

## 3. Drucklifterzeuger

### Kompressoren ( Verdichter )

sind Arbeitsmaschinen, die zur Förderung bzw. zur Verdichtung von Gasen bis zu beliebig hohen Drücken eingesetzt werden.

### Ventilatoren

sind Strömungsmaschinen, die nahezu atmosphärische Luft fördern.

Beim Ventilator treten nur geringe Dichte- und Temperaturänderungen auf.

### Vakuumpumpen

sind Maschinen, die Gase und Dämpfe ansaugen, um ein Vakuum zu erzeugen.

## 3.1 Kompressoren ( Verdichter )

### 3.1.1 Dynamische Verdichter ( Turboverdichter )

Dynamische Verdichter sind z.B. Turboverdichter, bei denen mit Schaufeln versehene Laufräder das zu verdichtende Gas beschleunigen. Feststehende Leitapparate an den Schaufeln wandeln Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie um.

Dynamische Verdichter sind bei **großen Fördermengen** und **kleinen Förderdrücken** zu bevorzugen.

### 3.1.2 Verdränger-Verdichter

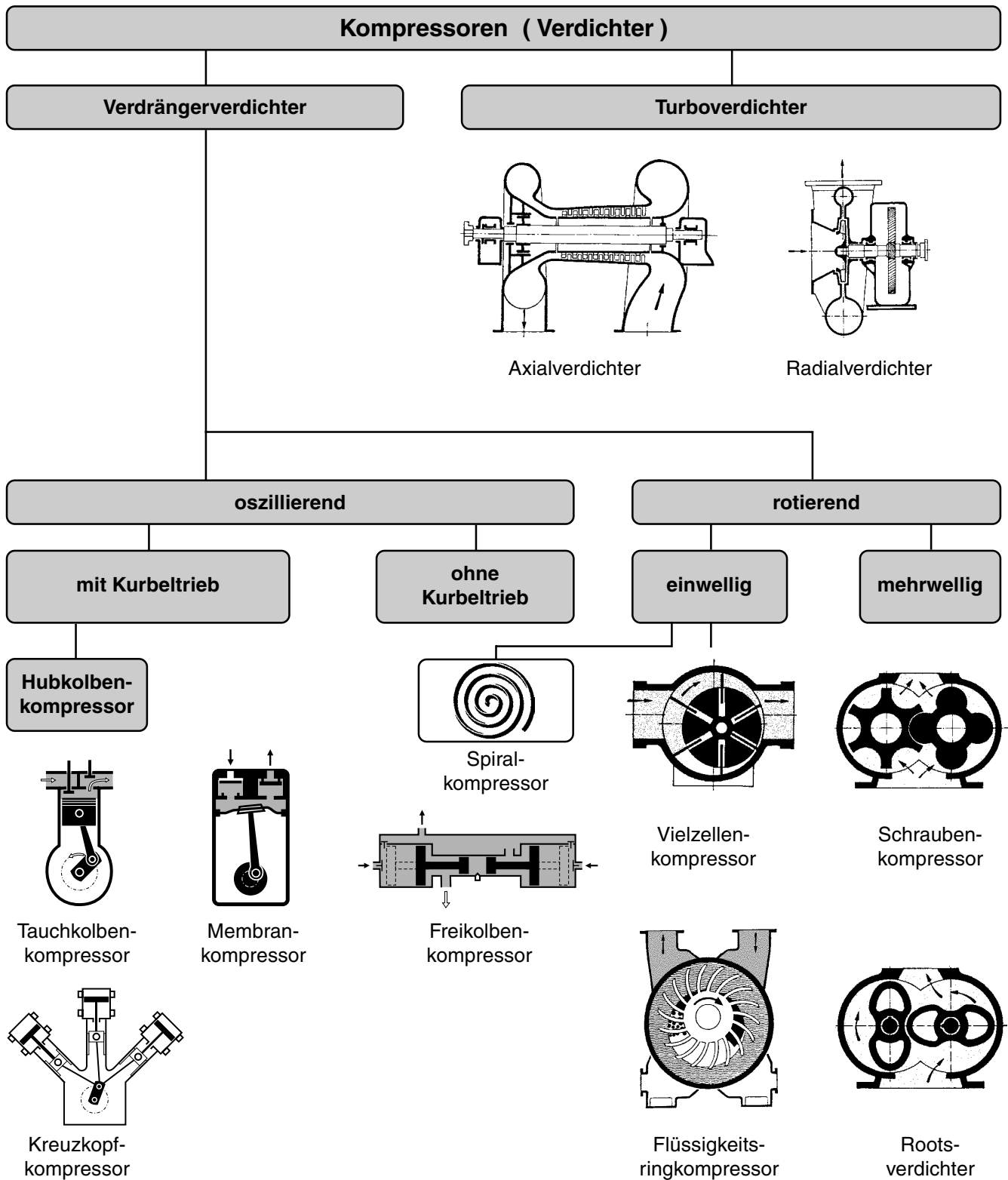
Bei Verdichtern der Verdränger-Bauart schließt der Verdichtungsraum nach dem Ansaugen der Luft vollständig. Unter Krafteinwirkung wird das Volumen verkleinert und die Luft verdichtet.

Verdichter der Verdränger-Bauart sind bei **kleinen Fördermengen** und **großen Förderdrücken** zu bevorzugen.

3.2 Kompressorbauarten

In der Übersicht sind die Kompressoren entsprechend ihrem Arbeitsprinzip aufgeteilt.

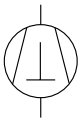

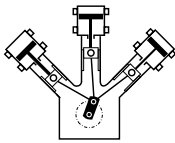
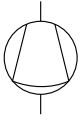

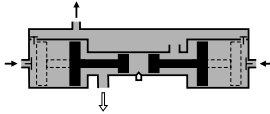
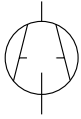
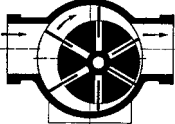
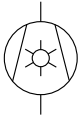
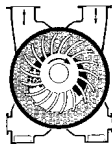
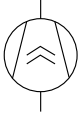
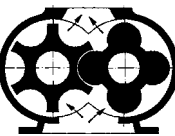
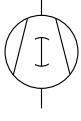
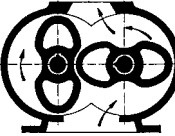
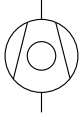
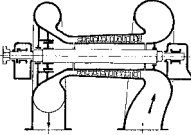
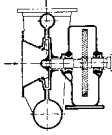
Bei allen Kompressoren unterscheidet man zwischen ölfrei verdichtenden und ölgeschmierten Kompressoren.



# Drucklufterzeuger

## 3.2.1 Marktgerechte Kompressoren

In der Tabelle sind die typischen Arbeitsbereiche für verschiedene marktgerechte Kompressorbauteile aufgeführt.

Typ	Symbol	Funktionsbild	Druckbereich [ bar ]	Volumenstrom [ m <sup>3</sup> / h ]
Tauchkolben- kompressor			10 ( 1-stufig ) 35 ( 2-stufig )	120 600
Kreuzkopf- kompressor			10 ( 1-stufig ) 35 ( 2-stufig )	120 600
Membran- kompressor			gering	klein
Freikolben- kompressor			begrenzter Einsatz als Gasgenerator	
Vielzellen- kompressor			16	4500
Flüssigkeits- ringkompressor			10	
Schrauben- kompressor			22	3000
Roots- verdichter			1,6	1200
Axial- verdichter			10	200 000
Radial- verdichter			10	200 000

## 3.2.2 Hubkolbenkompressor

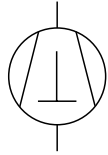


Bild 3.1:  
Symbol Hubkolben-Kompressor

Hubkolbenkompressoren saugen die Luft durch auf- und abgleitende Kolben an, verdichten sie und stoßen sie wieder aus. Die Vorgänge steuern Saug- und Druckventile.

