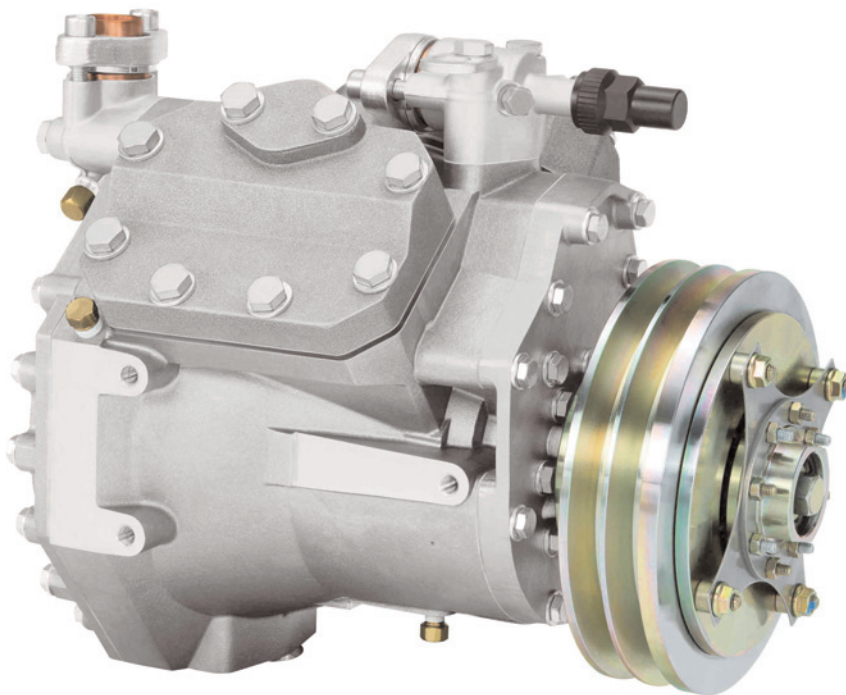


Ein neuer Verdichter für die Bus-Klimatisierung



A New Compressor for
Bus Air-Conditioning

Ein neuer Verdichter für die Bus-Klimatisierung

1 Einführung

Basierend auf den Erfahrungen mit über 100.000 im Einsatz befindlichen Verdichtern der Baureihe 4UFCY bis 4NFCY (400 – 660 ccm) wurde für Bus-Klimaanlagen kleinerer und mittlerer Leistung eine preiswertere Verdichter-Alternative entwickelt. Sie überzeugt durch besondere Innovationen, wobei aber ebenfalls die höhere Lebensdauer im Vergleich zu Taumelscheiben-Verdichtern erhalten bleibt.

2 Stand der Technik

Im stark wachsenden Markt für kleinere bis mittlere Busse mit Heckmotorantrieb lassen sich verschiedene Lösungen für Klimaverdichter finden. Allen gemeinsam ist, dass die Verdichter von der Kurbelwelle des Dieselmotors über Riemmen angetrieben werden. Stärker kostenorientierte Lösungen basieren auf PKW-Klimaverdichtern, die z.B. im "Doppelpack" in einem recht aufwändigen Einbau die erforderliche Leistung erbringen können (Abbildung 1).

Die PKW-Verdichter sind zwar auf Grund der produzierten Stückzahlen sehr billig zu haben, erfüllen aber nicht die Anforderungen für den Buseinsatz: Hier wird eine Lebensdauer von 10.000 Stunden gefordert und auch energetisch sind PKW-Verdichter nicht auf dem für Buseinbauten üblichen Stand. Häufig fallen die PKW-Verdichter in der Busanwendung schon nach einem Jahr aus und verursachen dann höhere Kosten, als wenn gleich zum "richtigen" Produkt gegriffen worden wäre. Der Versagensmechanismus bezieht sich dabei häufig auf Mangelschmierung infolge Betriebs mit zuviel flüssigem Kältemittel. Das Kältemittel R134a (Tetrafluorethan) verhält sich dann wie ein Lösungsmittel und wäscht den Schmierfilm ab. Auf Grund der fehlenden Öl-Kältemittel-Trennung bei den PKW-Verdichtern und eines



Abb. 1 Buseinbau mit 2 x 170 ccm PKW-Verdichter

Fig. 1 Bus installation of 2 x 170 ccm motor car compressors

A New Compressor for Bus Air-Conditioning

1 Introduction

Based on the experience gained from over 100.000 compressors in the 4UFCY to 4NFCY (400 – 660 ccm) series presently in use, a cost effective compressor alternative has been developed especially for small and medium capacity bus air-conditioning systems. It features outstanding innovations and maintains the superior service life for the user when compared to wobble-plate compressors.

2 State-of-the-art technology

On the strongly expanding market there are several solutions for air-conditioning (A/C) compressors for small to medium size buses with rear engines. One thing all have in common is the requirement that the compressor is driven by the crankshaft of the diesel engine via belts. More cost oriented solutions are based on passenger car air-conditioning compressors which can supply the required performance for example as a "double pack" in a complex installation (figure 1).

