

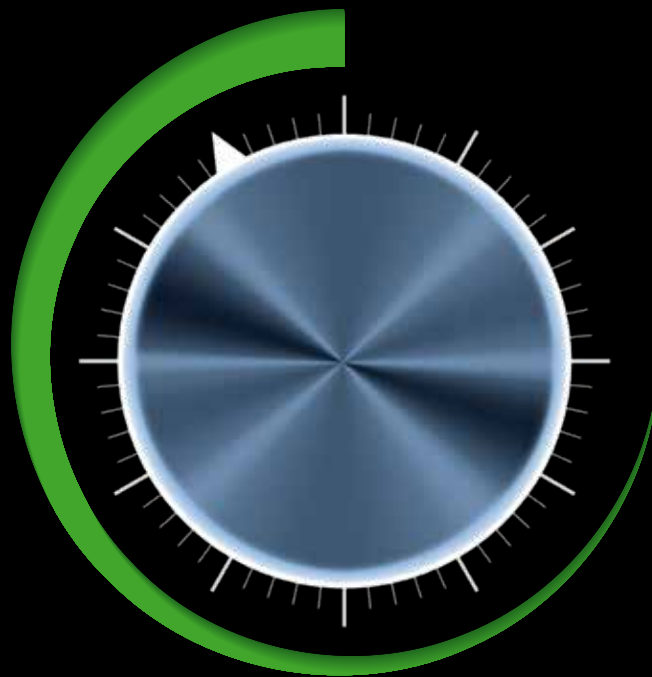


THE HEART OF FRESHNESS

COMPETENCE IN

CAPACITY CONTROL

KOMPETENZ IN LEISTUNGSREGELUNG



Inhalt		Contents	
Seite	Inhalt	Page	Contents
2	1 Einleitung	2	1 Introduction
3	2 Systeme zur Leistungsregelung	3	2 Systems for capacity control
3	3 Verfahren zur Verdichter-Leistungsregelung	3	3 Methods for compressor capacity control
5	4 Kriterien zur Auswahl der Verdichter-Leistungsregelung	5	4 Selection criteria for compressor capacity control
6	5 Verdichter mit integrierter (mechanischer) Leistungsregelung	6	5 Compressors with integrated (mechanical) capacity control
13	6 Parallelbetrieb von Verdichtern	13	6 Parallel operation of compressors
15	7 Drehzahlregelung	15	7 Variable speed drive (VSD)

1 Einleitung

Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen müssen hinsichtlich der benötigten Kälteleistung (Wärmeleistung) auf die maximalen Betriebsbedingungen, d.h. auf den größten Temperaturhub ausgelegt werden. Dies führt dazu, dass sie für alle anderen Betriebszustände zu groß dimensioniert sind, also zu viel Leistung anbieten.

Dieser Leistungsüberschuss kann durch periodisches Abschalten des Verdichters ausgeglichen werden. Nachteilig ist dabei, dass sich auf der Sekundärseite häufig starke Temperaturschwankungen einstellen, die sich besonders bei kurzen Laufzeiten auf die System-Effizienz und Betriebssicherheit auswirken. Abgesehen davon wird der Grad der Leistungsreduzierung durch die zur Verdichter- und Verdampferregelung notwendigen Mindestbetriebszeiten begrenzt.

Wesentliche Verbesserungen werden durch den Einsatz von Systemen zur Leistungsregelung erreicht. Hierzu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sich durch folgende Merkmale unterscheiden können:

- Qualität der Regelgenauigkeit – darunter ist der Anpassungsgrad der erzeugten Kälteleistung (Wärmeleistung) an den wirklichen Bedarf zu verstehen
- Leistungszahl (COP) / System-Effizienz
- Systemkosten
- Betriebssicherheit

1 Introduction

In terms of required cooling (heating) capacity, refrigeration, air-conditioning, and heat pump systems must be designed to cope with the maximum operating conditions, i.e. for highest temperature lift. Consequently, they are over-dimensioned for all intermediate operating conditions, and therefore offer too much capacity.

This excess capacity can be compensated by periodically switching off the compressors. However, a major disadvantage of this approach is that large temperature variations frequently occur on the secondary side, which have a negative effect on system efficiency – in particular with short operating periods. Moreover, the degree of capacity reduction is limited by the minimum operating times dictated by the compressor and evaporator control systems.

Significant improvements are achievable by the use of capacity control systems. Various methods are available for this purpose, which can be distinguished by the following features:

- Quality of control accuracy – which involves adaptation of the generated cooling (heating) capacity to the actual demand
- Coefficient of performance (COP) / system efficiency
- System costs
- Operating reliability

2 Systeme zur Leistungsregelung

Im Allgemeinen wird zwischen Verdichter-Leistungsregelung und einer im System integrierten Regelung unterschieden, bei der entweder durch Bypass von der Hoch- zur Niederdruckseite oder Drosselung des Saugdrucks eine Anpassung der Leistung erfolgt. Letztere Verfahren sind energetisch ungünstig: Bei einer Bypass-Regelung reduziert sich die Leistungsaufnahme des Verdichters bei Teillast nur wenig durch eine geringe Absenkung des Verflüssigungsdrucks, bei einer Drosselung des Ansaugstroms nur entsprechend der Veränderung des Saugdrucks.

Je nach Betriebsbedingungen kann es auch zu stärkeren Einschränkungen im Einsatzbereich des Verdichters kommen. Abgesehen von Systemen mit sehr spezifischen Anforderungen werden beide Methoden nicht für die allgemeine Anwendung empfohlen. Sie werden deshalb im Rahmen der folgenden Ausführungen nicht näher betrachtet.

Im Gegensatz hierzu sind die meisten Verfahren zur Verdichter-Leistungsregelung sehr wirtschaftlich, wodurch in Verbindung mit einer intelligenten Systemsteuerung ein hohes Potential zur Energieeinsparung bei Teillastbetrieb verfügbar ist.

3 Verfahren zur Verdichter-Leistungsregelung

Die einfachste Methode ist bekanntlich der Aussetzbetrieb (ON/OFF), der allerdings je nach Lastanforderung eine ungenügende Regelgüte, stark schwankende Betriebsbedingungen, hohe Schalthäufigkeit und damit auch ungenügende Wirtschaftlichkeit und reduzierte Lebensdauer von Verdichter und anderen Systemkomponenten zur Folge haben kann. Diese Betriebsweise sollte deshalb auf Anlagen mit hoher Speicherkapazität und/oder relativ konstanter Leistung beschränkt werden.

Eine auch bei stärkeren Lastschwankungen wesentlich verbesserte Regelgüte bietet der Parallelverbund mehrerer Verdichter sowie Tandemverdichter oder eine Aufteilung des Systems in mehrere getrennte Kreisläufe. Bei diesen Lösungen besteht jedoch ebenfalls die Gefahr erhöhter Schalthäufigkeit, falls entweder die Anforderungen an die Regelgenauigkeit sehr hoch sind oder sich der Leistungsbedarf sehr schnell ändern kann.

In solchen Fällen ist eine Kombination mit integrierter Verdichter-Leistungsregelung (stufig oder stufenlos) mit entsprechender Steuerung erforderlich.

Im Rahmen dieser Publikation werden nur Hubkolben-, Schrauben- und Scroll-Verdichter behandelt. Für eine integrierte Leistungsregelung werden verschiedene Verfahren ausgeführt, die sich je nach Verdichtertechnologie grundlegend unterscheiden können:

2 Systems for capacity control

Usually, a distinction is made between compressor capacity control and a system integrated modulation, whereby control is effected either by means of a bypass from the high-pressure to the low-pressure side or by throttling the suction pressure. Energetically, the latter methods are unfavourable: With bypass control, the compressor's power consumption under part load is only reduced slightly due to a small reduction of the condensing pressure, whilst throttling only reduces it in accordance with the change in suction pressure. Depending on operating conditions, severe restrictions of the compressor's application range are possible. Apart from systems with highly specific requirements, neither method is therefore recommended for general use. Consequently, they will not be discussed further in the following explanations.

In contrast to this, most methods for compressor capacity control are highly efficient, whereby (in combination with an intelligent system control) an excellent potential for energy saving under partial loads is given.

3 Methods for compressor capacity control

Of course, the simplest method is intermittent operation (ON/OFF), but depending on demand, this can lead to poor control performance, strongly varying operating conditions, and high cycling rates, which result in low efficiency and a reduced service life of the compressor and other system components. Therefore, this operating mode should be restricted to systems with a high storage capacity and/or a relatively constant load.

Considerably better control performance – also with large load variations – is provided by parallel compounding of several compressors, with tandem compressors, or by splitting the system into several independent circuits. These solutions, however, also involve the risk of increased cycling rates, either if very high requirements are placed on control accuracy, or if the demand is likely to change very quickly.

In such cases, a combination with integrated compressor capacity control (in steps or stepless) is required, together with a corresponding control system.

The scope of this publication only covers reciprocating, screw, and scroll compressors. Various approaches are possible for integrated capacity control, which can be fundamentally different, depending on the compressor technology used:

Hubkolbenverdichter

- Abhebung der Saugventile
- Interner Bypass
- Vergrößerung des Zylinder-Schadraums
- Reduzierung des Verdichtungshubs
- Absperrung des Ansaugkanals zu einzelnen Zylindern oder Zylindergruppen
- Drehzahlregelung

Schraubenverdichter

- Interner Bypass
- Interne Reglerkolben
- Parallel zur Rotorachse bewegter Regelschieber
- Drehzahlregelung

Scroll-Verdichter

- Interner Bypass
- Intermittierendes Abheben der Spiralen
- Drehzahlregelung

Reciprocating compressors

- Lifting of the suction valves
- Internal bypass
- Increase of cylinder clearance volume
- Reduction of compression stroke
- Blocking the intake ducts to individual cylinders or cylinder groups
- Variable speed drive (VSD)

Screw compressors

- Internal bypass
- Internal control pistons
- Control slider parallel to rotor shaft
- Variable speed drive (VSD)

Scroll compressors

- Internal bypass
- Intermittent lifting of scroll sets
- Variable speed drive (VSD)

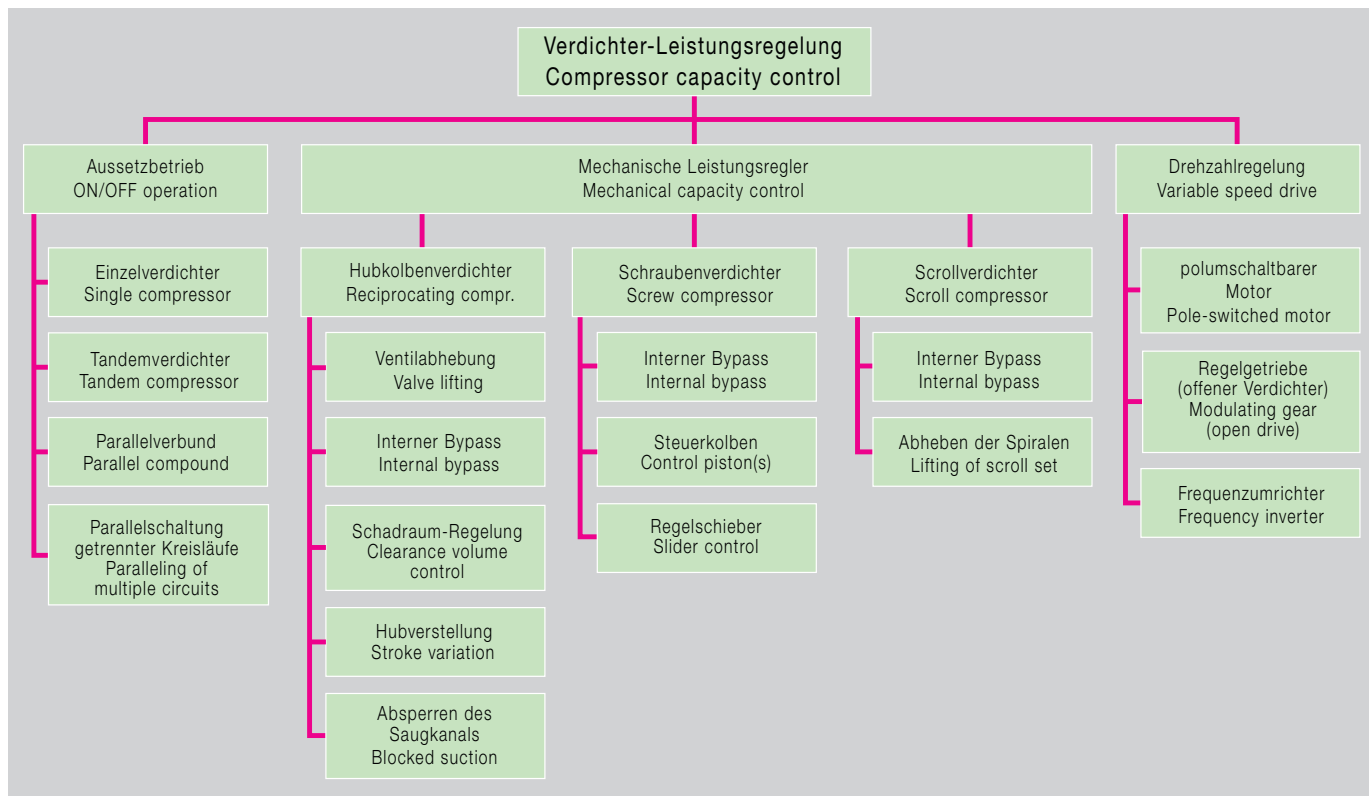


Abb. 1 Bevorzugte Verfahren zur Verdichter-Leistungsregelung (Übersicht)