Durch Hintereinanderschalten mehrerer Verdichtungsstufen können **verschiedene Drücke** und durch Anordnung mehrerer Zylinder können **unterschiedliche Luftmengen** erzeugt werden.

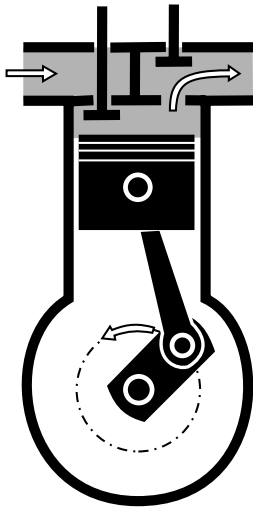


Bild 3.2:  
Funktionsbild Tauchkolbenkompressor

## Tauchkolbenkompressor

Beim Tauchkolbenkompressor ist der Kolben über die Pleuelstange direkt mit der Kurbelwelle verbunden.

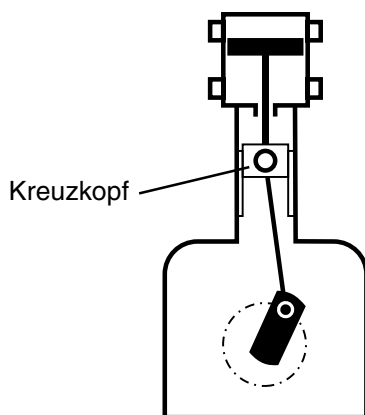


Bild 3.3:  
Funktionsbild Kreuzkopfkompressor

## Kreuzkopfkompressor

Der Kolben wird durch eine Kolbenstange und diese über den Kreuzkopf angetrieben.

## Eigenschaften der Hubkolbenkompressoren:

- Hoher Wirkungsgrad.
- Hohe Drücke.

# Druckluftherzeuger

---

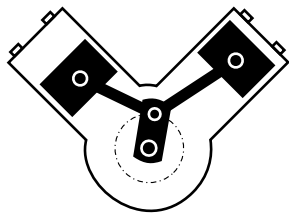


Bild 3.4:  
Tauchkolbenkompressor V-Bauart

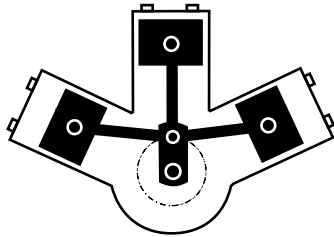


Bild 3.5:  
Tauchkolbenkompressor W-Bauart

Die Hubkolbenkompressoren werden unterschieden nach der **Zylinderanordnung** in :

- Stehende Zylinder (vertikale Bauart).  
Keine Belastung des Kolbens bzw. der Kolbenringe durch das Kolbengewicht.  
Geringe Grundfläche.
- Liegende Zylinder (horizontale Bauart).  
Nur als Mehrzylinderkompressor in Boxer-Bauart.  
Geringe Massenkräfte. Dieser Vorteil macht sich erst bei größeren Leistungen bemerkbar.
- Kompressoren in V-, W- oder L-Bauart.  
Guter Massenausgleich.  
Geringer Platzbedarf.

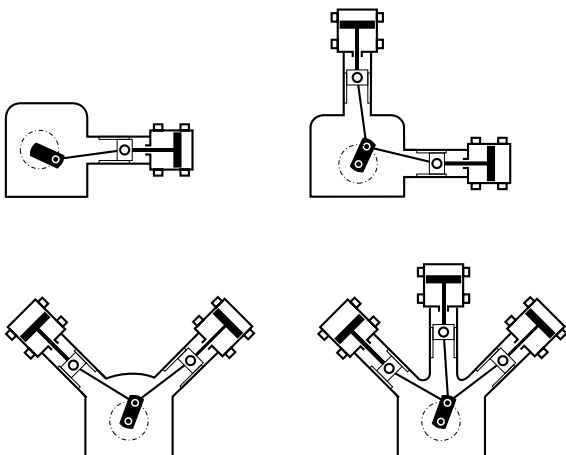


Bild 3.6:  
Kreuzkopfkompressoren  
Liegend, L-Bauart, V-Bauart, W-Bauart

## 3.2.3 Membrankompressor

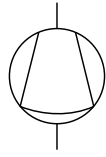


Bild 3.7:  
Symbol Membrankompressor

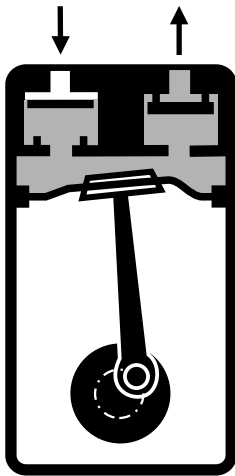


Bild 3.8:  
Funktionsbild Membrankompressor

Der Membrankompressor gehört zu den Verdrängerverdichtern.

Eine elastische Membrane erzeugt die Verdichtung. Anstelle des Kolbens, der sich linear zwischen zwei Endlagen bewegt, wird die Membrane in nicht lineare Schwingungen versetzt. Die Membrane ist an ihrem Rand befestigt. Eine Pleuelstange bewegt sie. Der Hub der Pleuelstange ist abhängig von der Verformbarkeit der Membrane.

### Eigenschaften:

- Großer Zylinderdurchmesser.
- Kleiner Hub.
- Wirtschaftlich bei kleinen Liefermengen, niedrigen Drücken und beim Erzeugen von Vakuum.

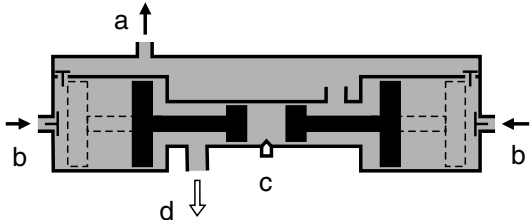
# Druckluftherzeuger

## 3.2.4 Freikolbenkompressor

Der Freikolbenkompressor gehört zu den Verdrängerverdichtern.

Es handelt sich um einen mit einem Zweitaktmotor zusammengebauten Verdichter.

Druckluft wirkt auf die in Außenstellung gebrachten Kolben, schleudert diese nach innen und läßt dadurch den Verdichter anlaufen. Die dadurch im Motorzylinder komprimierte Verbrennungsluft treibt bei Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffes die Kolben wieder auseinander. Die eingeschlossene Luft verdichtet. Nach Abzug der erforderlichen Spülluft wird die verdichtete Luft zum größten Teil durch ein Druckhalteventil ausgeschoben. Der verbliebene Rest schleudert die Kolben zum neuen Arbeitsspiel wieder nach innen. Die Saugventile saugen wieder neue Luft an.



- a = Druckluftauslaßöffnung
- b = Einlaßöffnung
- c = Kraftstoffeinspritzdüse
- d = Abluftöffnung

### Eigenschaften:

- Hoher Wirkungsgrad.
- Erschütterungsfreier Lauf.
- Einfaches Prinzip, aber selten verwendet. In der Praxis sind die Kolbenbewegungen zu synchronisieren und umfangreiche Steuerungen vorzusehen.

Bild 3.9:  
Funktionsbild Freikolbenkompressor

## 3.2.5 Vielzellenkompressor

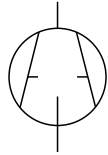


Bild 3.10:  
Symbol Vielzellenkompressor

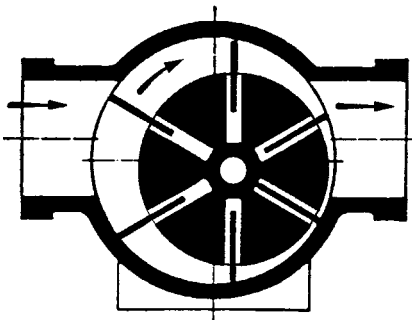


Bild 3.11:  
Funktionsbild Vielzellenkompressor

Der Vielzellenkompressor (Lamellen- bzw. Drehschieberkompressor) gehört zu den rotierend arbeitenden Verdrängerverdichtern.