Although the passenger car compressors are available at a very low cost due to the quantity in which they are produced, they do not fulfill the requirements for application in buses. Here, a life span of 10.000 hours is required and energetically speaking passenger car compressors do not meet the standard usual for application in buses. When used in buses the passenger car compressors very often fail after just one year of operation and thus create higher cost than if the "right" product had been chosen in the first place. Often the cause of failure can be traced back to insufficient lubrication due to operation with excessive amounts liquid refrigerant. The refrigerant R134a (tetrafluoroethan) then begins to react like a solvent and rinses off the lubricating film. Early dam-

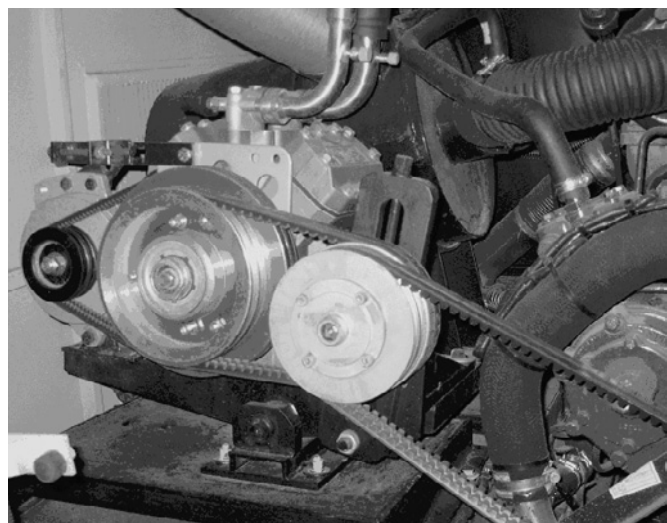


Abb. 2 Buseinbau mit 4UFCY (400 ccm) mit Wippe und Zwischenrolle sowie Generator

Fig. 2 Bus installation of a 4UFCY (400 ccm) with rocker plate and idler pulley including generator

fehlenden Ölkreislaufs im Verdichter kommt es so zu vorzeitigen Schäden, die in der PKW-Anwendung wegen der kleineren Kältemittelfüllung und der geringeren Betriebszeiten nicht so zur Auswirkung kommen. Alternativ kommen daher die kleineren Modelle klassischer Bus-Klimaverdichter zum Einsatz (Abbildung 2).

Diese Verdichter mit 400 oder 460 ccm werden von mehreren Herstellern angeboten und besitzen üblicherweise eine Druck-Umlaufschmierung mit qualifizierter Öl-Kältemittel-Trennung. Sie werden über eine Magnetkupplung zu- und abgeschaltet und zeichnen sich durch isentrope Wirkungsgrade von bis zu 0,8 aus. Solche Verdichter erfüllen die Anforderungen für den Heckmotor-Einbau bestens, stellen aber wegen der im Vergleich zu PKW-Verdichtern höheren Erstausrüsterkosten eine besondere Hürde dar: Ein Verdichter mit Kupplung kann wesentlich teurer sein, als die im "Doppelpack" betriebenen PKW-Verdichter. Aus dieser Situation heraus wurde nun die Anforderung gestellt, eine Verdichter-Generation zu entwickeln, die bei erheblich geringeren Kosten die volle Zuverlässigkeit für den Buseinsatz aufrecht erhält.

3 Konzept der neuen Baureihe F400

Zu Beginn der Entwicklung standen 2 Überlegungen: Zum Einen sollte über eine neue Auslegung ein Hubvolumen von maximal 400 ccm realisiert werden um nicht die Grundkosten einer größeren Maschine als belastende Basis zu behalten. Zum Anderen sollte ein Verdichter konstruiert werden, der weniger vom Ölkreislauf abhängig ist und seine Ölres-

age results due to the absence of oil and refrigerant separation as well as no integral oil circuit in these compressor types which is not so apparent in passenger car usage due to the smaller amount of refrigerant and the fewer hours of operation. Therefore the smaller models of the classic bus air-conditioning compressors are applied as an alternative (figure 2).

Several manufacturers offer these 400 or 460 ccm compressors and usually they have a pressurized lubrication system with qualified oil and refrigerant separation. They are connected and disconnected by means of a magnetic clutch and distinguish themselves thanks to their isentropic efficiency up to 0.8. These types of compressors very well fulfill the requirements for rear engine installation; however they provide a special kind of hurdle due to the high costs in comparison to passenger car compressors which are involved when initially installed. A compressor with clutch can be considerably more expensive than a "double pack" passenger car compressor. It was precisely this situation that gave rise to the demand for the development of a new generation of compressors which maintain the absolute reliability at a considerably lower cost for application in buses.