Fig. 1 Preferred methods for compressor capacity control (summary)

4 Kriterien zur Auswahl der Verdichter-Leistungsregelung

Je nach System können die Anforderungen sehr unterschiedlich sein, wobei folgende Kriterien sorgfältig abgewogen werden sollten:

- Qualität der Regelung → grob gestuft, fein gestuft oder stufenlos
- Energieverbrauch (Leistungszahl)
- Kosten der gewählten Lösung
- Betriebssicherheit
- Verdichter-Einsatzbereich
- Mindestlaufzeiten des Verdichters
- Belastung des Stromnetzes

Bekanntlich ist der Energieverbrauch einer Kälte-, Klima- oder Wärmepumpenanlage über den gesamten Lebenszyklus ein erheblicher Faktor und übertrifft sehr häufig die Investitionskosten um ein Vielfaches. Dadurch und auch mit Blick auf die indirekte Umweltbelastung (CO₂-Emission durch Energieerzeugung) ist eine optimal an den Bedarf angepasste Leistungsregelung anzustreben. Je nach Speichermöglichkeit und Lastschwankungen des Systems können Verfahren mit gestufter Regelung ausreichend sein, aus rein energetischer Sicht bieten stufenlose Verfahren die bessere Lösung.

Auf den ersten Blick und zwar beim Vergleich stationärer Bedingungen bei verschiedenen Lastzuständen lässt sich oftmals kein merkbarer Unterschied zwischen stufiger und stufenloser Regelung nachweisen. Allerdings ist bekannt und durch vergleichende Untersuchungen belegt, dass das dynamische Verhalten und die resultierende Wirtschaftlichkeit wesentlich von der Regelgüte bestimmt werden. Bei einer grob gestuften Regelung kommt es bei Leistungsreduzierung zu einem deutlichen Abfall der Verdampfungstemperatur. Hieraus resultiert eine Teilverdampfung der Kältemittelflüssigkeit (Bildung von Flash-Gas), deren Temperatur zunächst noch auf hohem Niveau liegt. Als Konsequenz ergeben sich Störungen in der Einspritzregelung des Verdampfers und nachteilige Auswirkungen auf Leistung und Wirtschaftlichkeit. Ebenso kommt es bei abrupter Leistungserhöhung zu starken Schwankungen im Regelkreis, u.a. zu einem deutlichen Abfall der Verdampfungstemperatur, häufig gekoppelt mit ungenügender Sauggasüberhitzung. In der Regel führt dies dann über längere Perioden zu starken Abweichungen von den optimalen Betriebsbedingungen.

Allerdings gibt es auch bei Systemen mit hoher Regelgüte Einschränkungen hinsichtlich der minimalen Teillast. So ist z.B. in Direktexpansions-Systemen bei geringem Massenstrom im Verdampfer die Kältemittelverteilung nicht mehr optimal gewährleistet. In diesen Fällen ist es notwendig, das System ab einer gewissen Laststufe im Aussetzbetrieb zu betreiben – auch aus Gründen der Betriebscharakteristik des Expansionsventils und eines gesicherten Öltransports.

4 Selection criteria for compressor capacity control

Depending on the system, the requirements can be very different, whereby the following criteria should be assessed carefully:

- Control performance → coarsely or finely stepped, or stepless
- Energy consumption (coefficient of performance COP)
- Costs of selected solution
- Operating reliability
- Application range of the compressor
- Minimum compressor running time
- Loading of the power supply

It is known that the overall energy consumption of a refrigeration, air-conditioning or heat pump system during its service life is a considerable cost factor, and frequently is a multiple of the initial investment. Consequently, and with a view to indirect environmental impact (CO₂ emission due to power generation), optimum capacity control should be aimed for, that is closely matched to demand. Depending on storage capacity and system load variations, methods based on graduated control can be sufficient, but under purely energetic considerations, stepless control is the better solution.

When comparing stationary conditions under different load situations, the first glance does not always show a noticeable difference between stepped and stepless control. But comparative investigations have shown that dynamic behaviour and the resulting efficiency is highly dependent on control performance. With coarsely stepped control, a reduction of capacity leads to a significant drop in condensing temperature. This results in partial evaporation of the refrigerant (generation of flash gas), at a still high temperature level. The consequences are disturbances in the evaporator injection control, and negative effects on performance and efficiency. Similarly, abrupt increases in capacity lead to strong fluctuations in the control circuit, including a considerable reduction of evaporation temperature, frequently coupled with insufficient suction gas superheating. In general, and over long periods, this leads to large deviations from the optimum operating conditions.

Nonetheless, even systems with very good control performance are subjected to restrictions regarding part loads. For example, with low mass flows in direct expansion systems an optimum distribution of refrigerant in the evaporator is no longer ensured. In these cases, and below a certain load level, it is necessary to operate the system intermittently at the lowest capacity level – also because of the expansion valve's operating characteristics and to ensure a reliable oil supply.

Des Weiteren verlangt eine wirtschaftliche Teillast-Regelung ebenfalls eine kontrollierte Absenkung des Verflüssigungsdrucks und eine Anhebung des Saugdrucks. Außerdem muss der Energiebedarf für Hilfsantriebe (Ventilatoren, Pumpen) genau bilanziert werden. Dies erfordert dann ebenfalls effiziente Regelsysteme für diese Komponenten.

5 Verdichter mit integrierter (mechanischer) Leistungsregelung

In Kapitel 3 sind verschiedene Verfahren zur Verdichter-Leistungsregelung aufgelistet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im Folgenden nur die am häufigsten eingesetzten Konstruktionen eingehender behandelt.

5.1 Hubkolbenverdichter

Bei dieser Verdichterbauart werden überwiegend Verfahren zur „Zylinderabschaltung“ verwendet. Sie lassen sich kostengünstig ausführen, setzen jedoch in der Regel Mehrzylinder-Bauweise voraus. Die möglichen Leistungsabstufungen hängen von der konstruktiven Ausführung ab. Mit 4-, 6- und 8-Zylinderverdichtern werden meistens zwei Zylinder pro Laststufe geschaltet, wodurch sich dann Stufen von (25) – 50 – (75) – 100% bzw. 33 – 66 – 100% ausführen lassen. In Verbindung mit Tandemverdichtern oder bei Parallelschaltung ist eine noch feinere Abstufung möglich.

Bei Großverdichtern für die industrielle Anwendung kommen üblicherweise **Systeme zum Anheben der Saugarbeitsventile** (Ringventile) zum Einsatz, die Ansteuerung erfolgt hydraulisch über Öldruck. Der von den betreffenden Zylindern angesaugte Volumenstrom wird beim Aufwärtshub wieder zur Saugseite gefördert. Damit arbeitet der Zylinder quasi im Leerlauf ohne aktive Gasförderung. Diese Art der Regelung kann auch als Anlaufentlastung verwendet werden. Das System ist sehr wirtschaftlich, energetische Verluste entstehen nur durch die mechanische Reibarbeit und das „Ventilieren“ des Sauggases.

In halbhermetischen Verdichtern älterer Konstruktion wurden häufig Lösungen mit **integrierter Bypass-Schaltung** ausgeführt. Hier wird in den zu entlastenden Zylindern eine über Ventile gesteuerte Verbindung zwischen Hoch- und Niederdruckkammer hergestellt und die Gasförderung dadurch unterbrochen. Ein zusätzliches Rückschlagventil auf der Hochdruckseite verhindert dabei eine Rückströmung von bereits verdichtetem Gas. Dieses Konstruktionsprinzip ist relativ einfach, allerdings ist die Effizienz durch hohe Strömungsverluste im Bypass-Betrieb relativ ungünstig. Außerdem ist die thermische Belastung der Verdichter im Teillastbetrieb sehr hoch und damit der Anwendungsbereich stark eingeschränkt.

Moreover, efficient part load control also requires a controlled reduction of condensing pressure and a higher suction pressure. In addition, the energy demand of auxiliary drives (fans, pumps) must be determined precisely, which means that these components will also require an efficient control system.

5 Compressors with integrated (mechanical) capacity control

Various capacity control methods have been listed in Chapter 3. For better clarity, the following explanations will deal in more detail with the most frequently used designs only.

5.1 Reciprocating compressors

Primarily, for this compressor type “cylinder unloading” methods are used. Their construction is relatively low in cost, but they usually require a multi-cylinder compressor. The achievable capacity graduations depend on the constructional design. With 4, 6, and 8-cylinder compressors, it is usual to operate two cylinders per load stage, which permits graduations of (25) – 50 – (75) – 100% or 33 – 66 – 100%. Even finer graduations are possible in combination with tandem compressors or with parallel operation.

For large industrial compressors, it is common to use **systems for lifting the suction valves** (ring valves), whereby actuation is hydraulic using oil pressure. The volume flow drawn in by the relevant cylinders is discharged into the suction side on the upward stroke. In this way, the cylinder is practically idling without active gas transport. This type of control can also be used for unloaded starting. The method is highly efficient, with energy losses only occurring through the mechanical friction work and the suction gas “ventilation”.

With older semi-hermetic compressor types, solutions with an **integrated bypass circuit** were often used. Hereby, a valve-controlled connection between high- and low-pressure chambers is established in the cylinders to be relieved, which interrupts the gas flow. An additional check valve on the high-pressure side prevents a reverse flow of already compressed gas. This design principle is relatively simple, but efficiency is unfavourable due to the high flow losses during bypass operation. Furthermore, the compressor’s thermal stress under part loads is very high, which greatly limits the application range.

Eine weitere Variante ist die sog. „**Schadraum-Regelung**“. Bei diesem Verfahren wird ein zusätzlicher Druckraum im Zylinderkopf eingebracht, der über ein gesteuertes Ventil mit dem Zylinder verbunden werden kann. Hierdurch entsteht dann ein vergrößerter Schadraum. Bei der Verdichtung wird ein Teil des Gasstroms in diese Kammer gefördert, beim Abwärtshub kommt es dann wieder zur Rückströmung dieses auf hohem Druck stehenden Gasvolumens. Dadurch kann die Zylinderfüllung für den normalen Verdichtungsprozess wesentlich reduziert werden. Das System bietet den potenziellen Einsatz bei Verdichtern mit weniger als vier Zylindern. Allerdings führen die hohen Rückexpansionsverluste zu einem stärkeren Abfall im Teillast-Wirkungsgrad. Hinzu kommt, dass die Laststufen je nach Druckverhältnis sehr unterschiedlich sind. So kann z.B. bei kleinen Druckverhältnissen nur eine geringe Leistungsreduzierung erreicht werden.

Bei hermetischen Verdichtern kommt auch ein Konzept zum Einsatz, bei dem durch mechanische **Hubverstellung** die Verdichterleistung reduziert werden kann. Bei einem 2-Zylinderverdichter wird bei Drehrichtungswechsel ein Hubzapfen der Exzenterwelle in eine zentrische Position geschwenkt und dabei der Hub auf „Null“ reduziert. Der Verdichter fördert dann nur noch auf einem Zylinder. Das Verfahren ist sehr effizient, nachteilig sind die komplexe Mechanik sowie eine hohe Schalzhäufigkeit von Verdichter und Motor mit jeweiligem Drehrichtungswechsel.

Offene Verdichter für PKW-Klimatisierung werden ebenfalls mit Hubverstellung ausgeführt. Hierbei handelt es sich um Schwenk- oder Taumelscheibenverdichter, deren Konstruktionsprinzip sich besonders für diese Anwendung, jedoch weniger für stationäre Systeme eignet.

Another version is “**clearance volume control**”. With this method, the cylinder head contains an additional pressure chamber, which can be connected with the cylinder by means of a controlled valve. This results in a larger clearance volume. During compression, part of the gas flow is diverted to this chamber, from where it returns into the cylinder under high pressure on the piston downstroke. This enables the cylinder volume to be reduced considerably during normal compressor operation. The system lends itself for use on compressors with fewer than four cylinders. However, the high re-expansion losses lead to an increased drop in part-load efficiency. What’s more, the load steps differ considerably, depending on the pressure ratio. For example, only a small capacity reduction is achievable with small pressure ratios.