Das Fördergehäuse und sich darin bewegende Drehkolben bilden den zum Ansaugen und Verdichten des Fördermittels dienenden Raum.

In einem geschlossenen Gehäuse dreht sich ein zylindrischer Rotor, der exzentrisch gelagert ist. Der Rotor (Läufer, Trommel) ist über die gesamte Länge mit radialen Längsschlitz versehen. In den Schlitz bewegen sich Schieber in radialer Richtung.

Ab einer bestimmten Drehzahl des Läufers werden die Arbeitsschieber durch die Zentrifugalkraft nach außen gegen die Innenwand des umgebenden Gehäuses gedrückt. Der zwischen Rotor und Gehäuse liegende Verdichtungsraum unterteilt sich durch die Schieber in einzelne Zellen (Arbeitsräume).

Durch die exzentrische Anordnung des Rotors vergrößert bzw. verkleinert sich das Volumen während einer Umdrehung.

Die Druckräume werden durch Verlustschmierung oder Ölspritzung geschmiert.

Durch das Einspritzen großer Ölmengen in den Verdichtungsraum erreicht man neben der Schmierung auch eine Kühlung und eine Abdichtung der Schieber gegen die Gehäuseinnenwand. Das eingespritzte Öl kann man nach der Verdichtung aus dem Luft-/Ölgemisch wieder separieren und in den Ölkreislauf zurückführen.

### Eigenschaften:

- Sehr ruhiger Lauf.
- Stoßfreie und gleichmäßige Förderung der Luft.
- Geringer Platzbedarf und einfache Wartung.
- Geringer Wirkungsgrad.
- Hohe Instandhaltungskosten durch Verschleiß der Schieber.



# Druckluftherzeuger

## 3.2.6 Flüssigkeitsringkompressor

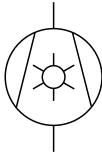


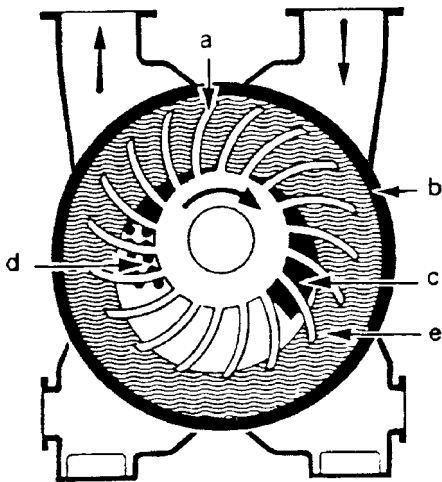
Bild 3.12:  
Symbol Flüssigkeitsringkompressor

Der Flüssigkeitsringkompressor gehört zu den rotierend arbeitenden Verdrängerverdichtern.

Die exzentrisch im Gehäuse gelagerte Welle mit festen radialen Schaufeln versetzt die Sperrflüssigkeit in Drehung. Es bildet sich der Flüssigkeitsring, der die zwischen den Schaufeln liegenden Räume gegen das Gehäuse abdichtet.

Der Rauminhalt ändert sich mit der Wellendrehung, dadurch wird Luft angesaugt, verdichtet und gefördert.

Als Flüssigkeit setzt man im allgemeinen Wasser ein.



- a = Schaufelrad
- b = Gehäuse
- c = Einlaßöffnung
- d = Auslaßöffnung
- e = Flüssigkeit

Bild 3.13:  
Funktionsbild Flüssigkeitsringkompressor

### Eigenschaften:

- Ölfreie Luft (durch ölfreies Fördermittel).
- Geringe Empfindlichkeit gegen Verschmutzungen und chemische Angriffe.
- Flüssigkeitsabscheider erforderlich, weil die Hilfsflüssigkeit kontinuierlich in den Druckraum gefördert wird.
- Niedriger Wirkungsgrad.

## 3.2.7 Schraubenkompressor

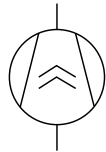


Bild 3.14:  
Symbol Schraubenkompressor

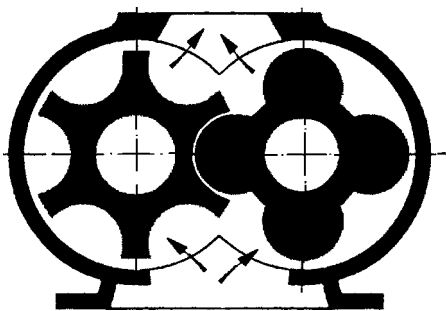


Bild 3.15:  
Funktionsbild Schraubenkompressorstufe

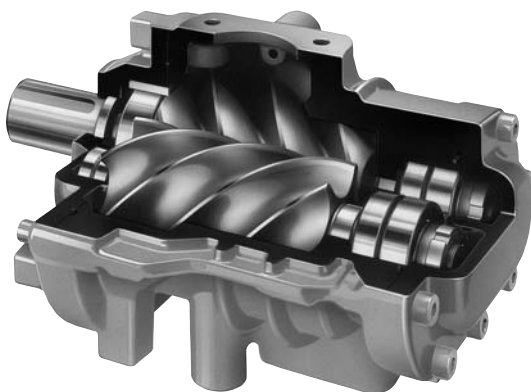


Bild 3.16:  
Schnittbild Schraubenkompressorstufe

Der Schraubenkompressor gehört zu den rotierend arbeitenden Verdrängerverdichtern.

Zwei parallele, mit unterschiedlichem Profil versehene Drehkolben, arbeiten gegenläufig in einem Gehäuse.

Die von dem Herz eines Schraubenkompressors, der Kompressorstufe, angesaugte Luft wird während des Transportes zum Druckstutzen in sich stetig verkleinernde Kammern bis auf den Enddruck verdichtet und anschließend in den Druckstutzen ausgeschoben. Die Kammern bilden die Gehäusewandungen und die ineinandergreifenden Gänge der beiden Rotoren.

### Schraubenkompressoren ölfrei

Bei ölfrei verdichtenden Schraubenkompressoren, bei denen die zu verdichtende Luft im Druckraum nicht mit Öl in Berührung kommt, sind die beiden Rotoren durch ein Gleichlaufgetriebe verbunden, so daß sich die Profiloberflächen nicht berühren.

### Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung wird nur der Hauptläufer angetrieben. Der Nebeläufer dreht sich berührungsfrei mit.

### Eigenschaften:

- Geringe Baugröße.
- Kontinuierliche Luftförderung.
- Niedrige Verdichtungsendtemperatur.  
(bei Öleinspritzkühlung)

## 3.2.8 Roots-Verdichter

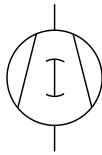


Bild 3.17:  
Symbol Roots-Verdichter

Der Roots-Verdichter gehört zu den Verdrängerverdichtern.

In einem zylindrischen Raum rotieren gegenläufig 2 symmetrisch geformte Drehkolben. Sie sind über ein Gleichlaufgetriebe verbunden und arbeiten berührungsfrei.

Die zu verdichtende Luft wird von der Saugseite in das Verdichtergehäuse geführt. Sie ist in der Kammer zwischen Flügel und Gehäuse eingeschlossen. In dem Augenblick, in dem der Kolben die Kante zur Druckseite hin freigibt, strömt das Gas in den Druckstutzen und füllt die Druckkammer auf. Beim Weiterdrehen des Flügels wird der Inhalt der Förderkammer gegen den vollen Gegendruck ausgeschoben. Es erfolgt keine ständige Verdichtung. Der Verdichter muß immer gegen den vollen Staudruck arbeiten.

