der Arbeitsräume – hinsichtlich der Wirkungsgrade eine etwas stärkere Abhängigkeit von der Druckdifferenz. So werden bei niedrigen Verflüssigungsdrücken, selbst unter hohen Druckverhältnissen, noch besonders günstige Gütegrade erreicht. Der Liefergrad und damit die Kälteleistung bleiben aber auch bei hohen Drucklagen noch stabil und liegen deutlich höher als bei Hubkolbenverdichtern. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten bei Economizer-Betrieb, der sich hauptsächlich bei Tiefkühlung als vorteilhaft erweist (Abb. 13).

Nachdem das Jahresprofil der Umgebungstemperatur für Mitteleuropa nur etwa 1700 Stunden mit Werten über 15 °C aufweist, läßt sich die Verflüssigungstemperatur bei Kälteanlagen in der überwiegenden Betriebsdauer im Bereich von 30 °C oder darunter halten. Die erforderliche Verdichterauslegung für extreme Sommertemperaturen führt allerdings zu einer starken Überdimensionierung für die kältere Jahreszeit, die jedoch bei Schrauben, wegen der flachen Leistungscharakteristik, weit weniger ausgeprägt ist als bei Hubkolbenverdichtern (Abb. 12).

Damit ist es möglich, in einem Parallelsystem sogar bei reduzierter Verdichteranzahl eine gute Leistungsanpassung an den Bedarf zu erzielen, nachdem bei Schrauben in allen Anwendungsbereichen auch die Möglichkeit zur Leistungsregelung der einzelnen Verdichter besteht. Gleichzeitig ist die geringere Schalthäufigkeit von Vorteil, die zu einem günstigen dynamischen Verhalten des Systems und

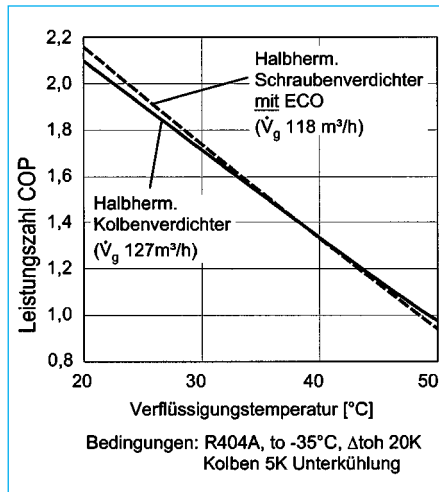


Abb. 14 Vergleich von Leistungszahlen bei Tiefkühlung

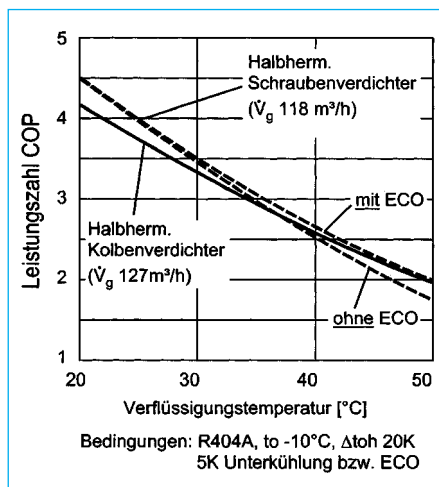


Abb. 15 Vergleich von Leistungszahlen bei Normalkühlung

damit zur Minderung des Energiebedarfs bei gleichzeitig erhöhter Verdichterlebensdauer beiträgt.

Auch beim direkten Vergleich der Leistungszahlen und damit der Energiekosten ist es wichtig, den jahreszeitlichen Verlauf der Umgebungstemperatur (Verflüssigungstemperatur) zu berücksichtigen. Bei der nachfolgenden Betrachtung (Abb. 14/15) zeigen sich zwar geringfügige Vorteile bei höheren Verflüssigungstemperaturen zugunsten der Hubkolben-Halbhermetiks, aber ein genau umgekehrtes Ver-

halten bei niedrigen Bedingungen. Wegen der prozentual hohen Laufzeit bei reduzierten Verflüssigungstemperaturen ergeben sich deshalb kaum meßbare Unterschiede im Jahresenergiebedarf, was auch durch neutrale Untersuchungen an real ausgeführten Anlagen bestätigt wird. Mit Sicherheit sind Einflüsse durch die Qualität der Systemausführung und -regelung von größerer Bedeutung und bieten deshalb mehr Potential für Energieeinsparung.

### Ausblick

Mit Einführung einer zweistufigen Leistungsregelung bei den Verdichtern der unteren Leistungskategorie (Fördervolumen 84 bis 118 m<sup>3</sup>/h) lassen sich Schraubensysteme künftig noch genauer an die Lastanforderungen anpassen. Damit können dann selbst Anlagen mit stark variierendem Kältebedarf sehr wirtschaftlich und bei geringster Schalthäufigkeit betrieben werden.

Der Trend bei größeren Kälteanlagen zu Flüssigkeitskühlern mit Sekundärkreislauf bietet besonders gute Voraussetzungen zum Einsatz kleiner Schraubenverdichter. Hierbei wird eine äußerst platzsparende und preisgünstige Bauart ermöglicht. Die bei Kurzkreisläufen übliche geringe Sauggasüberhitzung erlaubt zudem in weiten Bereichen den Betrieb ohne Zusatzkühlung oder den Einsatz einfacher integrierter Ölkühlsysteme. □

### Literatur

- [1] Wolfgang Sandkötter: „Kleine Schraubenverdichter in der Kältetechnik – vergleichende Betrachtung der Eigenschaften“, KI 6/1996
- [2] Bitzer: „Technische Information Economizer-Betrieb ST-610“
- [3] Hermann Renz: „Kriterien für die Ausführung von gewerblichen NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen“, KK 2/1995
- [4] Sybille Liedtke: „Compressors for Small Ammonia Refrigeration Plants“, Vortrag zur DTI-Tagung (November 1997) in Aarhus, Dänemark
- [5] Bitzer: „Handbuch für Kompakt-Schraubenverdichter SH-150“
- [6] Bitzer: „Handbuch für Schraubenverdichter SH-100“