With hermetic compressors, another concept is used as well, involving a mechanically **variable stroke** to reduce compressor capacity. In a 2-cylinder compressor one crank pin of the eccentric shaft rotates to a center position as the direction of rotation changes, thus reducing the stroke to “zero”. In this case only one cylinder is in operation. This method is very efficient, disadvantages are the complex mechanics and the high cycling frequency of compressor and motor due to the changes in rotation direction. Open compressors for automotive AC systems are also operated with a variable stroke. Hereby, swash plate or wobble plate compressors are used, whose design principle is particularly suitable for this application, but less for stationary systems.

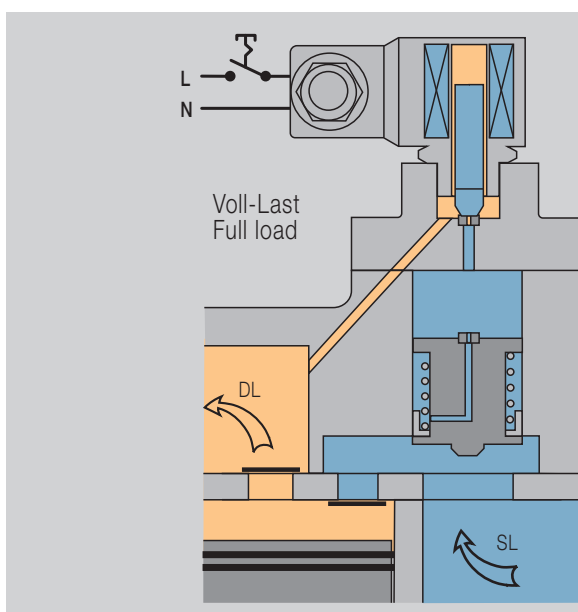


Abb. 2 Aufbau und Funktion der Zylinderabschaltung durch Absperrn des Saugkanals (Beschreibung Seite 8)

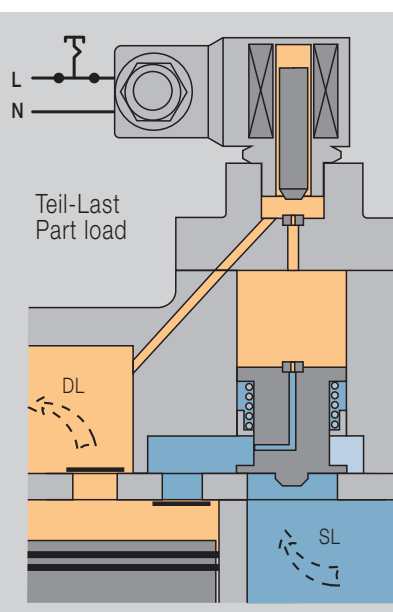


Fig. 2 Design and function of cylinder cutoff by blocking the suction channel (description page 8)

Die am häufigsten eingesetzte integrierte Leistungsregelung für Verdichter in gewerblichen Anwendungen ist die Zylinderabschaltung durch **Absperren des Ansaugkanals** zu einzelnen Zylindern oder Zylindergruppen (Abb. 2). Dieses Konzept wurde von BITZER bereits in den 1970er-Jahren entwickelt und hat inzwischen durch stetige Verbesserung einen unvergleichlich hohen Qualitätsstand erreicht.

Im **Vollastbetrieb** fördert der Verdichter auf allen Zylindern; die Magnetspule ist stromlos. Dabei sind alle Gaskanäle in Ventilplatte und Zylinderkopf sowie der Steuerkolben zur Leistungsregelung in offener Position (Abb. 2, linke Darstellung).

Für den **Teillastbetrieb** wird die Magnetspule angesteuert und damit der Anker angehoben. In der Folge wird der Steuerkolben mit Hochdruck beaufschlagt, bewegt sich nach unten und verschließt die gemeinsame Ansaugbohrung in der Ventilplatte. Dadurch wird der Gasfluss unterbrochen und die betreffenden Kolben laufen ohne Gasdruck leer mit. Der Wirkungsgrad dieser Regelung ist außerordentlich hoch, da lediglich die mechanische Reibarbeit durch Bewegung der Kolben von Einfluss ist.

Neu ist das von BITZER weiterentwickelte CRII-System. Kernelement dieses Leistungsreglers ist ein spezieller Steuerkolben mit Hohlkörperstruktur. Mit dieser Ventilkonstruktion lässt sich eine erhöhte Schaltfrequenz realisieren. Bei Ansteuerung über einen angepassten Regel-Algorithmus ermöglicht dies eine feinstufige (quasi stufenlose) Leistungsregelung, die je nach Betriebsbedingungen und Kältemittel einen Regelbereich von 100% bis zu 10% abdecken kann.

The most frequently used integrated capacity control for compressors in commercial applications is the cylinder unloading method, which **blocks the suction channels** to individual cylinders or cylinder groups (Fig. 2). This concept was developed by BITZER back in the 1970's, and thanks to continuous improvements it has meanwhile reached an unequalled quality level.

During **full load operation**, the compressor works with all cylinders; the solenoid is de-energized. Consequently, all gas channels in the valve plate and cylinder head as well as the capacity control piston are in the open position (Fig. 2, left drawing).

During **part load operation**, the solenoid is energized, and its armature is lifted. As a result, high pressure is applied to the control piston, which makes it move downwards to close the common inlet channel in the valve plate. This interrupts the gas flow, and the corresponding pistons operate in the "idle mode" without gas pressure. This control method has an outstandingly high efficiency, because only the mechanical friction losses of the pistons have an effect.

As a new innovation BITZER offers the further developed CRII system. The core element is a special control piston of hollow structure design. This valve design allows implementing a higher cycling frequency. During activation using an adapted control algorithm this enables a fine (virtually stepless) capacity modulation, which can cover a range of control between 100% and 10% depending on operating conditions and refrigerant.

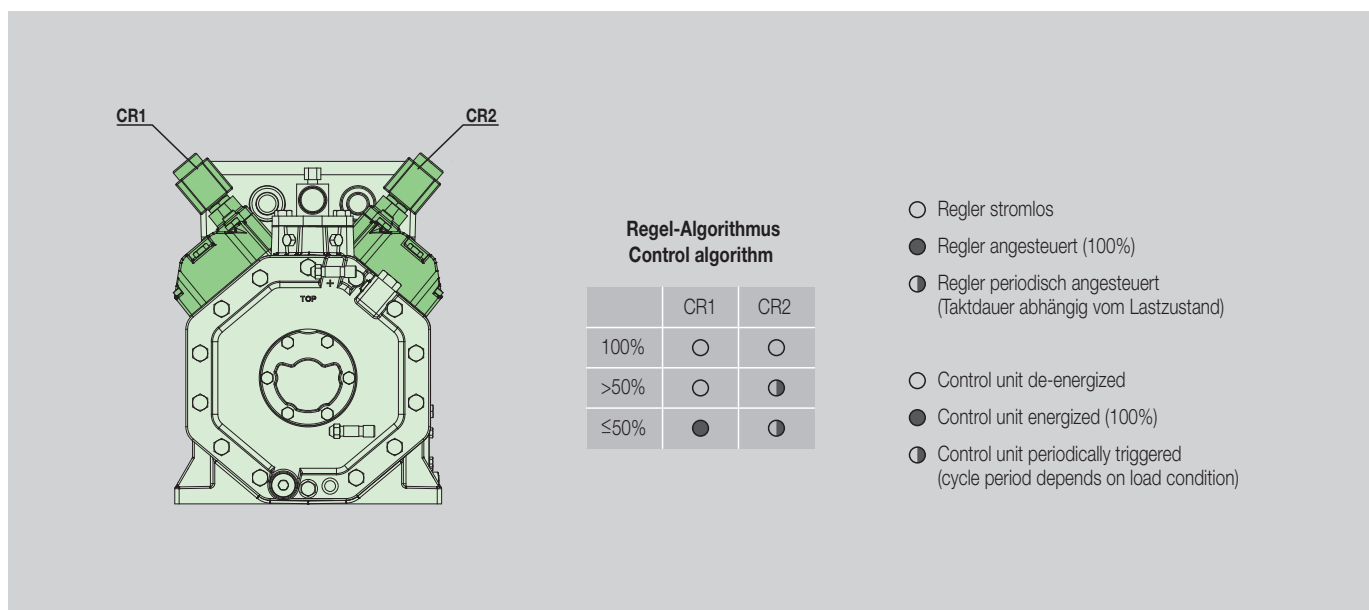


Abb. 3 ECOLINE CE4 Verdichter mit neuentwickeltem CRII-System

Fig. 3 ECOLINE CE4 compressor with newly developed CRII system

Ergänzende BITZER Informationen zur Leistungsregelung durch Zylinderabschaltung
(siehe auch <http://www.bitzer.de>)

□ **Technische Information KT-101**
„CR11-System – Leistungsregelung für BITZER ECOLINE Verdichter“

Informationen über Drehzahlregelung von Hubkolbenverdichtern siehe Abschnitt 7.2

5.2 Schraubenverdichter

Bei Schraubenverdichtern im unteren Leistungssegment kommen vorwiegend Systeme mit ein bis zwei Regelstufen zur Anwendung, wobei jedoch unterschiedliche konstruktive Lösungen realisiert werden. Gemeinsames Merkmal ist der direkte Eingriff in den Profilbereich, bei dem über Regelkolben eine Reduzierung des Förderolumens erreicht wird.

Eine sehr einfache und kostengünstige Konstruktion ist das interne **Bypass-System**. Dazu werden radial angeordnete Bohrungen in den Profilbereich eingebracht, die mit einem steuerbaren Ventil zur Saugseite hin geöffnet werden können. Dies kann z.B. ein zylindrischer Kolben (Schieber) sein, der parallel zu den Rotoren in einem separaten Zylinder angeordnet ist. Im Teillastbetrieb strömt dann bereits vorverdichtetes Gas wieder zur Saugkammer zurück und reduziert so den Förderstrom. Dieses Konzept hat allerdings wesentliche Nachteile, insbesondere mit Blick auf die Effizienz. Der mögliche Querschnitt dieser radialen Abströmbohrung ist stark begrenzt, da bei größerem Durchmesser ein erhebliches „Blasloch“ zwischen den geschlossenen und unter Druckdifferenz stehenden Profilkammern entsteht. Dies führt dann auch bei Vollastbetrieb zu reduziertem Wirkungsgrad (zusätzliche Leckagen bei der Verdichtung) und bei hohen Druckverhältnissen ebenfalls zu erhöhter thermischer Belastung im Überströmbereich. Andererseits kann bei relativ kleiner Abströmbohrung nur eine geringe Leistungsreduzierung erreicht werden. Unabhängig von Anordnung und Dimensionierung der Bypass-Bohrungen treten im Regelbetrieb deutliche Verluste und damit energetische Nachteile durch Vorverdichtung und hohen Strömungswiderstand auf.

BITZER hat ein wesentlich effizienteres Konzept zur stufigen Leistungsregelung entwickelt, das seit vielen Jahren bei den Modellreihen bis HS./OS.74 eingesetzt wird. Bei dieser Konstruktion greifen groß dimensionierte **Steuerkolben** direkt in den Profilbereich ein – stirnseitig und/oder radial. Sie sind exakt an die Kontur des Rotorgehäuses angepasst, wodurch interne Leckagen bei der Verdichtung vermieden werden. Beim Öffnen der Kolben werden reichlich dimensionierte Kanäle frei, über die das Sauggas direkt in einen Profilbereich mit reduziertem Ansaugvolumen gefördert wird. Mit diesem Verfahren wird die aktive Rotorlänge zur Verdichtung reduziert und dadurch der Förderstrom entsprechend verringert. Der Wirkungsgrad ist wesentlich günstiger als bei der zuvor beschriebenen Lösung. Außerdem lassen sich auf Grund der großen Strömungsquerschnitte auch Teillaststufen mit relativ geringer Restleistung ausführen.

Supplementary information from BITZER on capacity control using cylinder unloading
(also see <http://www.bitzer.de>)

□ **Technical Information KT-101**
“CR11 system – Capacity control for BITZER ECOLINE compressors”

Information on variable speed drive of reciprocating compressors see chapter 7.2

5.2 Screw compressors

For screw compressors in the lower capacity range, systems with one or two control stages are mainly used, whereby different constructional approaches are applied. One common feature is the direct intervention in the profile area, whereby a reduction of the swept volume is achieved by means of control pistons.