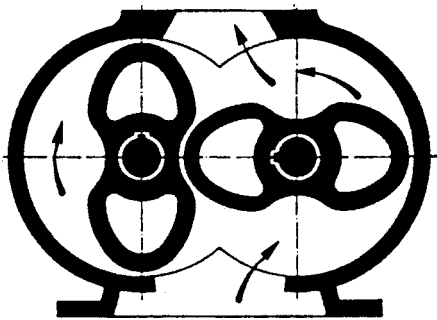


Bild 3.18:  
Funktionsbild Roots-Verdichter

### Eigenschaften:

- Kein Verschleiß der Drehkolben und deshalb keine Schmierung erforderlich.
- Ölfreie Luft.
- Empfindlich gegen Staub und Sand.

## 3.2.9 Axialverdichter

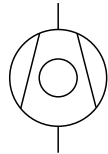


Bild 3.19:  
Symbol Turboverdichter

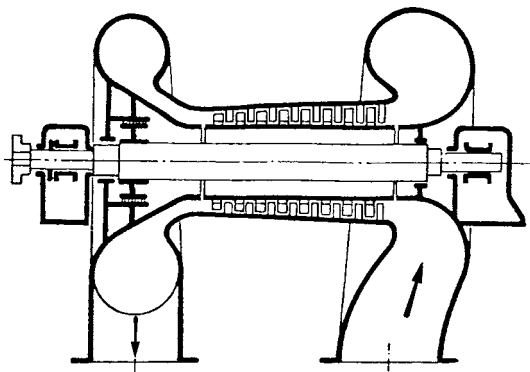


Bild 3.20:  
Funktionsbild Axialverdichter

Axialverdichter sind Strömungsmaschinen, bei denen die Luft in axialer Richtung abwechselnd durch eine Reihe rotierender und stationärer Schaufeln strömt.

Die Luft wird zunächst beschleunigt und dann verdichtet. Die Schaufelkanäle bilden diffusorartig erweiterte Kanäle, in denen die durch den Umlauf erzeugte kinetische Energie der Luft verzögert und in Druckenergie umgesetzt wird.

### Eigenschaften:

- Gleichmäßige Förderung.
- Ölfreie Luft.
- Empfindlich bei Belastungsänderungen.
- Mindestfördermengen erforderlich.

## 3.2.10 Radialverdichter

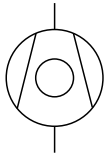


Bild 3.21:  
Symbol Turboverdichter

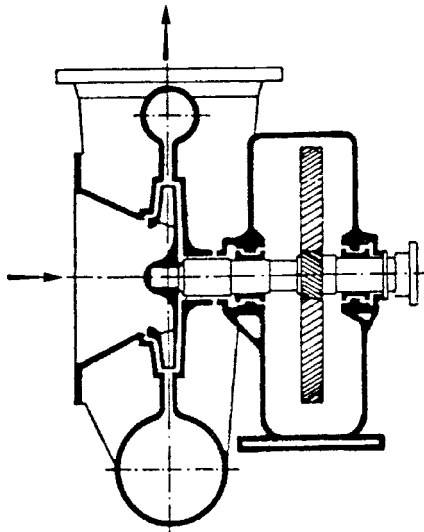


Bild 3.22:  
Funktionsbild Radialverdichter

Radialverdichter sind Strömungsmaschinen, bei denen die Luft dem Zentrum des rotierenden Laufrades zugeführt wird.

Die Luft schleudert aufgrund der Fliehkraft gegen die Peripherie. Der Druckanstieg wird dadurch bewirkt, daß man die beschleunigte Luft vor Erreichen des nächsten Laufrades durch einen Diffusor leitet. Die kinetische Energie (Geschwindigkeitsenergie) wandelt sich dabei in statischen Druck um.

### Eigenschaften:

- Gleichmäßige Förderung.
- Ölfreie Luft.
- Empfindlich bei Belastungsänderungen.
- Mindestfördermengen erforderlich.

## 3.3 Kolbenkompressoren

### 3.3.1 Allgemeines



Bild 3.23:  
BOGE-Kolbenkompressoranlage

Hubkolbenkompressoren arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Der Kolben **saugt** während des Abwärtshubes Luft über das Saugventil an. Es schließt bei Beginn des Aufwärtshubes. Die Luft wird **verdichtet** und über das Druckventil ausgestoßen. Der Antrieb der Kolben erfolgt über einen Kurbeltrieb mit Kurbelwelle und Pleuelstangen.

Kolbenkompressoren gibt es in ein- und mehrzylindrigen, sowie in ein- und mehrstufigen Ausführungen.

Mehrzylindrige Kompressoren verwendet man bei höheren Liefermengen, mehrstufige Kompressoren bei höheren Drücken.

#### Einstufige Verdichtung

Verdichtung bis zum Enddruck mit einem Kolbenhub.

#### Zweistufige Verdichtung

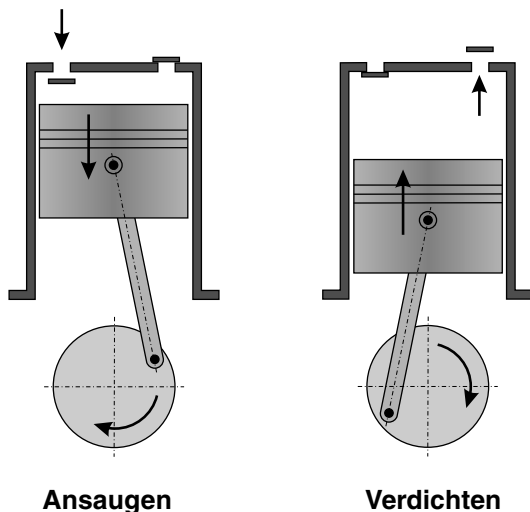
Die im Zylinder der ersten Stufe ( Niederdruckstufe ) verdichtete Luft wird im Zwischenkühler abgekühlt und dann in der zweiten Stufe ( Hochdruckzylinder ) auf den Enddruck verdichtet.

#### Einfachwirkende Verdichter

Ein Verdichtungs Vorgang bei einer Umdrehung der Kurbelwelle.

#### Doppelt wirkende Verdichter

Zwei Verdichtungs Vorgänge bei einer Umdrehung der Kurbelwelle.



#### Kolbengeschwindigkeiten

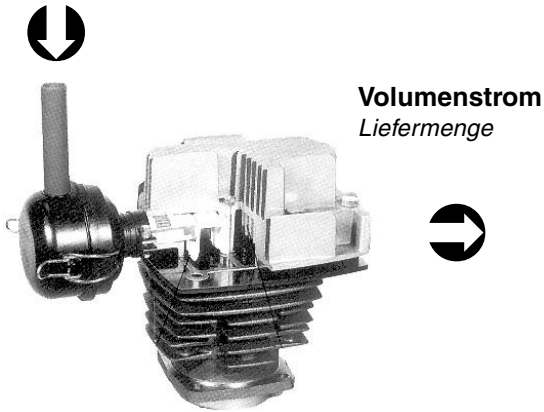
Bei Kompressoren ist die Kompressordrehzahl oder auch die Motordrehzahl nur von sekundärer Bedeutung. Entscheidend bei der Beurteilung des Verschleißes ist die Kolbengeschwindigkeit. So kann ein Kompressor mit geringer Drehzahl und großem Hub eine hohe Kolbengeschwindigkeit haben. Im Gegensatz dazu können Kompressoren mit hohen Drehzahlen und kleinem Hub geringe Kolbengeschwindigkeiten haben. Die Kolbengeschwindigkeit, gemessen in m/s, liegt bei BOGE-Kolbenkompressoren extrem niedrig. Das bedeutet minimalen Verschleiß.