3 Concept of the new F400 series

When development commenced two ideas were given prime consideration. On the one hand a displacement of maximum 400 ccm had to be achieved by means of a new layout in order to eliminate the high basic costs for a large machine. On the other hand a compressor had to be constructed which was less dependent on the oil circuit and could make

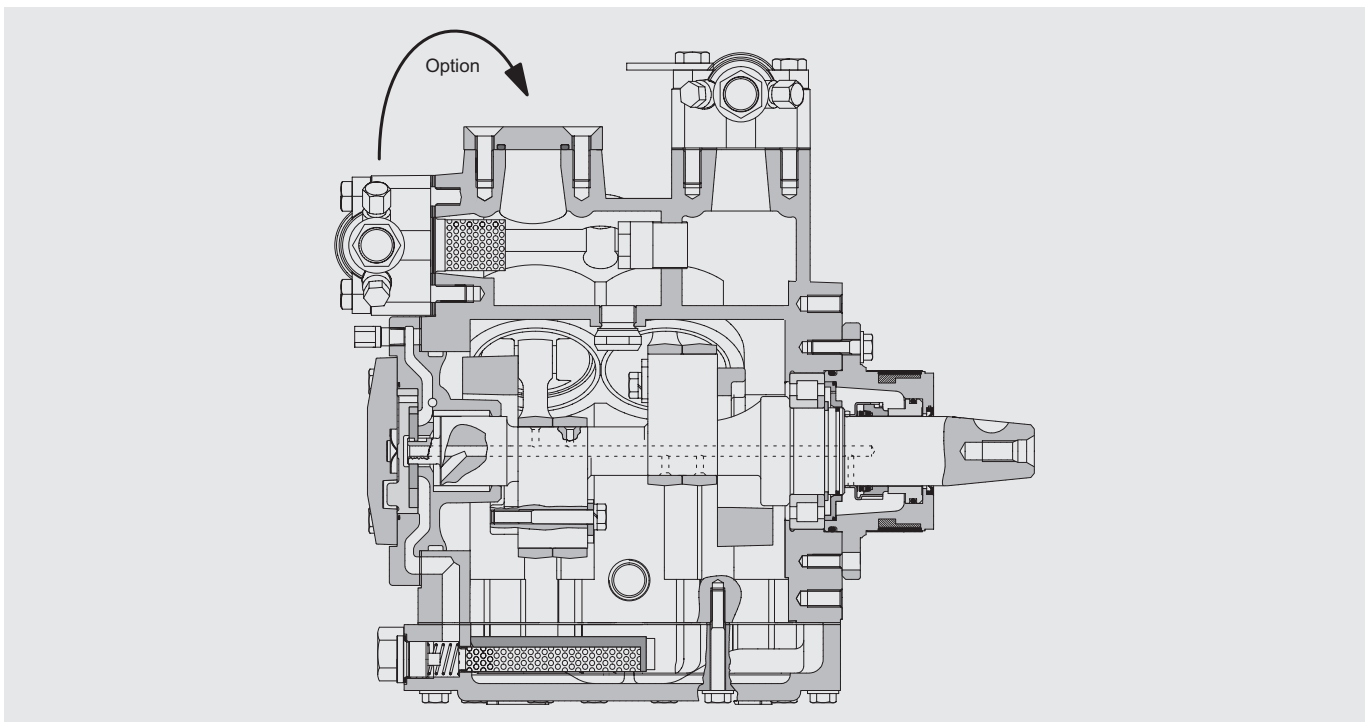


Abb. 3 Bisheriger Verdichter im Längsschnitt

Fig. 3 Sideview of present compressor

sources vollständig ausnutzen kann bevor es zum Trockenlauf kommt. Bei Verdichtern bisheriger Konzeption ist zu beobachten, dass immer eine Restmenge Öl ungenutzt im Kurbelgehäuse verbleibt und nicht mehr von der Ölpumpe gefördert werden kann, da sich bereits Gas in den Ölsaugstrom gemischt hat.

Ein anderer Nachteil bisheriger Verdichter ist die übermäßige Ölförderung bei hohen Drehzahlen, die auch durch das in die Ölpumpe eingebaute Überströmventil nicht vollständig vermieden werden kann. Das zuviel geförderte Öl gelangt zum Teil in den geförderten Gasstrom und erhöht so die Ölumlaufraten. Ein Zustand, der nicht gewollt ist und beim Absaugen unverdampften Kältemittels das Risiko von Mangel-schmierung erhöht. Was also tun?

3.1 Schmierungskonzept

Nach dem überwältigenden Erfolg der Verdichter mit pum-
penloser Zentrifugalschmierung – diese haben mit höchster
Zuverlässigkeit inzwischen einen Mengenanteil von über
50% bei halbhermetischen BITZER-Verdichtern erreicht –
stellte sich die Frage, ob man auch einen Fahrzeugverdich-
ter mit stark variabler und nicht Zweck entsprechender Dreh-
zahl mit dem Zentrifugalschmierungssystem ausrüsten kann.
Die Antwort war: Man kann! Im Drehzahlbereich zwischen
500 und 4.500 min^{-1} wurde das neue System umfassend
geprüft – mit dem Ergebnis, dass die Ölförderrate in allen
Bereichen ausreichend war und die Überförderung vollstän-
dig vermieden werden konnte. Mit der Ölzentrifuge wurde
der neue Verdichter dann auch mit einem konisch zulaufen-
den Gehäuse versehen, welches eine sehr gute Nutzung der
Restölmengen im Verdichter erlaubt und zudem für die not-
wendige Schräglageeignung sorgt.

full use of its oil resources before running dry. In the case of
compressors of previous design it can be noticed that there
is always a residual amount of oil left unused in the
crankcase, which can no longer be fed by the oil pump due
to the fact that gas has already mixed into the oil suction
flow.