A very simple and cost-effective design is the internal **bypass system**. For this, radially arranged bores are available in the profile area, which can be opened to the suction side by means of a controlled valve. This can be e.g. a cylindrical piston (slider), which is arranged parallel to the rotors in a separate cylinder. Under part load, pre-compressed gas flows back to the suction chamber, thus reducing the delivery flow. However, this concept has several drawbacks, especially in terms of efficiency. The possible cross section of the radial bypass openings is very limited, as with larger diameters a considerable “blow hole” is created between the closed profile chambers that are under pressure difference. Under full load operation, this also results in lower efficiency (additional leakage during compression) as well as increased thermal stress in the overflow section under high pressure ratio conditions. On the other hand, relatively small bypass openings only permit a small unloading effect to be achieved. Regardless of arrangement and dimensions of the bypass openings, noticeable losses with the associated energy-related disadvantages occur due to precompression and high flow losses.

BITZER has developed a substantially more efficient concept for stepped capacity control, which has found successful use in the model ranges up to HS./OS.74 for many years. With this design, generously dimensioned **control pistons** intervene directly in the profile area – on the face and/or radially. Because they are adapted precisely to the rotor housing contour, internal leakage can be prevented during compression. When the pistons are operated, they open up large channels through which the suction gas flows directly into a profile area with reduced suction volume. By means of this procedure, the active rotor compression length is reduced, which lowers the swept volume accordingly. Efficiency is significantly higher than with the previously described solution. Moreover, due to the larger flow cross sections, part load stages can be designed with a relatively low residual capacity.

Bei größeren Schraubenverdichtern kommen üblicherweise parallel zu den Rotorachsen angeordnete **Regelschieber** zum Einsatz, die sowohl stufige als auch stufenlose Leistungsregelung ermöglichen. Bei modernen Verdichterkonstruktionen ist der Schieber direkt im Übergangsbereich zwischen Haupt- und Nebenrotor angeordnet und dabei exakt an die Gehäusekontur angepasst. Diese Lösung bietet das Potenzial für beste Teillast-Wirkungsgrade und erlaubt durch entsprechende Ausführung auch eine bedarfsabhängige Veränderung des sog. „eingebauten Volumenverhältnisses (V_i)“.

Abb. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau und die hydraulische Schaltung einer solchen Regelung. Bei Volllastbetrieb befindet sich der Schieber in der linken Anschlagposition. Bei Drehung der Rotoren wird der gesamte Profilarbeitsraum mit Sauggas gefüllt und damit die volle Förderleistung (100%) erreicht. Je weiter der Schieber zur Hochdruckseite (nach rechts) hin bewegt wird, desto kleiner ist das verfügbare Profilvervolumen bzw. die aktive Rotorlänge. Es wird weniger Volumen angesaugt, die Kälteleistung sinkt.

Eine Besonderheit der BITZER Schraubenverdichter ist die „Duale Leistungsregelung“. Damit ist – ohne Umbauten am Verdichter – sowohl 4-stufige (25 – 50 – 75 – 100%) als auch stufenlose (25 ... 100%) Regelung möglich. Die unterschiedliche Betriebsweise erfolgt lediglich durch entsprechende Ansteuerung der Magnetventile. Die spezielle Geometrie bewirkt zusammen mit der Schieberbewegung eine Anpassung des Volumenverhältnisses (V_i) an die Bedingungen bei Teillastbetrieb. Dadurch werden besonders günstige Wirkungsgrade erreicht. Einzigartig in dieser Leistungsklasse ist zudem der im Schieber integrierte Economiser-Kanal (ECO). Dies ermöglicht im Gegensatz zu üblichen Verdichtern den besonders wirtschaftlichen Economiser-Betrieb über den gesamten Regelbereich.

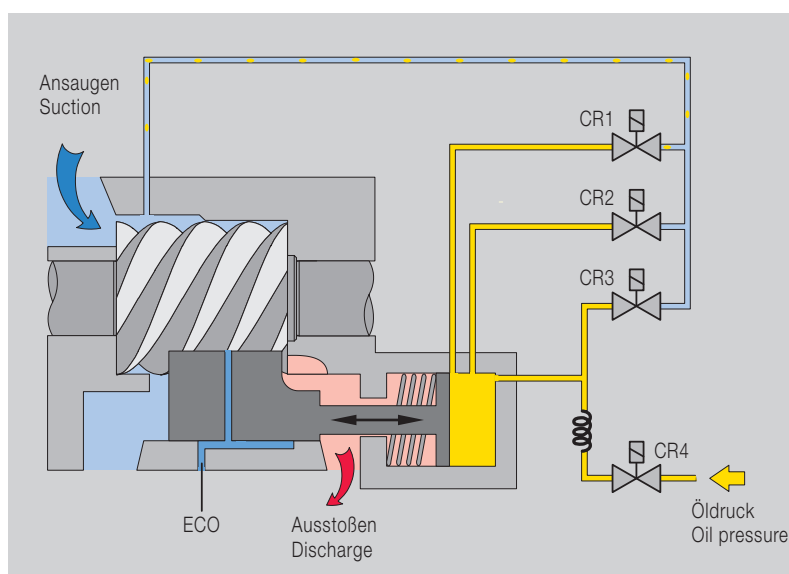


Abb. 4 Konstruktiver Aufbau und Funktion der integrierten „dualen“ Leistungsregelung bei Schraubenverdichtern CSH65 / 75 / 85 / 95 sowie HS.85 / OS.85

For larger screw compressors, it is usual for **control sliders** to be used in parallel to the rotor shafts, which permit stepped as well as stepless capacity control to be achieved. With modern compressor designs, the slider is fitted directly in the transition area between male and female rotor, whereby it is adapted precisely to the housing contour. This solution offers the potential for highest part load efficiencies, and by means of a corresponding design it also permits a demand-dependent variation of the “internal volume ratio (V_i)”.

Fig. 4 shows the design principle and the hydraulic circuit of such a control concept. During full load operation, the slider is fully left in the end position. As the rotors turn, the entire profile working space is filled with suction gas, whereby the full swept volume (100 %) is achieved. The further the slider is moved toward the discharge side (to the right), the smaller the available profile volume/active rotor length becomes. Less volume is drawn in, and the cooling capacity drops.

A special feature of the BITZER screw compressor is the “dual capacity control”. Without any changes to the compressor, this permits both 4-stage (25 – 50 – 75 – 100%) as well as stepless (25 ... 100%) control. The different operating modes are obtained simply by corresponding control of the solenoid valves. Together with the slider movement, the special geometry causes an adaptation of the internal volume ratio (V_i) to the part load conditions. This enables particularly good efficiencies to be achieved. Another unique feature in this performance class is the economiser channel (ECO) integrated in the slider. As opposed to conventional compressors, this allows operation in the particularly efficient economiser mode over the entire control range.

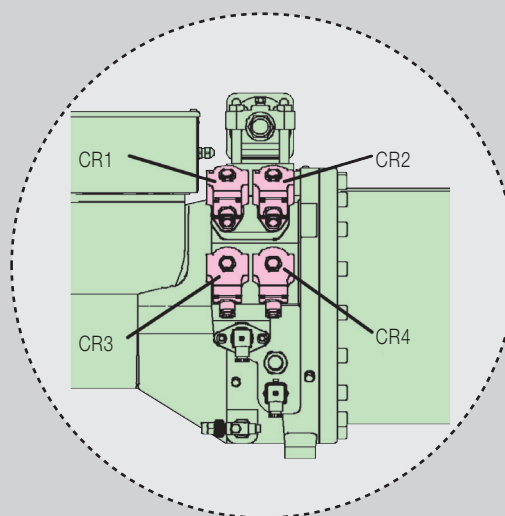


Fig. 4 Design and function of the integrated “dual” capacity control for screw compressor models CSH65 / 75 / 85 / 95 and HS.85 / OS.85

Die besonders hohe Effizienz dieser Verdichter im Voll- und Teillastbereich wird am Beispiel einer Anwendung bei Flüssigkeits-Kühlsätzen besonders deutlich (Abb. 5).

Die Referenzbedingungen basieren dabei auf einer von „Eurovent“ definierten Bewertung bei den Leistungsstufen 100 – 75 – 50 – 25%.

The especially high efficiency of these compressors for full and part load operation becomes particularly clear in the example of an application using liquid chillers (Fig. 5).

The reference conditions are based on an assessment for 100 – 75 – 50 – 25% performance stages defined by “Eurovent”.

Ergänzende Informationen zur Leistungsregelung von BITZER Schraubenverdichtern
(siehe auch <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Projektierungshandbücher für Schraubenverdichter SH-100 / SH-110 / SH-170 / SH-300 / SH-500 / SH-510
- ❑ Sonderausgabe SV-1001-D-GB „Effizientere Leistungsregelung von Schraubenverdichtern“
Informationen über Drehzahlregelung von Schraubenverdichtern siehe Abschnitt 7.2

Supplementary information on capacity control of BITZER screw compressors
(also see <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Application manuals for screw compressors SH-100 / SH-110 / SH-170 / SH-300 / SH-500 / SH-510
- ❑ Special Edition SV-1001-D-GB “More efficient capacity control of screw compressors”
Information on variable speed drive of screw compressors see chapter 7.2

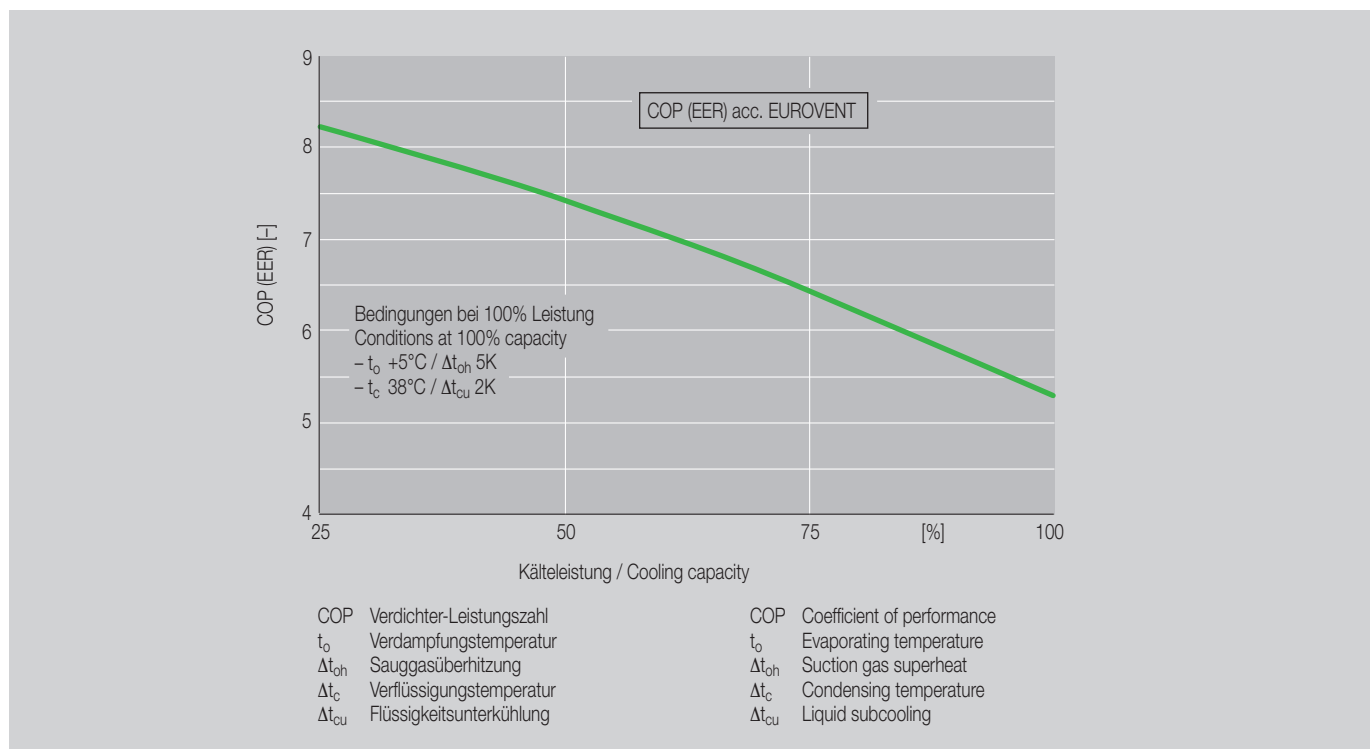


Abb. 5 Verdichter-Leistungszahlen COP (EER) im Voll- und Teillastbetrieb bei typischen Betriebsbedingungen von wassergekühlten Flüssigkeitskühlsätzen (EUROVENT Bewertung)

Fig. 5 Compressor COP (EER) data for full and part load operation under typical conditions with water-cooled liquid chillers (EUROVENT assessment)

5.3 Scroll-Verdichter

Scroll-Verdichter werden in gewerblichen Anwendungen meistens durch Aussetzbetrieb (ON/OFF) geregelt – häufig in Verbindung mit Tandem und Trio Parallelschaltung. In Teilbereichen gewinnt auch Drehzahlregelung (siehe Abschnitt 7.2) zunehmend an Bedeutung.