Bild 3.24:  
Prinzipbild

# Druckluftherzeuger

## 3.3.2 Ansaugleistung - Liefermenge

**Hubvolumenstrom**  
Ansaugleistung



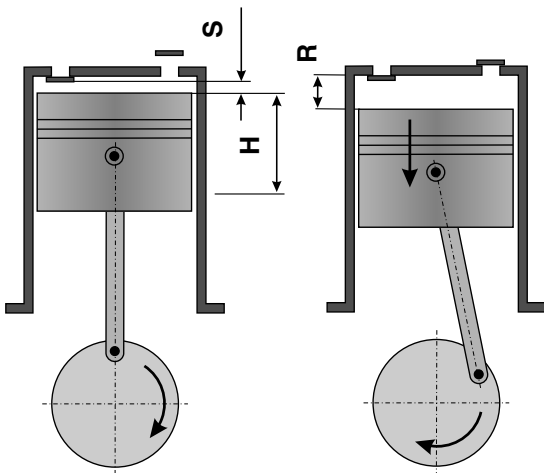
**Ansaugleistung - Liefermenge**  
**Hubvolumenstrom - Volumenstrom**

Die Ansaugleistung (Hubvolumenstrom) ist eine rechnerische Größe bei Kolbenkompressoren. Sie ergibt sich aus dem Produkt von Zylinderinhalt (Hubraum), Kompressordrehzahl (Anzahl der Hübe) und Anzahl der ansaugenden Zylinder. Der Hubvolumenstrom wird angegeben in l/min, m<sup>3</sup>/min bzw. m<sup>3</sup>/h.

Die Liefermenge (Volumenstrom) wird gemessen nach dem VDMA Einheitsblatt 4362, DIN 1945, ISO 1217 oder nach PN2 CPTC2.

Das Verhältnis von Liefermenge zu Ansaugleistung ist der volumetrische Wirkungsgrad.

Bild 3.25:  
Hubvolumenstrom und Volumenstrom



S = Schädlicher Raum  
H = Hub  
R = Rückexpansion

### Schädlicher Raum

Der schädliche Raum ist eine konstruktive Größe. Er befindet sich zwischen dem oberen Totpunkt des Kolbens und der Unterkante des Ventils.

Der schädliche Raum ergibt sich aus:

- Fertigungstoleranzen
- Freie Räume in den Ventilen und Ventiltaschen
- Konstruktiven Eigenarten

Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens expandiert die Luft im schädlichen Raum (Rückexpansion) bis auf den atmosphärischen Druck. Erst dann wird bei der weiteren Abwärtsbewegung des Kolbens Luft von außerhalb angesaugt.

Bild 3.26:  
Schädlicher Raum

Der Unterschied zwischen Ansaugleistung und Liefermenge liegt darin begründet, daß beim Ansaugen im Ansaugfilter der Druck der Ansaugluft bereits abfällt, außerdem treten Leckverluste auf, die Ansaugluft erwärmt sich und durch den schädlichen Raum tritt außerdem noch eine Rückexpansion auf.

## 3.3.3 Kühlung

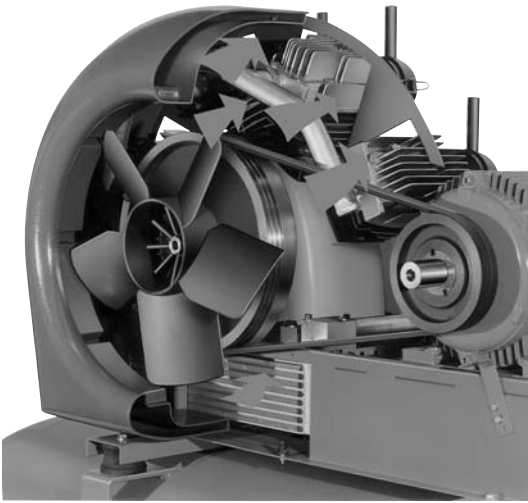


Bild 3.27:  
Kühlluftführung beim Kolbenkompressor

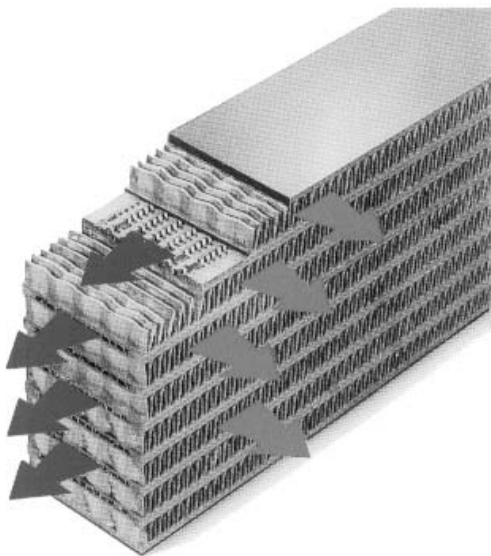


Bild 3.28:  
Nachkühler als Turbulenz-Lamellen-Kühler

Bei allen Verdichtungsvorgängen entsteht Wärme. Der Grad der Erwärmung ist abhängig vom Enddruck des Kompressors. Je höher der Enddruck ist, desto höher ist auch die Verdichtungstemperatur.

Laut Unfallverhütungsvorschrift darf die Verdichtungsendtemperatur bei Kompressoren mit ölgeschmierten Druckräumen und einstufiger Verdichtung sowie maximal 20 kW Motorleistung und maximal 10 bar bis zu 220°C betragen.

Bei größeren Drücken und höheren Motorleistungen ist eine maximale Temperatur von 200 °C zugelassen. Bei mehrstufiger Verdichtung und Drücken von mehr als 10 bar beträgt die maximale Verdichtungsendtemperatur 160°C.

Der größte Teil der Verdichtungswärme muß somit abgeführt werden. Zu hohe Drucklufttemperaturen bedeuten eine Gefahr, denn ein geringer Teil des zur Schmierung eingesetzten Öles gelangt als Restöl während der Verdichtung in die Druckluft. Es kann sich entzünden. Ein Leitungs- bzw. Kompressorbrand wäre noch das geringste Übel. Von bestimmten Temperaturen an ist gerade bei der Druckluft die Explosionsgefahr besonders groß, denn auf das Volumen bezogen enthält sie weit mehr Sauerstoff als die Umgebungsluft.

Damit möglichst kalte Druckluft erzeugt wird, ist jeder Kompressorstufe ein Zwischen- und Nachkühler nachgeschaltet.

Die durch Kühlung abzuführende Wärmemenge ist abhängig vom Volumenstrom und vom Druck. Verdichter mit größeren Leistungen erhalten zwei, drei oder mehr Zylinder. Die Zylinder sind so angeordnet, daß sie möglichst günstig im Luftstrom des Kühlventilators liegen. Um die Wärmeabfuhr zu intensivieren, werden die Oberflächen der Zylinder und Zylinderköpfe durch eine großzügige Verrippung vergrößert. Für eine möglichst niedrige Drucklufttemperatur reicht aber die intensive Kühlung und große Verrippung des Kompressors nicht aus. Zusätzlich muß die Druckluft im Zwischenkühler zwischen der ersten und zweiten Stufe bzw. im Nachkühler hinter der zweiten Stufe gekühlt werden. Reicht die Kühlung immer noch nicht aus, so ist eine mehrstufige Verdichtung notwendig.