Another disadvantage of previous compressors is the ex-
cessive oil feed at high speeds which cannot be completely
avoided by the relief valve installed in the oil pump. Some of
the excess oil enters into the gas flow thus increasing the oil
carry-over rate. This situation is not desired and e.g. further-
more increases the risk of insufficient lubrication during wet
operation. What is to be done?

3.1 Lubrication concept

After the overwhelming success of compressors with cen-
trifugal lubrication using no pump (thanks to their high rela-
bility these have in the meantime reached a proportion of
over 50% in semi-hermetic BITZER compressors) the ques-
tion was whether it was possible to equip a vehicle compres-
sor running at extremely variable and inappropriate speeds
with the centrifugal lubrication system. The answer was: It is
indeed! The new system was comprehensively tested in the
area of speeds ranging from 500 to 4.500 rpm with the result
that the oil feed rate in all areas was sufficient and an exces-
sive supply could be completely avoided. The new compres-
sor was not just equipped with the oil centrifuge but also with
a conically sloped housing which permits a very effective uti-
lization of residual amounts of oil in the compressor and in
addition ensures the necessary capability for inclination.

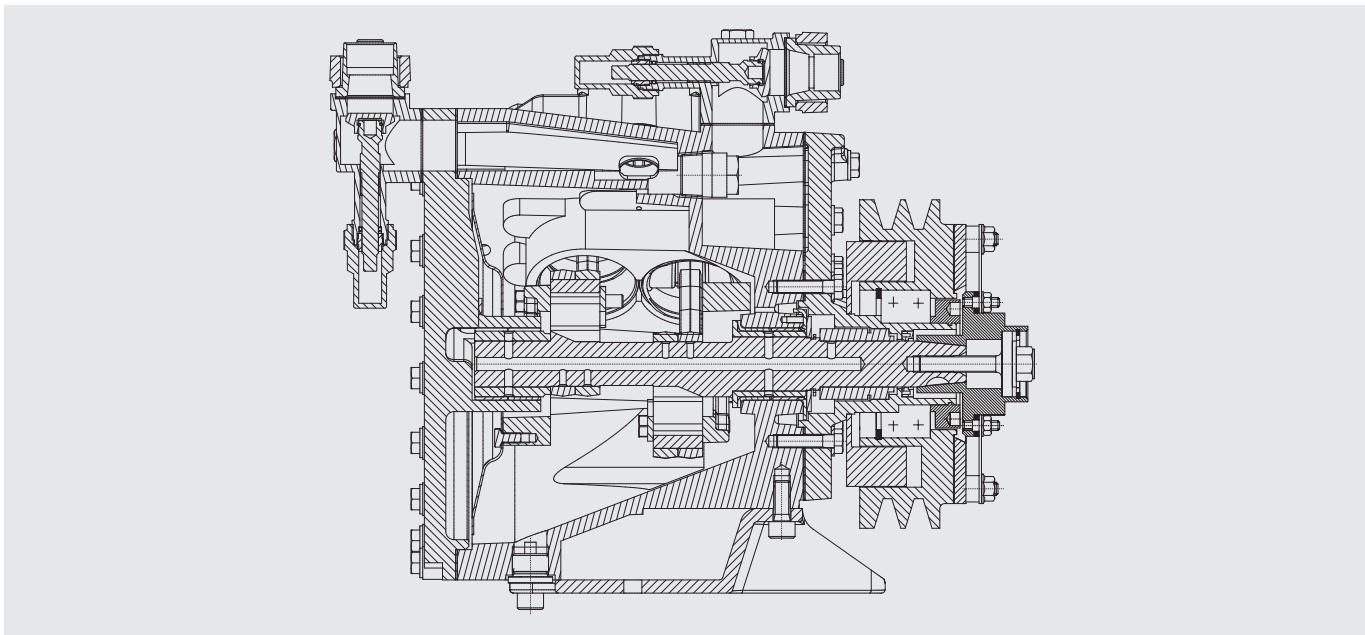


Abb. 4 F400-Verdichter im Schnitt

Fig. 4 Cross-section of the F400 compressor

Bereits zuvor wurden die Ölmengen für die Busverdichter drastisch reduziert: Das war bei der Umstellung von einer früheren Baureihe auf die heutige. Damals wurde der Ölinhalt im Verdichter bei gleichem Hubvolumen von 4 auf 2 l halbiert. Schon damals stellten sich keine Nachteile heraus, birgt doch die Ölmenge an sich ein eigenes Risikopotenzial auf Grund der Kältemittel-Löslichkeit. Die zum Schmieren eines solchen Verdichters erforderliche Ölmenge beträgt weniger als 0,2 l. Für den zuverlässigen Betrieb des Ölkreislaufs im Verdichter werden bei Pumpenschmierung ca. 0,8 bis 1 l benötigt. Je nach Ölwurf und Sättigungszustand beträgt der in der Anlage befindliche Ölanteil etwa 0,5 l. Es macht also grundsätzlich Sinn, über eine Verkleinerung der Ölmengen nachzudenken, insbesondere wenn dies gleichzeitig den Ölwurf der Verdichter in die Anlage verringert. Für den F400 wurde die Ölmenge daher nochmals von 2 auf weniger als 1 l halbiert.

3.2 Antriebskonzept

Die bisherige Baureihe ist universell mit und ohne Magnetkupplung einsetzbar. Deshalb wurde die Magnetkupplung auf der Welle zentriert und montiert. Ein Umstand, der nicht nur Vorteile hat. Zum Einen erfordert diese Lösung ein reichlich dimensioniertes Antriebs-seitiges Lager (Abbildung 3: Zylinderrollenlager) und das sowohl in der Kupplung als auch im Verdichter, was den Kosten nicht zuträglich ist. Darüber hinaus steht das Kupplungs-seitige Lager still wenn die Kupplung eingeschaltet ist, was die Lebensdauer eines Wälzlagers mit seiner Schwingungsempfindlichkeit infolge der möglichen Grübchenbildung auf den Laufflächen vermindert. Deshalb wurde für den F400 zusammen mit einem etablierten Hersteller eine Gehäuse-gestützte Kupplung entwickelt (Abbildung 4).