Inzwischen wurden auch mechanische Systeme zur Verdichterregelung entwickelt, wobei jedoch die konstruktiven Anforderungen bei diesem Verdichtungsprinzip nur wenige Optionen offen lassen.

Ein vergleichsweise einfaches Verfahren ist das interne **Bypass-System**, das ähnlich aufgebaut ist wie bei Schraubenverdichtern mit dem gleichen Regelprinzip (Abschnitt 5.2). Hierbei wird ebenfalls vorverdichtetes Gas aus einem zur Saugseite hin geschlossenen Arbeitsraum über ein elektrisch ansteuerbares Ventil zur Saugseite zurück geleitet. Die Abströmquerschnitte sind durch die Dicke der Spiralwände begrenzt. Bei zu großem Durchmesser entstünde ein innerer Gas-Kurzschluss zwischen Arbeitsräumen mit unterschiedlichen Drucklagen. Dies würde dann zu starken Verlusten bei Vollastbetrieb und erhöhter thermischer Belastung führen. Deshalb werden Scroll-Verdichter bei diesem System nur mit einer Teillast-Stufe ausgeführt, die jedoch insbesondere bei kleineren Druckverhältnissen nur einen geringen Regeleffekt bietet.

Eine anspruchsvollere Lösung ist die Regelung durch **intermittierendes Abheben der Spiralen**. Beim Öffnen der Spiralen wird der Ansaug- und Verdichtungsprozess unterbrochen, der Verdichter arbeitet dann bei „Null-Last“ und wird bei Bedarf wieder auf volle Leistung geschaltet. Im Prinzip handelt es sich hierbei um eine „Puls-Weiten-Modulation“. Mit dieser Methode kann eine quasi stufenlose Regelung über einen großen Bereich erreicht werden. Einschränkungen in der Anwendung sowie Wirkungsgradverluste ergeben sich aus dem stark zyklischen Betrieb. Bei jedem Schaltvorgang auf „Null-Last“ wird der Verdichtungsprozess abrupt unterbrochen und dadurch verdichtetes Gas aus den Arbeitsräumen wieder zur Saugseite geleitet. Bei einem hohen Anteil von Null-Last-Zyklen (geringe Teillast) führt dies zu einem deutlichen Wirkungsgradabfall und thermisch hoher Belastung, u.a. auch des Motors. Abgesehen davon ist durch die häufigen Schaltungen die mechanische Beanspruchung entsprechend hoch, auch mit Blick auf eine mögliche Instabilität der orbitierenden Spirale.

Ergänzende BITZER Dokumentation zur Leistungsregelung von Scroll-Verdichtern

(siehe auch <http://www.bitzer.de>)

- Prospekt ESP-121
Orbit 6: Tandem und Trio Verdichter
- Prospekt ESP-131
Orbit 8: Tandem und Trio Verdichter
Informationen über Drehzahlregelung von Scroll-Verdichtern siehe Abschnitt 7.2

5.3 Scroll-Verdichter

In commercial applications, scroll compressors are mostly operated in the intermittent mode (ON/OFF) – frequently in combination with tandem and trio parallel operation. In some areas, variable speed drive is also becoming more popular (see Chapter 7.2).

Meanwhile, mechanical systems for compressor control have also been developed, but the design requirements for this compressor principle leave little room for options.

A comparatively simple approach is the internal **bypass system**, which has a similar design to that used for screw compressors with the same control principle (Section 5.2). Hereby, precompressed gas is diverted from a closed working chamber back to the suction side by means of an electrically controlled valve. The flow cross sections are limited by the thickness of the spiral walls. An excessively large diameter would lead to an internal gas short circuit between working chambers with different pressure levels. This in turn would result in severe losses under full load operation, as well as higher thermal stress. Therefore, scroll compressors using this system are designed with just one part-load stage – but especially with low pressure ratios, this only offers a limited control effect.

A more demanding control solution is provided by **intermittent lifting of the scroll set**. Opening the spirals interrupts the suction and compression process, so that the compressor works with “zero load”, and can return to full load on demand. Principally, the method involves “pulse width modulation”, and permits quasi-stepless control to be achieved over a wide range. Limitations in terms of application and efficiency losses are given by the intense cyclical operating mode. With every change to “zero load” operation, compression is interrupted abruptly, and compressed gas is diverted from the working spaces back to the suction side. With a high proportion of zero load cycles (low part load), this leads to a clear reduction in efficiency as well as high thermal stress, e.g. of the motor. Moreover, the frequent cycling causes correspondingly high mechanical stresses, including possible instability of the orbiting scroll.

Supplementary BITZER documentation on capacity control of scroll compressors

(also see <http://www.bitzer.de>)

- Brochure ESP-121
Orbit 6: Tandem and Trio compressors
- Brochure ESP-131
Orbit 8: Tandem and Trio compressors
Information on variable speed drive of scroll compressors see chapter 7.2

6 Parallelbetrieb von Verdichtern

6.1 Parallelverbund

Der klassische Parallelverbund ist durch den Betrieb mehrerer Verdichter in einem gemeinsamen Kältemittel-Kreislauf gekennzeichnet. Die erforderliche Kälte- oder Wärmeleistung ist entsprechend aufgeteilt, wobei sowohl Verdichter identischer als auch unterschiedlicher Leistung kombiniert werden können. Entsprechend der Verdichteranzahl und jeweiligen Leistungsgröße lässt sich durch eine intelligente Steuerung eine hohe Regelgüte erreichen. Eine typische Anwendung sind Supermarktsysteme, bei denen die Lastanforderungen sehr unterschiedlich sein können. Im Bedarfsfall und auch wegen der Schalthäufigkeit oder größeren Schwankungen in den Betriebsbedingungen ist eine Ausrüstung der Verdichter mit den zuvor beschriebenen integrierten Systemen zur Leistungsregelung möglich bzw. erforderlich. Drehzahlregelung (Abschnitt 7.2) ist eine weitere Option, die ggf. nur bei einem der Verdichter eingesetzt wird, der dann die Grundlast stufenlos regeln und beim Zu- oder Abschalten von Einzelverdichtern die Stufensprünge ausgleichen kann.

Grundsätzlich eignen sich alle zuvor behandelten Verdichterbauarten sehr gut für den Parallelverbund, wobei aber die Anforderungen an den Ölausgleich zwischen den einzelnen Verdichtern sehr

6 Parallel operation of compressors

6.1 Parallel compounding

Classical parallel compounding involves the simultaneous operation of several compressors in a common refrigerant circuit. The required cooling or heating capacity is distributed accordingly, whereby compressors with identical or different sizes can be combined. According to the number of compressors and their respective capacities, a high level of control performance is possible by means of an intelligent control strategy. Typical applications are supermarket systems, in which the load demands can vary widely. Depending on demand, and also due to the cycling frequency or large variations in the operating conditions, fitting the compressors with integrated capacity control systems is possible or even necessary. Variable speed drive (Chapter 7.2) is a further option that can be used e.g. with just one of the compressors, enabling the lead load to be controlled continuously, as well as equalizing the step changes caused by individual compressors being switched on/off.

Principally, all of the above compressor designs are well-suited for parallel compounding, whereby the requirements regarding oil equalization between individual compressors can be very different. This applies in particular when compounding compressors with

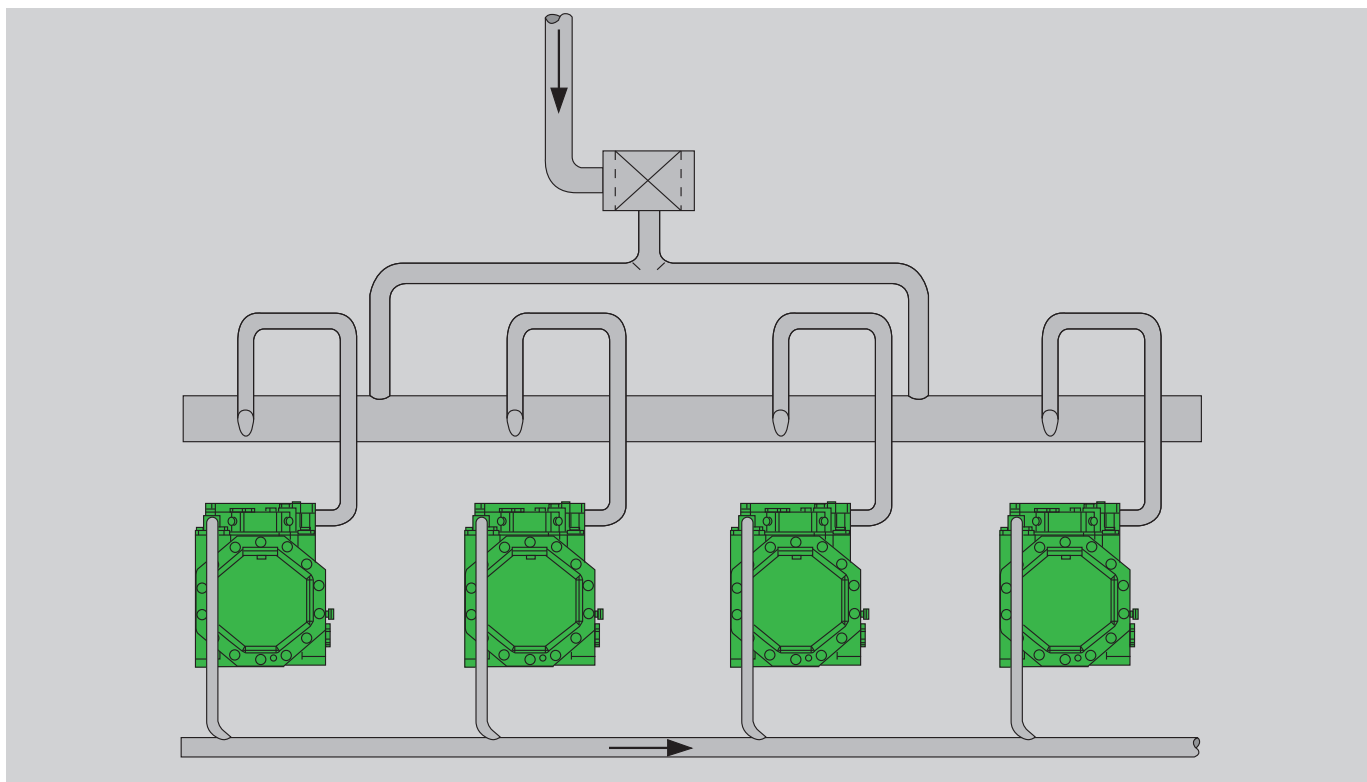


Abb. 6 Beispiel eines einfachen Parallel-Verbundsystems mit OCTAGON Verdichtern und optimiertem Saugleistungs-Kollektor

Fig. 6 Example of a simple parallel compounded system with OCTAGON compressors and optimized suction header

unterschiedlich sein können. Dies gilt besonders beim Verbund von Verdichtern unterschiedlicher Leistung.

BITZER hat für jede Bauart durch Versuche gestützte Lösungen entwickelt, die sich durch einfachen Aufbau und hohe Betriebssicherheit auszeichnen (siehe entsprechende Auflistung von Informationsschriften am Ende dieses Abschnitts).

Dies gilt auch im Speziellen für Schraubenverdichter der HS- und OS-Baureihen. Alle parallel geschalteten Verdichter arbeiten auf einen gemeinsamen Ölabscheider, die Ölzufuhr erfolgt über Rohrleitungen, die mittels Magnetventil oder integriertem Ölstopventil gesteuert werden. Damit lassen sich auch Verdichter verschiedener Leistung kombinieren, die sogar bei unterschiedlichen Saugdrücken betrieben werden können.

Neben der zuvor beschriebenen Verbundschaltung ist bei Kolbenverdichtern der Einsatz von Tandemmodellen zur Leistungsregelung eine weitere Alternative. Der Ölausgleich ist hier bereits konstruktiv gewährleistet, zusätzliche Maßnahmen sind meist nicht notwendig. BITZER bietet schon für relativ kleine Leistungen (ab $2 \times 11,4 \text{ m}^3/\text{h}$ Hubvolumen) ein umfassendes Programm von Tandemverdichtern an. Bereits bei den kleinen ECOLINE 4-Zylinder-Modellen (ab $2 \times 18 \text{ m}^3/\text{h}$) kann ein zusätzlicher Leistungsregler zur Zylinderabschaltung installiert werden, mit dem dann eine Leistungsstufung von 25 – 50 – 75 – 100% ermöglicht wird.