Bei ölgeschmierten Kolbenkompressoren muß die Abkühlung nach der letzten Stufe gemäß Unfallverhütungsvorschrift VBG 16 § 9 auf mindestens 60 °C bzw. 80 °C erfolgen. Eine möglichst niedrige Druckluftaustrittstemperatur hat außerdem für den Verbraucher den Vorteil, daß die Druckluft nur noch einen geringen Anteil an Feuchtigkeit hat. Außerdem können die dem Kompressor nachgeschalteten Komponenten, wie Druckluftbehälter oder Druckluftaufbereitungsgeräte nur für die geringe Drucklufttemperatur ausgelegt und somit kostengünstiger beschafft werden. Die Druckluftaustrittstemperatur liegt bei luftgekühlten Kolbenkompressoren je nach Qualität des Kompressors bei ca. 10 - 15°C über Umgebungstemperatur.



## 3.3.4 Kühlmittel

Die **Kolbenkompressoren** werden vorwiegend in **luftgekühlter Ausführung** geliefert. Die Kühlluft hat den Vorteil, daß sie fast überall in jeder beliebigen Menge kostenlos zur Verfügung steht.

Die Kühlluft wird von einem Ventilator erzeugt. Der Ventilator drückt die Kühlluft über den Zwischen- bzw. Nachkühler und über den Kompressor.

Beim Verdichten bzw. Abkühlen der Druckluft fällt innerhalb des Kühlers Kondensat aus. Das Kondensat wird aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit der Druckluft aus dem Nachkühler in das Leitungsnetz bzw. den nachgeschalteten Druckluftbehälter mitgerissen.

## 3.3.5 Regelung von Hubkolbenkompressoren

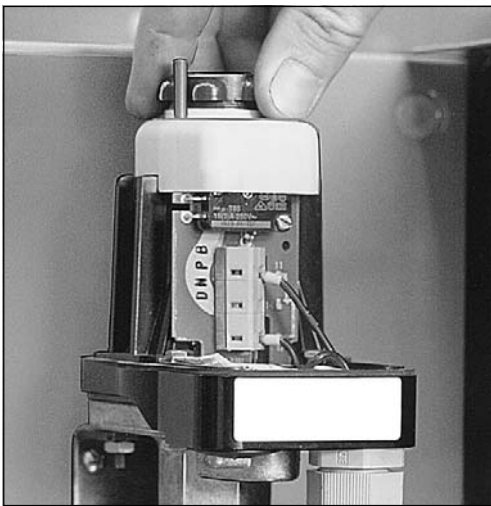


Abb. 3.29:  
Druckschalter

Kolbenkompressoren werden normalerweise über Druckschalter geregelt. Die Druckschalter müssen an einer Stelle angeordnet sein, wo die Druckluft beruhigt ist. Das ist zum Beispiel der Druckbehälter und nicht die Rohrleitung zwischen Kompressor und Behälter.

Der Druckschalter schaltet den Kompressor bei Höchstdruck aus und bei 20 % unter Höchstdruck wieder ein. Die Schaltung ist also 8 : 10 bar bzw. 12 : 15 bar.

Eine kleine Schaltdifferenz ist nicht zu empfehlen, da der Kompressor dann zu häufig schaltet und der Verschleiß von Kompressor und Motor zunimmt. Der Einschaltdruck kann bei gleichbleibendem Ausschaltdruck gesenkt werden. Das hat den Vorteil, daß der Kompressor längere Laufzeiten, aber auch gleichzeitig längere Stillstandzeiten hat. Der eingestellte Einschaltdruck darf den Mindestdruck des Druckluftnetzes nicht unterschreiten.

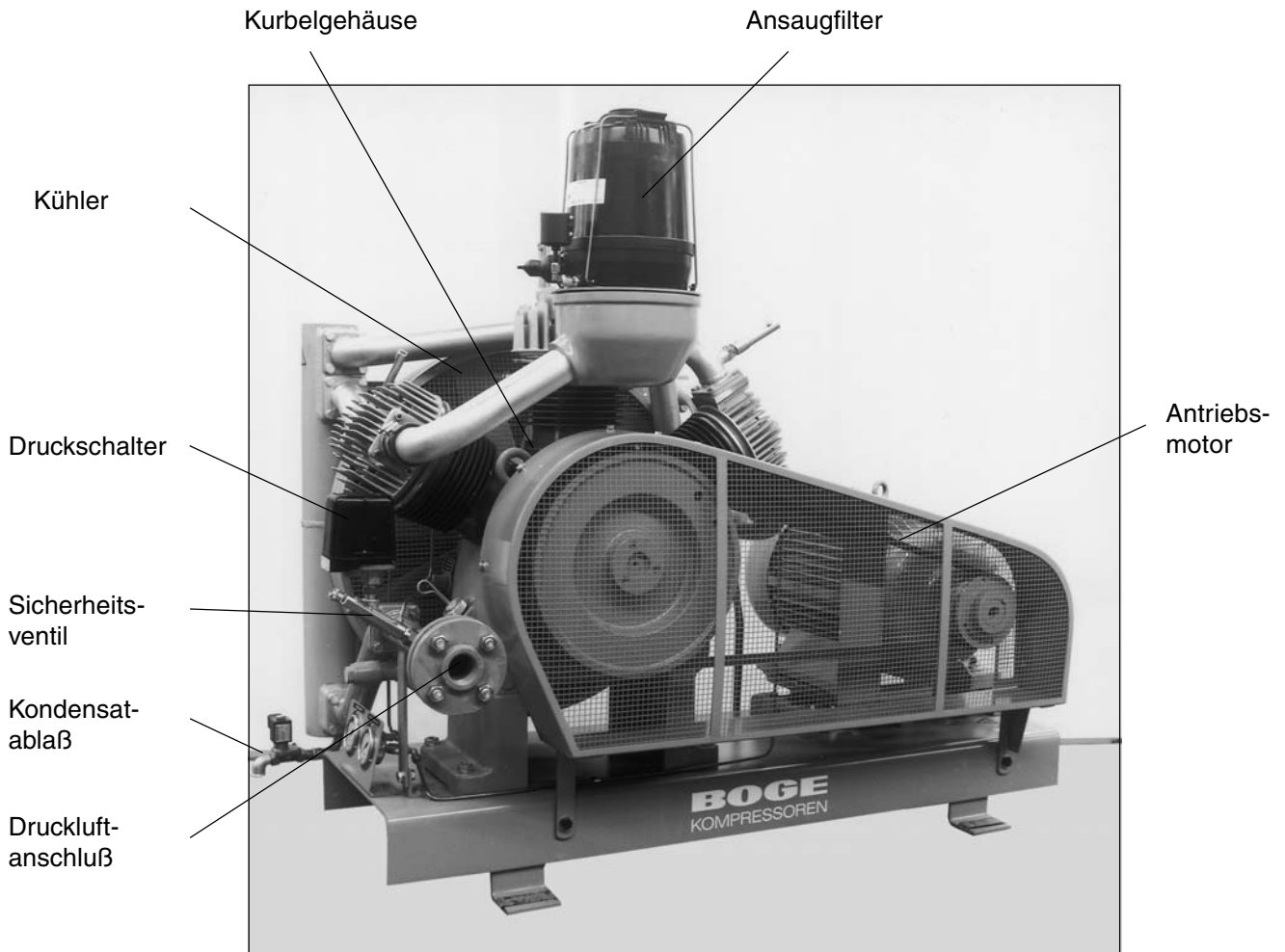
Kolbenkompressoren laufen nicht nach, sondern schalten sofort nach Erreichen des Höchstdruckes aus (Aussetzbetrieb).

Kolbenkompressoren eignen sich dadurch besonders als Spitzenlastmaschinen. Der Kompressor schaltet nur bei erhöhten Luftbedarf ein und bei Erreichen des Höchstdruckes ohne Nachlaufzeit, also ohne ca. 30 % Energiebedarf im Leerlauf, aus.