Diese Konstruktion ist nicht neu, sie entspricht auch dem Stand bei Kupplungs-bestückten PKW-Verdichtern. Zusammen mit den Einsparmöglichkeiten im Verdichter durch Verwendung von Gleitlagern (Abbildung 4) kommt ihr jedoch eine neue Bedeutung zu.

3.3 Wellenabdichtung

Die Wellenabdichtung ist an allen offenen Verdichtern bekanntlich eines der kritischsten Bauteile, welches die Wartungsintervalle diktiert und die erreichbare Leckrate für den gesamten Verdichter vorgibt. Grundsätzlich sind alle Gleitringdichtungen mit einer minimalen Ölleckage behaftet, die sich aus dem Funktionsprinzip und der Notwendigkeit ergibt, die abdichtenden Stirnflächen zu schmieren. Dadurch kann aber schon nach relativ kurzer Betriebszeit ein Ölaustritt an der Wellenabdichtung sichtbar werden, der dann eine Wartungsmaßnahme erfordert. Deshalb haben bereits die bisherigen Verdichter ein Ölauffangsystem mit Filzring, welches ca. 40 ccm Öl aufnehmen kann (Abbildung 5).

Previously the amount of oil for the bus compressors had already been drastically reduced when the change was made from an earlier series to the current one. It was at this time that the oil charge in the compressor was halved from 4 ltr to 2 ltr with the same displacement. Already at that time there were no disadvantages apparent even though the amount of oil itself poses an inherent risk potential per se due to its refrigerant solubility. The amount of oil required for lubricating such a compressor is less than 0.2 ltr; pump lubrication requires approx. 0.8 to 1 ltr for a reliable operation of the oil circuit in the compressor. Depending on oil carry over and saturation level the proportion of oil in the system amounts to approximately 0.5 ltr. Therefore it makes absolute sense to give some thought to reducing the amount of oil, particularly if this reduces the oil carry over of the compressors into the system as well. It was for this reason that the amount of oil for the F400 was once again halved from 2 ltr to less than 1 ltr.

3.2 Drive concept

Today's series enjoys universal applications with and without the magnetic clutch. Therefore the magnetic clutch was centrally positioned and mounted on the shaft, a feature with its drawbacks. Firstly this solution requires a highly expansive bearing on the driving side (Photo 3, Cylinder roller bearing) and in the clutch as well as in the compressor, which has an unfavourable effect on costs. Furthermore the bearing on the clutch side remains in standstill position if the clutch is switched on, which decreases the life span of roller bearings with their sensitivity to vibration as a result of possible pitting on the running surfaces. Therefore a housing supported clutch was developed for the F400 in close cooperation with an established manufacturer (figure 4).

This construction is not new and corresponds to the state of the art of passenger car compressors equipped with clutches. Along with the savings potential the compressor through the use of slide bearings (figure 4) it does however gain a new significance.