6.2 Parallel betriebene Einzelkreisläufe

Bei dieser Systemvariante werden mehrere getrennte Kältekreisläufe zusammengefasst. Verflüssiger und Verdampfer sind dabei jeweils in einer Einheit gruppiert und auf der Kältemittelseite unterteilt. Das Sekundärsystem ist als gemeinsamer Kreislauf ausgeführt. Typische Anwendungen sind Flüssigkeitskühlsätze, die bei größeren Leistungen vorwiegend mit Kompaktschraubenverdichtern ausgerüstet sind. Durch den großen Regelbereich dieser Verdichter lässt sich in Verbindung mit der Parallelschaltung von Einzelkreisläufen ebenfalls eine hohe Regelgenauigkeit erzielen. Im kleineren Leistungsbereich kommen auch Hubkolben- und Scrollverdichter zum Einsatz.

Vorteil dieser Systemlösung ist ein relativ einfacher Aufbau der einzelnen Kältekreisläufe und die erhöhte Sicherheit bei Kältemittelleckagen. Nachteilig sind die teilweise höheren Investitionskosten und die schlechtere Ausnutzung der Wärmeaustauscher bei Teillast.

Die Steuerung der Verdichter sollte trotz der Einzelkreisläufe mit einer Sequenzumschaltung ausgeführt werden. Bedingt durch den gemeinsamen Sekundärkreislauf werden auch die abgeschalteten Verdampfersegmente vom Kühlmedium durchströmt. Dadurch wird stetig eine Druckdifferenz zwischen Verflüssiger und Verdampfer aufrecht erhalten. Bereits geringe Leckagen zwischen Hoch- und Niederdruckseite können dann zu Kältemittelverlagerung auf die Saugseite mit der Folge starker Flüssigkeitsschläge beim nachfolgenden Verdichterstart führen.

different sizes. Backed by tests, BITZER has developed solutions for every design type, which are characterized by simple design and high operating reliability (see corresponding list of information brochures at the end of this chapter).

This also applies in particular for screw compressors of the HS and OS series. All parallel compounded compressors work with a common oil separator, and the oil is supplied via pipes that are controlled by means of solenoid valves or integrated oil stop valves. Accordingly, it is possible to combine compressors with different capacities, which can even be operated with uneven suction pressures.

Apart from the compounding method described above, the use of tandem reciprocating compressors is an alternative solution for capacity control. Here, oil equalization is already ensured by the design, so that additional measures are usually not required. BITZER offers a comprehensive range of tandem compressors of relatively small sizes (starting at $2 \times 11.4 \text{ m}^3/\text{h}$ displacement). Even the smaller ECOLINE 4-cylinder versions (starting at $2 \times 18 \text{ m}^3/\text{h}$) permit a capacity controller for cylinder unloading to be installed, which makes it possible to achieve a capacity graduation of 25 – 50 – 75 – 100%.

6.2 Parallel operation of single circuits

With this system version, several separate cooling circuits are combined. Hereby, condensers and evaporators are grouped as a unit, and are sub-divided on the refrigerant side. The secondary system is implemented as a common circuit. Typical applications are liquid chillers, which are equipped mainly with compact screw compressors in the case of larger capacities. Due to the wide control range of these compressors, and in combination with parallel operation of single cooling circuits, it is also possible to achieve high control accuracies. For smaller capacities, reciprocating and scroll compressors are also used.

The advantage of this system solution lies in the relatively simple layout of the individual cooling circuits, and the increased safety in case of refrigerant leakages. Less favourable are the partially higher investment costs and the lower heat exchanger utilization with part loads.

In spite of the individual circuits, the compressors should be controlled by means of sequence changing. Because of the common secondary circuit, the coolant also flows through the disabled evaporator segments. In this way, a permanent pressure difference is maintained between condenser and evaporator. Even slight leakages between high- and low-pressure sides can then lead to refrigerant migration to the suction side, with resulting strong liquid slugging at the next compressor start.

Ergänzende BITZER Informationen zum Parallelbetrieb von BITZER Hubkolben- und Schraubenverdichtern
(siehe auch <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Hubkolbenverdichter
Technische Informationen KT-600 / KT-601 / KT-602
- ❑ Schraubenverdichter
Projektierungshandbücher SH-100 / SH-110 /
SH-500 / SH-510

Supplementary information on parallel operation of BITZER reciprocating and screw compressors
(also see <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Reciprocating compressors
Technical Information KT-600 / KT-601 / KT-602
- ❑ Screw compressors
Application manuals SH-100 / SH-110 /
SH-500 / SH-510

7 Drehzahlregelung

Drehzahlvariabler Betrieb zur Leistungsregelung wird bei Verdränger-Verdichtern bereits seit vielen Jahren angewandt, wobei in erster Linie offene Verdichter mit Regelgetrieben oder regelbaren Sondermotoren zum Einsatz kamen. Diese Antriebskonzepte waren jedoch eher die Ausnahme und wurden nur dann verwendet, wenn z.B. keine klassische Verdichter-Leistungsregelung möglich war oder besondere Anforderungen vorlagen.

Erst mit der Entwicklung von Frequenzumrichtern (Abschnitt 7.2) für den modulierenden Antrieb üblicher (kostengünstiger) Asynchron-Motoren wurde die Drehzahlregelung von Verdichtern interessant und nimmt heute bereits einen größeren Umfang bei vielen Anwendungen ein.

7.1 Polumschaltbarer Motor

Polumschaltbare Motoren sind vergleichsweise kostengünstig und wurden deshalb verschiedentlich in Verdichterkonstruktionen eingesetzt, bei denen eine mechanische Leistungsregelung aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht sinnvoll war. Inzwischen wird diese Antriebsart bei Kälteverdichtern kaum mehr verwendet. Gründe hierfür liegen neben der Weiterentwicklung alternativer Systeme u.a. auch in einer Reihe gravierender Nachteile dieses Antriebs.

Hierzu ist anzumerken, dass übliche polumschaltbare Motoren für den Einsatz in Kälteverdichtern nur für eine Drehzahl hinsichtlich Wirkungsgrad, Drehmomentverlauf und Leistungsfaktor optimiert werden können. In der anderen Drehzahlstufe liegen dann deutlich schlechtere Bedingungen vor. Hinzu kommt, dass jede Drehzahländerung einem Neustart mit hohem Einschaltstrom gleich kommt und sich deshalb eine hohe Schaltfrequenz sehr nachteilig auf Verdichter- und Motorlebensdauer sowie auf die Netzbelastung auswirkt.

7 Variable speed drive (VSD)

Variable speed drive operation for capacity control has been applied to positive displacement compressors since many years, whereby this mainly involved open drive compressors with variable speed gears or special speed modulated motors. However, these drive concepts were more of an exception, and were only used if e.g. no classical capacity control was possible or special requirements had to be met.

It was only after the development of frequency inverters (Section 7.2) for modulating the speed of conventional (low-cost) asynchronous motors that speed control of compressors became an issue, and today enjoys wide use for many applications.

7.1 Pole-switched motor

Pole-switched motors have a comparably reasonable price, which is why they were used in many different compressor designs, for which mechanical capacity control was precluded for technical or economic reasons. Meanwhile, this type of drive is hardly used for refrigeration compressors. Apart from the development of alternative systems, the reasons for this also lie in several serious disadvantages of this drive.

In this respect it must be noted that conventional pole-switched motors for use with refrigeration compressors can only be optimized for a specific speed in terms of efficiency, torque characteristics, and power factor. At the other speed, the motor exhibits considerably poorer values. Moreover, every speed change is equivalent to a new start with high start-up currents, so that high cycling rates have a very adverse effect on compressor and motor life, as well as on the power supply load.

7.2 Antrieb über Frequenzumrichter

Wie zuvor beschrieben, ermöglicht der Frequenzumrichter eine **Drehzahlregelung** mit üblichen Asynchronmotoren und gewährleistet deshalb bei den meisten Verdichterbauarten einen sehr effizienten Betrieb. Dennoch stellt sich die Frage, ob diese im Vergleich zu den bereits beschriebenen Verfahren relativ teure Technologie (Umrichterkosten) wirtschaftlich vertretbar und sinnvoll ist. Eine pauschale Bewertung ist hier nicht möglich – sie muss im Zusammenhang mit dem gesamten Spektrum der nachfolgend aufgeführten technischen Merkmale und den Anforderungen an die Regelgenauigkeit betrachtet werden:

- ❑ Möglichkeit zur Drehzahlregelung von ein- und 3-phasigen Asynchronmotoren
 - stufenlose Leistungsregelung über einen großen Bereich
 - hohe Regelgenauigkeit
 - reduzierte Schalthäufigkeit des Verdichters
 - Einsatz von Verdichtern, bei denen mechanische Verfahren begrenzt sind
 - Potential zur Leistungserhöhung des Verdichters gegenüber direkter Netzversorgung durch sog. „übersynchronen“ Betrieb
- ❑ Softstart-Funktion
 - Strom steigt gleichmäßig bis zum Betriebsstrom
 - keine Einschaltstromspitzen, geringe Netzbelastung
 - keine Anlaufentlastung erforderlich, da hohes Drehmoment
 - geringe Beanspruchung des Motors beim Anlauf
 - reduzierte mechanische Belastung des Verdichters sowie verbesserte Schmierbedingungen
 - verringerte Belastung des Verdichters beim Ansaugen von Kältemittelflüssigkeit während des Anlaufs

7.2 Drive with frequency inverter

As described above, frequency inverters permit **speed control** with conventional asynchronous motors, and can therefore be used very efficiently with most compressor types. Nonetheless, the question arises whether this relatively expensive technology (inverter costs) is economically justifiable when compared with the previously described methods. An overall assessment is not possible in this case – it must be viewed in connection with the entire spectrum of technical features and the demands placed on control accuracy listed below:

- ❑ Possibilities for speed control of single and three-phase asynchronous motors
 - stepless capacity control over a wide range
 - high control accuracy
 - reduced compressor switching rate
 - use of compressors that have a limited scope for mechanical methods
 - potential for increased compressor capacity by means of “supersynchronous” operation, as opposed to direct power supply
- ❑ Softstart function
 - continuous current rise to operating current
 - no inrush current peaks, low power supply loading
 - no start unloading necessary, as high torque is available
 - low motor loading during start-up
 - reduced mechanical load of compressor, as well as improved lubrication conditions
 - reduced compressor load during take-in of liquid refrigerant at start-up

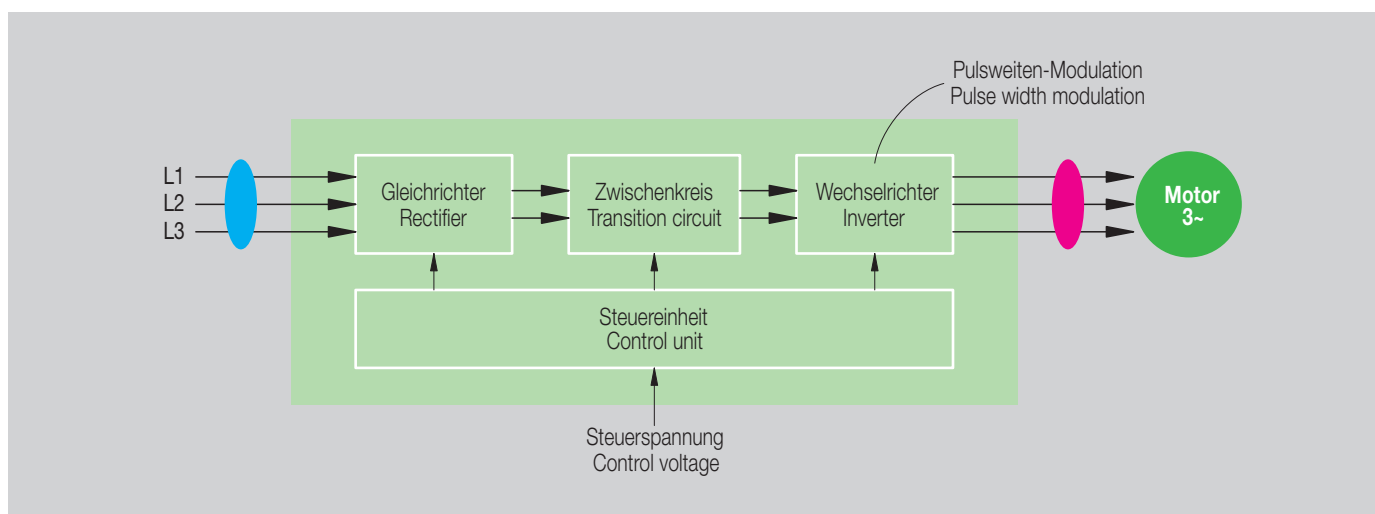


Abb. 7 Schematischer Aufbau eines Frequenzumrichters

Fig. 7 Schematic diagram of a frequency inverter

Bei Leistungsregelung mittels Frequenzumrichter sind einige prinzipielle Zusammenhänge zu berücksichtigen. Im Falle von Asynchronmotoren wird die Drehzahl von der Polzahl des Motors und der Netzfrequenz bestimmt. Bei konstanter Polzahl (Standardmotoren) ändert sich die Drehzahl proportional zur Frequenz.