## 3.3.6 Vorteile von Hubkolbenkompressoren

- Verdichtung fast aller technischen Gase möglich
- wirtschaftliche Verdichtung bis zu Drücken von 40 bar
- einsetzbar als Nachverdichter
- einfache Steuerung
- wirtschaftlicher Start-Stop-Betrieb ( keine Leerlaufzeit )

## 3.3.7 Baugruppen eines Kolbenkompressors



*Bild 3.30:  
Baugruppen eines Kolbenkompressors*

## 3.4 Schraubenkompressoren

### 3.4.1 Allgemeines

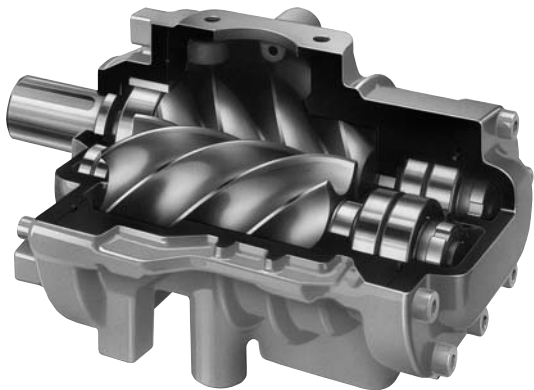


Bild 3.31:  
Schnittbild Schraubenkompressor

Im Gegensatz zum Kolbenkompressor ist der Schraubenkompressor eine relativ junge Verdichter-Bauart. Obwohl das Prinzip schon 1878 von Heinrich Krigar in Hannover entwickelt wurde, reifte die Konstruktion aber erst nach dem zweiten Weltkrieg aus. Die schwedische Firma "Svenska Rotor Maskiner" (SRM) entwickelte den Schraubenkompressor technisch zur Serienreife.

Schraubenkompressoren arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Zwei parallele, mit unterschiedlichem Profil versehene Drehkolben, arbeiten gegenläufig in einem Gehäuse.

### 3.4.2 Verdichtungsvorgang

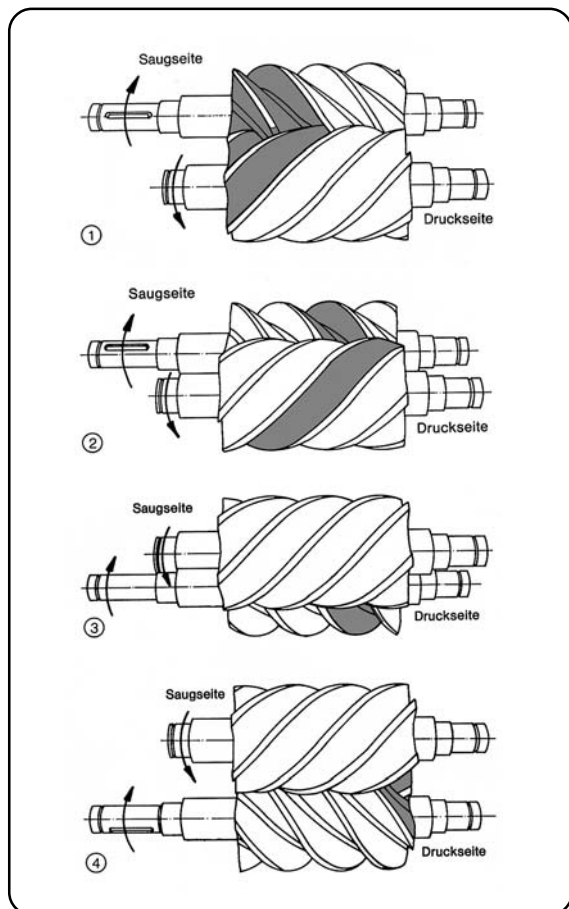


Bild 3.32:  
Verdichtungsprozess beim Schraubenkompressor

Die angesaugte Luft wird in Kammern, die sich durch die Rotation der Schraubkörper ständig verkleinern, bis auf den Enddruck verdichtet. Anschließend gelangt die Luft in den Druckstutzen. Die Gehäusewandungen und die ineinandergreifenden Gänge der Rotoren bilden die Kammern.

#### Ansaugen ( 1 )

Die Luft tritt durch die Einlaßöffnung in die saugseitig offenen Schraubengänge der Rotoren.

#### Verdichten ( 2 ) + ( 3 )

Durch fortschreitende Drehung der Rotoren wird die Luft-einlaßöffnung verschlossen, das Volumen verkleinert und der Druck erhöht.

Während dieses Vorgangs wird Öl eingespritzt.

#### Ausströmen ( 4 )

Die Verdichtung ist beendet. Der Enddruck ist erreicht und das Ausströmen beginnt.

## 3.4.2 Funktionsweise

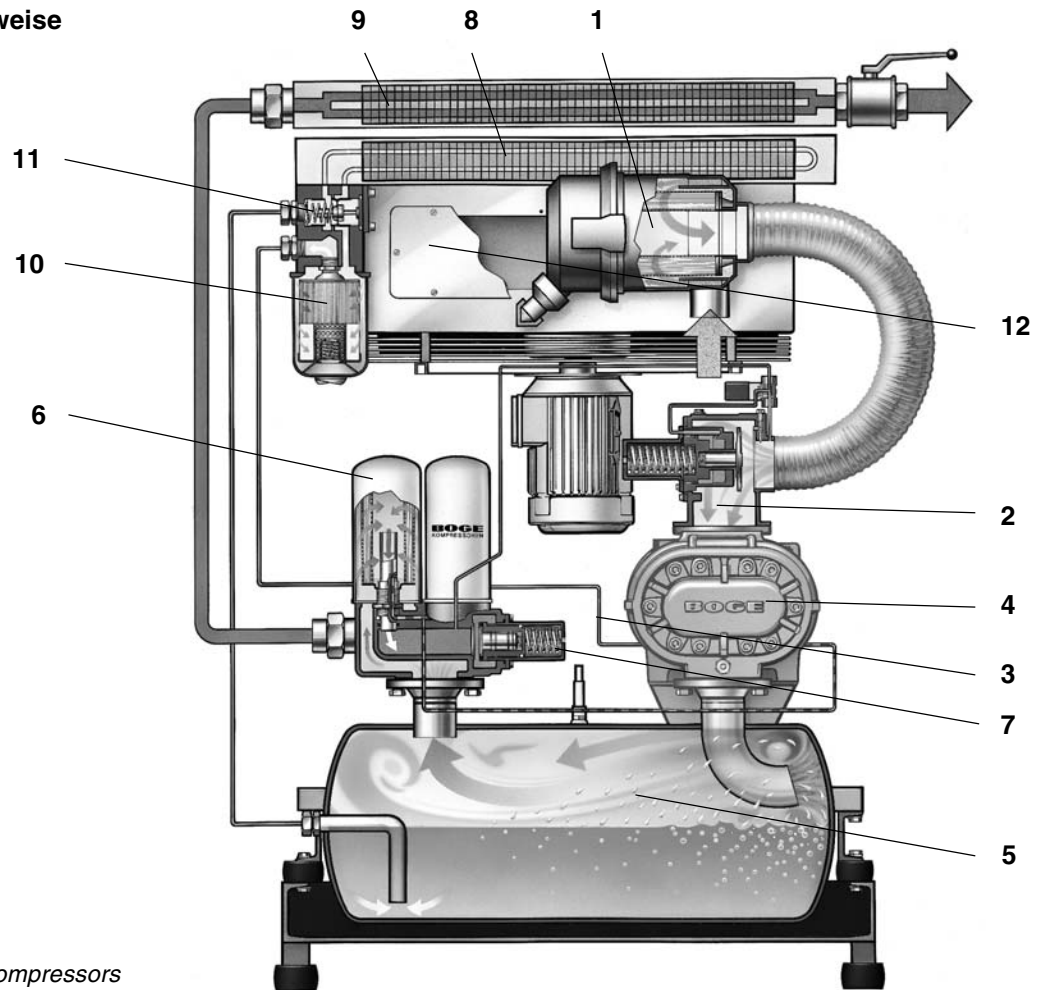


Bild 3.33:  
Funktionsbild eines  
BOGE-Schraubenkompressors

- 1 = Ansaugfilter mit Papier-Microfiltereinsatz
- 2 = Multifunktions-Ansaugregler
- 3 = Öleinspritzung
- 4 = Verdichterstufe
- 5 = Ölabscheidebehälter
- 6 = Ölabscheidepatrone
- 7 = Mindestdruck-Rückschlagventil
- 8 = Ölkühler
- 9 = Nachkühler parallel zum Kühlluftstrom
- 10 = Microfilter
- 11 = Thermostatventil
- 12 = Reinigungsöffnung