3.3 Shaft seal

It is a well known fact that the shaft seal is one of the most critical components on all open drive compressors which dictates the maintenance intervals and governs the achievable leakage rate for the entire compressor. In general all slide ring seals have a minimal oil leakage, which results from their principle of functioning and the necessity to lubricate the sealing surfaces. Due to this, oil can emerge at the shaft seal after a relatively short period of operation which then makes maintenance work necessary. For this reason already previous compressors had an oil collecting mechanism with a felt ring which could absorb approx. 40 ccm of oil (figure 5).

Vorteilhaft für den Einsatz in Bussen ist außerdem, dass durch ein raffiniertes Sperrsystem der Zutritt von Atmosphärenluft in den Dichtungsbereich verhindert wird. Dies vermeidet Oxydation und ermöglicht einen besonders wartungsarmen Betrieb. Um jede vorzeitige Wartungsmaßnahme auch bei kritischen Betriebsbedingungen von vornherein zu unterbinden, erhielt der F400 darüber hinaus einen geschlossenen separaten Ölsammelraum (Abbildung 6). Die belüftete Kammer kann etwa 100 ccm Öl aufnehmen und mittels Serviceanschluss während der normalen Fahrzeugwartung entleert werden, was den Aufwand minimiert.

Ein nicht zu unterschätzendes Risiko für Leckagen besteht beim Ansaugen von unverdampftem Kältemittel (Flüssigkeitsschläge), die bei Riemen-getriebenen Verdichtern zu hohen Spitzenmomenten und einer stärkeren Durchbiegungen an der Welle führen. Zur mangelnden Ölversorgung und Schmierung der Gleitringdichtung kommen bei diesen Bedingungen noch mechanische Abweichungen durch den "Unrundlauf" der sich stärker durchbiegenden Welle. In Prüfstandsversuchen wurde nachgewiesen, dass sich die Ölleckage in solchen Fällen vervielfachen kann.

Beim F400 werden auf Grund des Antriebskonzeptes die Riemenkräfte nicht in die Welle geleitet, sondern auf den vorderen Gehäusedeckel, sodass die mechanischen Beeinträchtigungen hier weitgehend vermieden werden. Bisherige Erfahrungen bestätigen denn auch, dass Ölleckagen an F400 Verdichtern noch nicht feststellbar waren.

3.4 Gesamtaufbau, Kostenvorteile

Wie schon im Schnittbild zu erkennen, konnte mit der Zentrifugalschmierung der Gesamtaufbau wesentlich vereinfacht werden: Es entfällt nicht nur die Ölpumpe mit ihren saug-

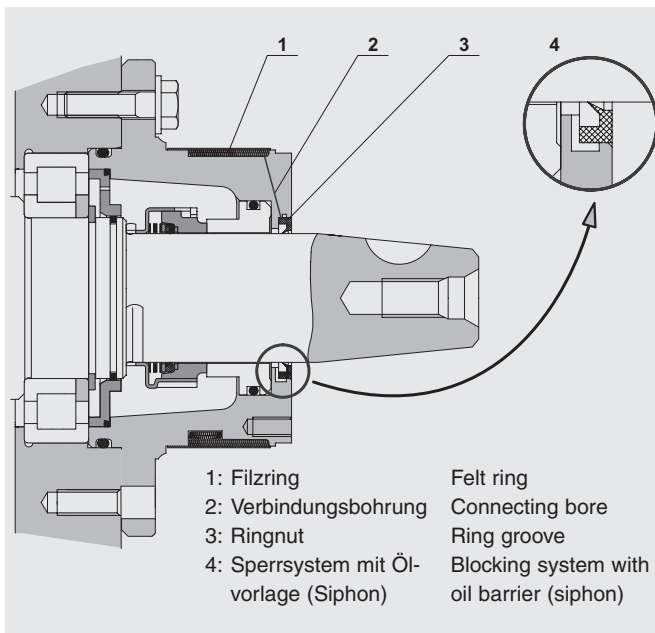


Abb. 5 Gleitringdichtung und bisheriges Ölauffangsystem

Fig. 5 Shaft seal and previous oil collecting mechanism

Moreover when used in buses, it is of great advantage that air from the atmosphere is prevented from entering the sealing area by means of a smart blocking system. This avoids oxidation and ensures a low degree of maintenance when in operation. In order to prevent any unnecessary maintenance work from occurring at an early date even under critical operating conditions from the start, the F400 was equipped with a closed and separate oil reservoir (figure 6). The chamber that can hold approximately 100 ccm of oil, is vented and can be emptied by means of a service connection during the normal vehicle maintenance which in turn reduces the work load.

A risk of leakage that should not be underestimated occurs under wet operation (liquid slugging), causing peak torques and stronger deflections on the shaft with belt driven compressors. Under these circumstances and in addition to an insufficient oil supply and lubrication of the shaft seal, mechanical deviations can occur due to the "unbalanced" motion of the shaft that increasingly deflects. Test bench experiments showed that under such conditions oil leakage could increase dramatically.

Due to the drive concept, in the case of the F400 the belt force is not directed onto the shaft but rather to the front housing cover so that any mechanical drawbacks are largely avoided. Experience to date confirms that oil leakages on F400 compressors could not yet be ascertained.