Einfluss von Polzahl (Anzahl der Polpaare) und Frequenz (f) auf die Drehzahl (n):

$$n_{\text{Motor}} = \frac{f \times 60}{\text{Anzahl Polpaare}} - n_{\text{Schlupf}}$$

Hierbei ist jedoch gleichzeitig eine Veränderung der Eingangsspannung erforderlich, um den Magnetfluss entsprechend anzupassen. Die notwendige Spannungsänderung steht aber wiederum im Zusammenhang mit der Drehmomentcharakteristik der anzutreibenden Einheit.

Verdrängermaschinen, wie z.B. Hubkolben-, Schrauben- und Scroll-Verdichter, haben bei definierten Betriebsbedingungen einen nahezu konstanten Drehmomentbedarf über den gesamten Drehzahlbereich. Mit Blick auf die magnetischen Verhältnisse müssen deshalb Spannung und Frequenz proportional verändert werden:

Verhältnis Spannung / Frequenz [U/f] ⇒ konstant

In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, dass übliche Frequenzumrichter keine höhere Ausgangsspannung zum Motor als die Netzspannung bereitstellen können. Dies bedeutet, dass ein für die Netzspannung ausgelegter Motor (z.B. 400V-3-50Hz) bei übersynchronem Betrieb (> 50 Hz) mit „Unterspannung“ (400 V konstant) versorgt wird und deshalb nicht mehr das volle Drehmoment aufbringen kann. Sofern jedoch der Motor bei den maximalen Betriebsbedingungen des Verdichters noch genügend Leistungsreserve aufweist (ca. 25% bei Einsatz bis 60 Hz), kann diese Auslegung sogar vorteilhaft sein. Im Falle einer Störung am Umrichter ist dann ein Notbetrieb direkt am Netz möglich.

Wird hingegen der Motor bei Standardbedingungen bereits bis zum maximalen Drehmoment ausgelastet, ist ein Motor mit Sonderspannung erforderlich. Teilweise werden auch sog. Spannungs-Booster verwendet – die Spannungsgrenze des Motors ist dabei zu beachten. Bei Sondermotoren bieten sich je nach Auslegung und/oder zulässigem Drehzahlbereich des Verdichters folgende Motoroptionen an (bezogen auf o.g. Netzversorgung 400V-3-50Hz):

400V-3-60Hz (Spannungs-/Frequenzverlauf: Abb. 8 < B >)
→ Einsatz bis 60 Hz (+20% Motordrehzahl) bei vollem Motordrehmoment

230V-3-50Hz (Spannungs-/Frequenzverlauf: Abb. 8 < C >)
→ Einsatz bis 87 Hz (+73% Motordrehzahl) bei vollem Motordrehmoment – maximal zulässige Drehzahl des Verdichters ist dabei zu beachten

When using frequency inverters for capacity control, several basic interrelations must be taken into account. With asynchronous motors, speed is determined by the number of pole pairs and the network frequency. With a fixed number of poles (standard motors), speed varies as a function of frequency.

Influence of the number of pole pairs and frequency (f) on speed (n):

$$n_{\text{motor}} = \frac{f \times 60}{\text{Number of pole pairs}} - n_{\text{slip}}$$

Hereby, however, a simultaneous change of supply voltage is required, in order to adapt the magnetic flux accordingly. Conversely, the necessary change in supply voltage has an effect on the torque characteristics of the device to be driven.

Under defined operating conditions positive displacement machines such as reciprocating, screw, and scroll compressors have a practically constant torque requirement over the entire speed range. In view of the magnetic conditions, therefore, voltage and frequency must be changed proportionally:

Ratio of voltage / frequency [U/f] ⇒ constant

In this respect it is to be considered that conventional inverters cannot supply motor operating voltages that are higher than the available supply voltage. This means that a motor designed for a particular supply voltage (e.g. 400V-3-50Hz) will be supplied with “under-voltage” (400 V constant) during transsynchronous operation (> 50 Hz), and is therefore unable to provide its full torque. But provided that the motor still has sufficient power reserves under the compressor’s maximum operating conditions (approx. 25% up to 60 Hz), this layout can even be advantageous. In case of an inverter failure, emergency operation directly from the power supply is possible.

However, if the motor is already loaded with maximum torque during normal conditions, a motor with special voltage is necessary. Occasionally, so-called voltage boosters are used, whereby the motor’s voltage limits must be observed. With special motors, and depending on design and/or permissible compressor speed range, the following motor options are possible (based on the above 400V-3-50Hz supply):

400V-3-60Hz (voltage/frequency curve: see Fig. 8 < B >)
→ use up to 60 Hz (+20% motor speed) with full motor torque

230V-3-50Hz (voltage/frequency curve: see Fig. 8 < C >)
→ use up to 87 Hz (+73% motor speed) with full motor torque
– max. permissible compressor speed must be observed

Alle BITZER Verdichter sind konstruktiv für übersynchronen Betrieb ausgelegt und können ebenfalls bis zu sehr niedrigen Frequenzen (20 – 30 Hz, abhängig von Verdichterbauart und Einsatzbedingungen) und damit über ein besonders breites Leistungsspektrum betrieben werden. Weitere Erläuterungen hierzu siehe nachfolgenden Abschnitte und die am Schluss des Artikels aufgelisteten ergänzenden Informationsschriften.

Entwicklungsschritte und Betriebserfahrungen

BITZER Verdichter werden seit mehr als 20 Jahren in größeren Stückzahlen mit Frequenzumrichtern zur Drehzahlregelung in verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Nachfolgend eine Zusammenfassung der Entwicklungsschritte und gewonnenen Betriebserfahrungen.

In der ersten Entwicklungsphase von Umrichtern war die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik noch unzureichend für die besonders hohen Anforderungen im Bereich der Kälte- und Klimatechnik. Außerdem lagen die Kosten teilweise beim Mehrfachen des Verdichterpreises. Dennoch hat BITZER schon sehr früh die Vorteile dieser Technologie erkannt und bereits ab 1984 mit umfangreichen Tests begonnen und auf der damaligen IKK-Messe ein Funktionsmodell mit einem halbhermetischen Schraubenverdichter gezeigt.

Der erste Flüssigkeitskühlsatz mit zwei frequenzgeregelten Schraubenverdichtern (HSK7061-80) zur Klimatisierung eines Bürogebäudes in München wurde 1987 in Betrieb genommen. Schon ein Jahr zuvor kamen die ersten halbhermetischen 4- und 6-Zylinder-Hubkolbenverdichter mit Frequenzumrichter für die Klimatisierung von Reisezugwagen zum Einsatz. Die Motoren für diese spezielle Anwendung wurden mit Rechteckspannung an Stelle der üblichen Sinusspannung versorgt.

All BITZER compressors are designed for supersynchronous operation, and can also be run at very low frequencies (20 – 30 Hz, depending on compressor type and operating conditions), which gives them a particularly wide capacity range. Additional information is given in the following sections and in the supplementary documentation listed at the end of this article.

Development steps and operational experience

For more than 20 years, large numbers of BITZER compressors have been used with frequency inverters for speed control in most varied applications. Below is a summary of the development steps and the acquired operational experience.

During the first development phase of inverters, the reliability of the power electronics was insufficient for the particularly high demands in the refrigeration and air-conditioning fields. Moreover, the costs were sometimes a multiple of the compressor price. Nonetheless, BITZER recognized the advantages of this technology very early, and started with comprehensive tests in 1984, and exhibited a functional model with a semi-hermetic screw compressor at that year's IKK exhibition.

The first liquid chiller unit with two frequency-controlled screw compressors (HSK7061-80) was commissioned in 1987 for the air-conditioning system of an office building in Munich. But already one year earlier, the first semi-hermetic 4 and 6-cylinder reciprocating compressors with frequency inverters had been installed in railway passenger cars. The motors for this special application were energized with square-wave voltage instead of the usual sine-wave supply.

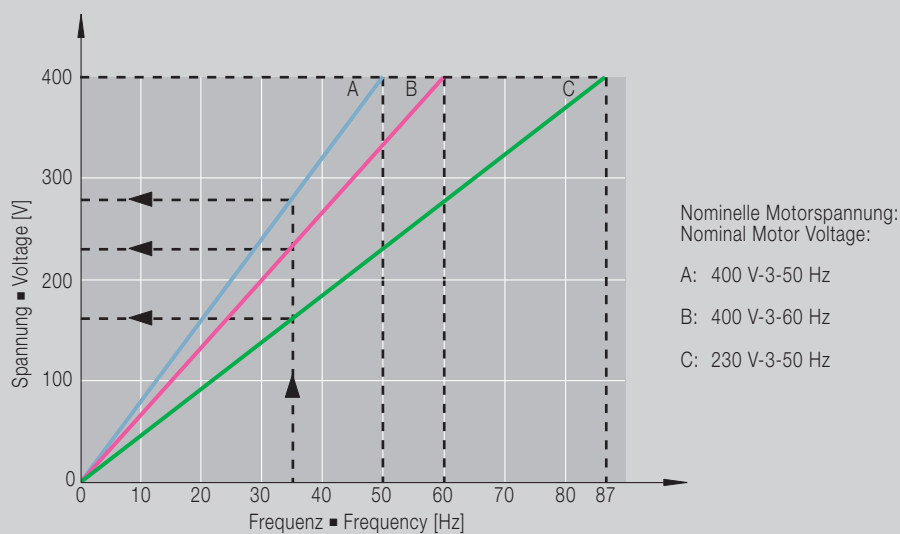


Abb. 8 Spannungs- und Frequenzverhältnisse bei konstantem Drehmoment (Netzversorgung 400V-3-50Hz)

Fig. 8 Voltage/frequency relationships for constant torque (power supply 400V-3-50Hz)

Eine besondere Innovation war die Entwicklung von hermetischen Schraubenverdichtern (VSK31) für Umrichterbetrieb in einem Frequenzbereich von 20 bis 87 Hz (1200 bis 5200 min⁻¹). Es ist bisher wenig bekannt, dass diese Verdichter schon seit 1988 in den ICE Zügen der Deutschen Bahn betrieben werden und sich inzwischen in vielen weiteren Projekten bewährt haben.

Beim jüngsten Entwicklungsprojekt handelt es sich um eine neue Generation frequenz geregelter Schraubenverdichter für Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen. Wesentliches Merkmal dieser Verdichter ist der bisher unerreicht große Regelbereich (bis > 1 : 6) für höchste Wirkungsgrade in Systemen mit stark veränderlichen Lastbedingungen. Der integrierte kältemittelgekühlte Frequenzumrichter baut besonders kompakt und bedarf keiner speziellen Wartung.

Eine Besonderheit ist auch die intelligente Überwachung und Steuerung der Verdichter. Dies umfasst ebenfalls die Kommunikation mit dem Systemregler mittels Modbus.

Eine detaillierte Beschreibung über diese Verdichterbaureihe und deren Anwendung wird in den Prospekten SP-160 und SP-162 abgehandelt.

Bereits seit den frühen 90er-Jahren werden Verbundanlagen mit Hubkolben- und Schraubenverdichtern in größerer Anzahl mit Frequenzumrichtern ausgerüstet. Dabei sind die Systeme meistens so aufgebaut, dass nur der Grundlastverdichter frequenz geregelt wird. Diese Auslegung ermöglicht in Verbindung mit Aussetzbetrieb und/oder gestufter Regelung der parallel betriebenen Verdichter eine sehr kostengünstige Lösung mit hoher Regelgüte.

One noteworthy innovation was the development of hermetic screw compressors (VSK31) for inverter operation in a frequency range of 20 to 87 Hz (1200 to 5200 rpm). Moreover, it is hardly known that these compressors have been operated in the ICE trains of the Deutschen Bahn since 1988, and have meanwhile proved their reliability in numerous other projects.

The recent development project involves a new generation of frequency-controlled screw compressors for liquid chillers and heat pumps. The decisive feature of these compressors is the previously unmatched large control range (up to > 1 : 6) for highest efficiencies in systems with heavily varying load conditions. The integrated refrigerant-cooled frequency inverter is extremely compact and requires no special service.

Another feature is the intelligent monitoring and control of the compressors. This also involves communication with the system control via Modbus.

Detailed information on this compressor series and its application can be found in the brochures SP-160 and SP-162.

Already since the early 90's, countless compounded systems with reciprocating and screw compressors have been fitted with frequency inverters. In most of these systems, only the lead compressor is frequency controlled. Together with intermittent operation and/or stepped control of the parallel compressors, this arrangement provides a very cost-effective solution with good control performance.

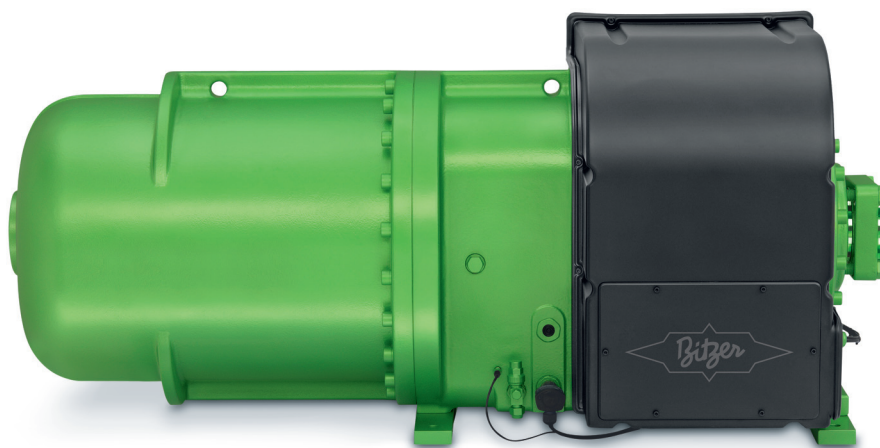


Abb. 9 Frequenz geregelter Schraubenverdichter CSVH/CSWW

Fig. 9 Frequency-controlled screw compressor CSVH/CSWW

Bei der Entwicklung der OCTAGON Baureihe (Markteinführung beginnend ab 1998) wurde durch eine besondere konstruktive Ausführung bereits die Basis für den Betrieb in einem nach oben erweitertem Drehzahlbereich gelegt. Die Maßnahmen umfassen neben der 4-Zylinderbauweise bei relativ kleiner Leistungsgröße einen optimierten Massenausgleich, kurzen Kolbenhub sowie ein spezielles Schmiersystem. Diese Konzeption ermöglicht den betriebssicheren und effizienten Betrieb auch weit oberhalb der Synchrondrehzahl und ist damit beste Voraussetzung für den kostengünstigen Einsatz von Frequenzumrichtern.

Ein besonderes Projekt im Rahmen dieser Entwicklung betrifft einen 2-stufigen Verdichter in Leichtmetallbauweise (Abb. 10), der speziell für frequenzvariablen Antrieb ausgelegt ist. Der Umrichter ist direkt am Verdichter angebaut und wird durch Mitteldruckgas gekühlt; Fremdkühlung ist deshalb nicht erforderlich. Dieser Verdichter wurde gezielt auf die besonderen Bedingungen beim Einsatz in Kühl-Containern auf Schiffen ausgelegt. Der Anwendungsbereich reicht von Klima- bis Tiefkühlung über einen Drehzahlbereich von 600 – 2900 min⁻¹ (20 bis 100 Hz) und ermöglicht damit eine bei dieser Anwendung bisher unerreichte Regelgüte und Effizienz. Inzwischen sind schon deutlich über 100.000 dieser Verdichter rund um die Welt in Kühl-Containern im Einsatz. Betriebsergebnisse und Zuverlässigkeit sind außerordentlich gut.

During development of the OCTAGON series (market introduction starting 1998) a special design was the basis for operation with an upwards extended speed range. Apart from the 4-cylinder design with relatively low capacity, these measures included optimized mass balance, short stroke, and a special lubricating system. This approach permits safe and efficient operation well above the synchronous speed, and is therefore the best prerequisite for the cost-effective use of frequency inverters.

One special project within the scope of this development involved a 2-stage compressor in light alloy construction (Fig. 10) that is designed specifically for variable-frequency operation. The inverter is mounted directly to the compressor, and is cooled by means of intermediate pressure refrigerant – i.e. separate cooling is not necessary. This compressor was designed specifically to meet the special requirements for use with refrigerated containers on ships. Its application range varies from high to low temperature within a speed range of 600 – 2900 rpm (20 to 100 Hz), which enables it to achieve previously unknown levels of control performance and efficiency. Meanwhile, considerably more than 100,000 of these compressors are in worldwide use with refrigerated containers. Operational results and reliability are exceptionally good.

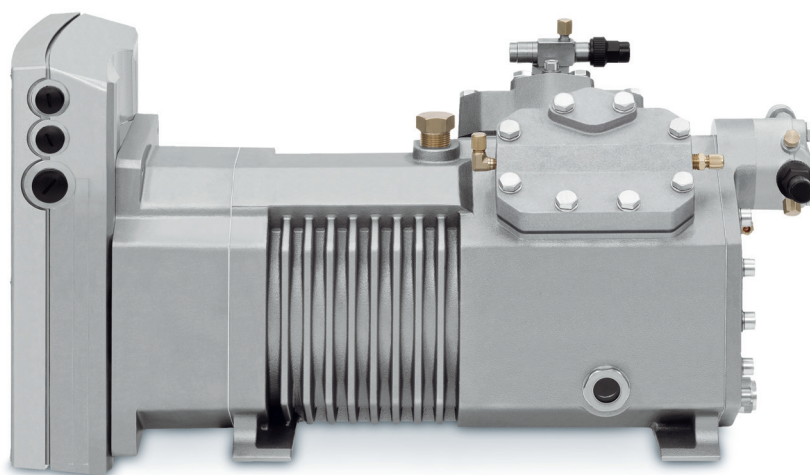


Abb. 10 Halbhermetischer 2-stufiger Kolbenverdichter mit angebautem Frequenzumrichter

Fig. 10 Semi-hermetic reciprocating compressor with directly mounted frequency inverter

Inzwischen wurde auch die Verdichterserie VARISPEED mit direkt angebaute sauggasgekühltem Umrichter entwickelt. Diese Entwicklung stützt sich auf die langjährige Erfahrung mit getrennt vom Verdichter aufgestellten Umrichter-Lösungen, im Besonderen aber auf das zuvor beschriebene erprobte Konzept bei 2-stufigen Verdichtern für Container-Kühlsätze. Mit dieser speziell auf die Verdichter abgestimmten Umrichterauslegung konnte auch der Drehzahlbereich nach oben erweitert werden und umfasst jetzt ein Frequenzspektrum bis 87 Hz.

Die Verdichterbaureihe wird ebenfalls in den ECOSTAR Verflüssigungssätzen (Abb. 12) eingesetzt, die sich besonders durch einfache Installation (wichtige Parameter sind vorkonfiguriert), hohe Regelgenauigkeit und geringen Energiebedarf auszeichnen.

BITZER Scrollverdichter wurden ebenfalls bereits konstruktiv für einen erweiterten Drehzahlbereich ausgelegt. Nach umfangreichen Labortests ist seit einiger Zeit eine größere Anzahl von Verdichtern mit Frequenzumrichtern im Einsatz. Die Betriebsergebnisse sind außerordentlich gut und die Teillast-Wirkungsgrade deutlich günstiger als bei den unter Abschnitt 5.3 beschriebenen Verfahren.

In the meantime, also the compressor series VARISPEED has been developed with directly mounted suction gas cooled inverters. This development is based on long experiences with inverter solutions which were installed separately from the compressor, and particularly on the approved concept for 2-stage compressors for container units, as described before. Due to this inverter design which was especially adapted to the compressors, the speed range could be extended upwards to a frequency spectrum of 87 Hz.

The compressors series is also used in the ECOSTAR condensing units (Fig. 12), which are especially characterized by its easy installation (important parameters are pre-configured), its precise control accuracy, and its low energy consumption.

Similarly, BITZER scroll compressors have already been designed for an extended speed range. Following extensive laboratory tests, a considerable number of compressors with frequency inverters have been in operation for quite a while. The operating results are exceptionally good, and part-load efficiencies are significantly better than with the methods described in Section 5.3.

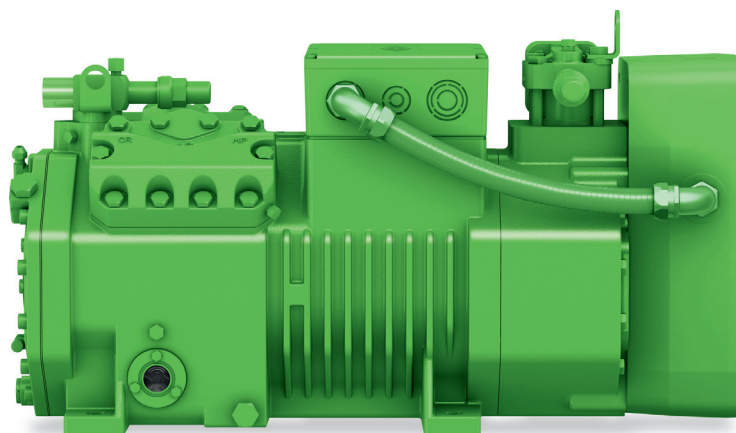


Abb. 11 ECOLINE VARISPEED Verdichter mit angebaute Frequenzumrichter

Fig. 11 ECOLINE VARISPEED compressor with directly mounted frequency inverter

Zusammenfassung

Die Vielzahl von Anwendungen und die positiven Erfahrungen über mehr als 20 Jahre beim Einsatz von Kolben-, Schrauben- und Scroll-Verdichtern mit Frequenzumrichtern zeigen, dass es sich hier um eine bei BITZER erprobte Technologie handelt. Gleichzeitig bestätigt sich darin auch die führende Rolle bei der Entwicklung dieses fortschrittlichen Verfahrens zur Leistungsregelung.

Im Rahmen der stetigen Weiter- und Neuentwicklungen von BITZER Verdichtern wurden jeweils auch die Anforderungen für den effizienten Einsatz der Umrichtertechnik berücksichtigt. Damit steht heute eine unvergleichlich umfassende Palette an Produkten zur Verfügung, die bereits in Tausenden von mobilen und stationären Anlagen weltweit im Einsatz sind.

Ausblick

Die von BITZER entwickelte konstruktive Lösung mit direkt am Verdichter angebautem kältemittelgekühltem Frequenzumrichter ist eine besonders wirtschaftliche, zuverlässige und einfach anzuwendende Technologie. Eine sukzessive Erweiterung der Modellpaletten wurde bereits eingeleitet.

Dieses Konzept eignet sich auch in hervorragender Weise für den künftigen Einsatz neuer Motortechnologien, an deren Entwicklung und spezifischer Anpassung schon mehrere Jahre intensiv gearbeitet wird. Die Kompaktschrauben der CSVW Baureihe sind bereits mit Permanentmagnet-Motoren ausgerüstet.

Summary

The great number of applications, and the positive experiences gathered during the more than 20-year operation of reciprocating, screw, and scroll compressors with frequency inverters have shown that this technology is well proven at BITZER. At the same time, it also confirms the leading role played during development of this advanced method for capacity control.

In the course of permanent further and new developments for BITZER compressors, the demands for efficient application of the inverter technology were also taken into account. As a result, an incomparably comprehensive range of products is available today, which are working reliably all over the world in mobile and stationary systems.

Outlook

The constructive solution developed by BITZER, with refrigerant-cooled frequency inverter mounted directly to the compressor, is a highly economical, reliable and easy-to-use technology. The gradual expansion of the model ranges has already been initiated.

This concept is also perfectly suited to the future use of new motor technologies that have been undergoing intense development and specific adaptations for several years already. Compact screws of the CSVW series are already equipped with permanent magnet motors.

Ergänzende Informationen zum Antrieb von BITZER Verdichtern mit Frequenzumrichtern
(siehe auch <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Hubkolbenverdichter ECOLINE VARISPEED
Prospekt KP-102
Technische Information KT-420
- ❑ ECOSTAR Verflüssigungssätze
Prospekt KP-210
Sonderausgabe KV-0801-D-GB
- ❑ Kompakt-Schraubenverdichter CSVH/CSVW
Prospekte SP-160, SP-162
- ❑ ORBIT Scroll-Verdichter
Prospekt ESP-132

Supplementary information on the operation of BITZER compressors with frequency inverters
(also see <http://www.bitzer.de>)

- ❑ Reciprocating compressors ECOLINE VARISPEED
Brochure KP-102
Technical Information KT-420
- ❑ ECOSTAR Condensing Units
Brochure KP-210
Special issue KV-0801-D-GB
- ❑ Compact screw compressors CSVH/CSVW
Brochures SP-160, SP-162
- ❑ ORBIT Scroll compressors
Brochure ESP-132



Abb. 12 ECOSTAR Verflüssigungssatz mit Frequenzregelung und intelligenter Steuerung

Fig. 12 ECOSTAR Condensing Unit with frequency modulation and intelligent control



BITZER Kühlmaschinenbau GmbH
Eschenbrünnelestraße 15 // 71065 Sindelfingen // Germany
Tel +49 [0]70 31 932-0 // Fax +49 [0]70 31 932-147
bitzer@bitzer.de // www.bitzer.de

Subject to change // Änderungen vorbehalten // 80050402 // 09.2014