3.4 Overall construction, cost advantages

As can be seen from the cross section the entire construction could be simplified considerably thanks to the centrifugal lubrication. Not just the oil pump with its suction and pressure

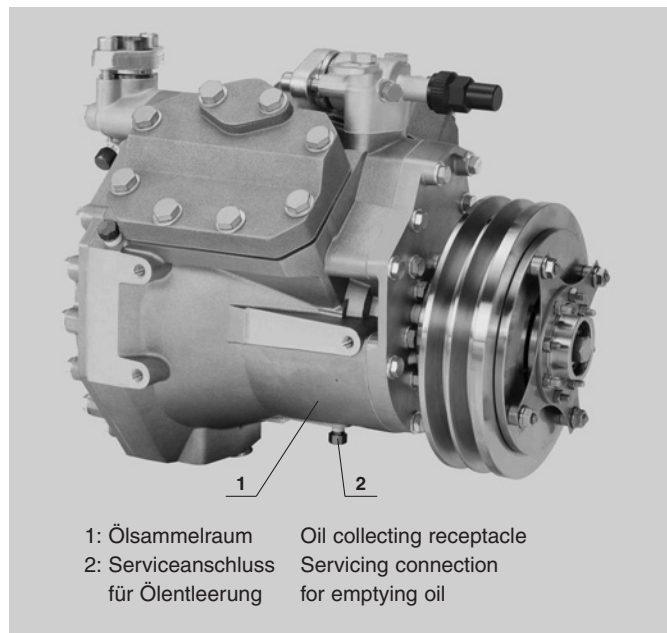


Abb. 6 F400 mit Ölsammelraum

Fig. 6 F400 with oil reservoir

und druckseitigen Zusatzinstallationen, hier konnte auch die gesamte Ölwanne eingespart werden (Abbildungen 4 und 5). Somit ist es nicht sonderlich überraschend, dass auch die geplante deutliche Einsparung gegenüber der bestehenden Baureihe auf Anhieb erreicht werden konnte.

3.5 Einbaumöglichkeiten

Der Verdichter besitzt einen Montagefuß mit VDA-konformer Bemaßung. Dieser ermöglicht sowohl den konventionellen Einbau mit Befestigung unten, als auch den seitlichen Anbau auf beiden Seiten, z.B. (bevorzugt) direkt an den Dieselmotor.

4 Abmessungen und Gewicht

Auch die bisherige Baureihe ist bereits sehr kompakt und leicht, so dass es sich als schwierig herausstellen musste, sie in Abmessungen und Gewicht zu unterbieten. Verglichen mit dem Hubraum-gleichen Verdichter 4UFCY ist der F400 33% leichter und – mit Montageadapter unten – ca. 20% kleiner in den Eckabmessungen. Die im Einbau möglichen Bauraum-Einsparungen können jedoch noch deutlich größer ausfallen, wenn z.B. mit dem seitlichen Adapterflansch ein Anbau direkt an den Dieselmotor realisiert werden kann. Dann sind übrigens auch die Einbaukosten deutlich geringer, so dass sich die Wettbewerbssituation gegenüber Systemen mit PKW-Klimaverdichtern noch weiter verbessert.

	F400	4UFCY
Gewicht [kg]	23	35
L x B x H [mm]	387 x 290 x 333	402 x 307 x 377

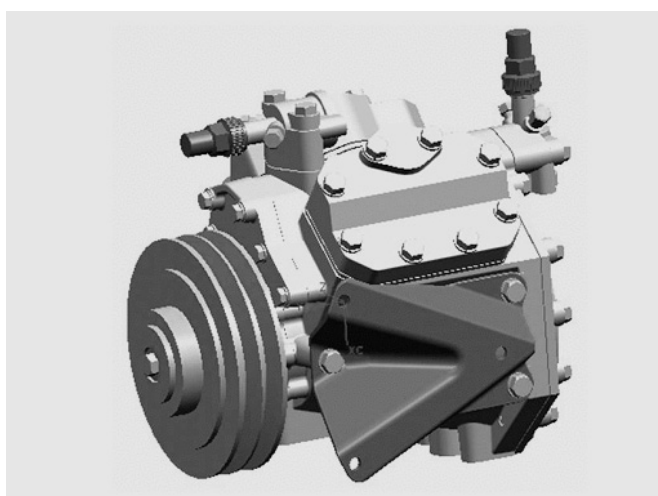


Abb. 7 Verdichter F400 mit Kupplung und VDA-Montageadapter

Fig. 7 F400 compressor with clutch and VDA mounting adapter

side additional equipment is no longer required but also the entire oil pan could be omitted. (figures 4 and 5). Thus it is not particularly surprising that the intended and self-evident savings measures could be achieved at once when comparing with the existing series.

3.5 Mounting positions

The compressor has a mounting plate that conforms to VDA dimensioning. This not only allows for a conventional installation with fixtures below but also for lateral attachment on both sides e.g. (preferably) directly to the diesel engine.

4 Dimensions and weight

The previous series was already very compact and light so this made it difficult to surpass it with regard to dimensions and weight. Compared to the same displacements 4UFCY compressor the F400 is 33% lighter and with the mounting adapter below approx. 20% smaller in its main dimensions. When installed the possibilities of saving even more space are even greater if for example it can be attached by the lateral adapter flange directly to the diesel engine. Incidentally in such a case the installation costs are considerably less thus further improving competitiveness in the face of other systems using passenger car air-conditioning compressors.

	F400	4UFCY
Weight [kg]	23	35
L x W x H [mm]	387 x 290 x 333	402 x 307 x 377

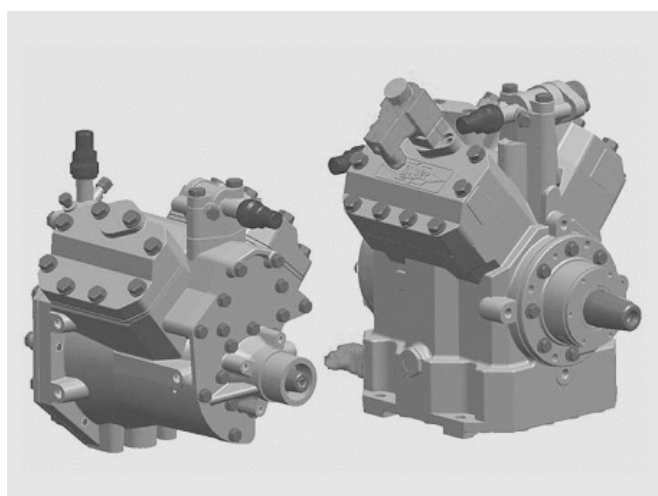


Abb. 8 F400 (links) und 4UFCY (rechts) im Größenvergleich

Fig. 8 F400 (left) and 4UFCY compared in size

5 Bisherige Betriebserfahrungen und Markteinführung

Die Prüfstandserprobung erstreckte sich auf einen Drehzahlbereich zwischen 500 und 4.500 min⁻¹. Der neue Verdichter verhält sich ausgesprochen gutmütig und ist für einen größeren Drehzahlbereich geeignet als die bisherige Baureihe. Bemerkenswert ist das niedrige Betriebsgeräusch auch und gerade bei höheren Drehzahlen. Die Leistungsdaten und der geringe Ölwurf entsprechen vollkommen den Erwartungen.

Seit Juni 2004 laufen erste Feldtests mit bisher sehr positiven Ergebnissen.

Nach weiteren intensiven Tests ist der Serienbeginn ab Anfang 2005 geplant.

5 Operating experience to date and introduction on the market

The test bench trial was carried out in the area of speeds ranging from 500 and 4,500 rpm. The new compressor reacts in a quite insensitive manner and is suitable for a greater speed range compared with today's series. The low noise level even when operating at a high speed is remarkable. The performance statistics and the low oil carry over completely fulfill all expectations.

Since June 2004 first field tests are being carried out with very satisfactory results.

After further intensive test serial production is scheduled to start at the beginning of 2005.

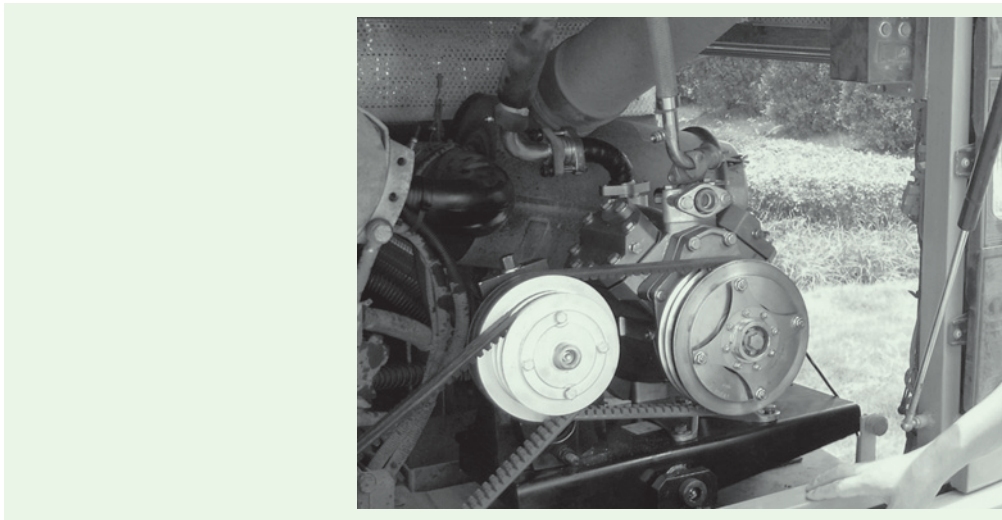


Abb. 9 Ersteinbau eines F400 in einen 8 m-Bus

Fig. 9 First installation of a F400 into an 8 m bus