**BOGE-Schraubenkompressoren** saugen Luft über den Ansaugfilter **1** mit Microfiltereinsatz, Staubzyklon und Verschmutzungsanzeige an. Nach Passieren des Ansaugreglers **2** strömt die Luft zum Verdichten in die Verdichterstufe **4**. In den Verdichtungsraum wird kontinuierlich gekühltes Öl **3** mit ca. 55°C dosiert eingespritzt. Das Öl nimmt die beim Verdichtungsprozess entstehende Wärme auf und erwärmt sich auf ca. 85°C. Die maximale Verdichtungsendtemperatur darf nach EG-Maschinenrichtlinie 110°C betragen.

Im kombinierten Druckluft-/Ölabscheide-Behälter **5** wird das Öl aus der Druckluft weitestgehend abgeschieden. Der Ölfeinabscheider **6** übernimmt die Restabscheidung so sorgfältig, daß der Restölgehalt in der Druckluft danach nur noch ca. 1-3 mg/m<sup>3</sup> beträgt.

Die Druckluft gelangt dann über ein Mindestdruck-Rückschlagventil **7** in den Druckluftnachkühler **9** und wird hier auf die günstige Temperatur von nur ca. 8°C über Ansaugtemperatur abgekühlt und danach über das bei **BOGE** serienmäßige Absperrventil ins Betriebs-Druckluftnetz geleitet.

Das im Ölabscheider separierte Öl wird in einem reichlich dimensionierten Ölkühler **8** von 85°C auf 55°C zurückgekühlt. Es passiert einen Ölfilter mit Austauschpatrone **10**. Im Ölkreislauf ist zusätzlich ein Thermostatventil **11** angeordnet, das kaltes Öl am Ölkühler vorbei direkt wieder zur Stufe **4** führt.

## 3.4.3 Ölkreislauf

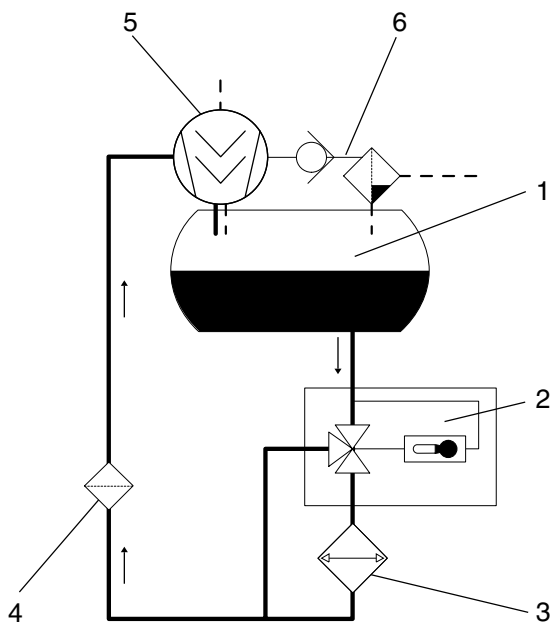


Bild 3.34:  
Bauteile des Ölkreislaufes

Das in die Kompressorstufe eingespritzte Öl hat folgende Aufgaben:

- Abführen der Kompressionswärme (Kühlung)
- Abdichtung der Spalte zwischen den Läufern, sowie zwischen Läufern und Gehäuse
- Schmierung der Lager

### 1 = Druckluft-Öl-Behälter

Im Druckluft-Öl-Behälter sammelt sich das aus der Druckluft durch Schwerkraft abgeschiedene Öl. Der Systemdruck drückt dieses aus dem Behälter in die Kompressorstufe.

### 2 = Thermostatisches Ölregelventil

Das thermostatische Ölregelventil lenkt das Öl abhängig von dessen Temperatur entweder durch den Ölkühler oder durch einen Bypass (z.B. in der Anlaufphase) am Ölkühler vorbei. Das Öl hält so stets seine optimale Betriebstemperatur.

### 3 = Ölkühler (luft- oder wassergekühlt)

Der Ölkühler kühlt das heiße Öl auf Betriebstemperatur ab.

### 4 = Ölfilter

Der Ölfilter hält Verunreinigungen im Öl zurück.

### 5 = Kompressorstufe

Das eingespritzte Öl gelangt mit der Druckluft zurück in den Druckluft-Öl-Behälter. Dort wird es durch Schwerkraft abgeschieden.

### 6 = Drainageleitung

Über die Drainageleitung saugt die Kompressorstufe das Restöl, das sich im Ölabscheider angesammelt hat, zurück in den Ölkreislauf.

## 3.4.4 Luftkreislauf

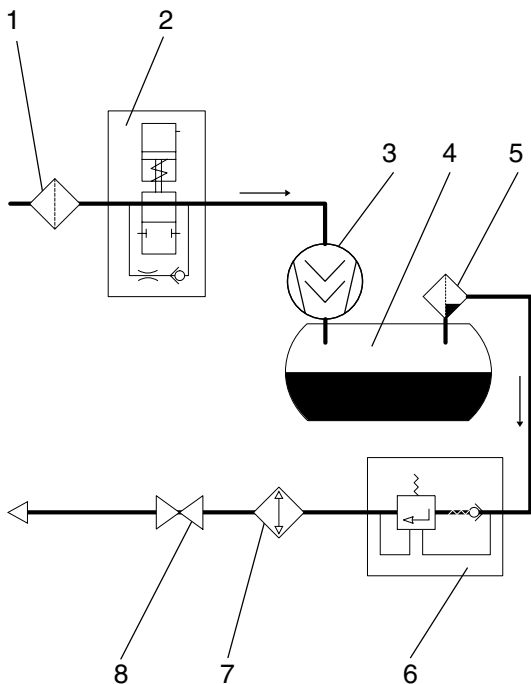


Bild 3.35:  
Bauteile des Luftkreislaufes

Durch die Rotoren wird die angesaugte Luft in den Kammern der Kompressorstufe bis auf den Enddruck verdichtet.

### 1 = Ansaugfilter

Der Ansaugfilter reinigt die von der Kompressorstufe angesaugte Luft.

### 2 = Ansaugregler

Der Ansaugregler öffnet (Lastlauf) oder schließt (Leerlauf und Stillstand) die Saugleitung abhängig vom Betriebszustand des Kompressors.

### 3 = Kompressorstufe

Die Kompressorstufe verdichtet die angesaugte Luft.

### 4 = Druckluft-Öl-Behälter

Im Druckluft-Öl-Behälter trennen sich Druckluft und Öl durch Schwerkraft voneinander.

### 5 = Ölabscheider

Der Ölabscheider scheidet das in der Druckluft enthaltene Restöl ab.

### 6 = Mindestdruck-Rückschlagventil

Das Mindestdruck-Rückschlagventil öffnet erst, wenn der Systemdruck auf 3,5 bar angestiegen ist. Dies bewirkt einen schnellen Aufbau des Systemdrucks und stellt die Schmierung in der Anlauf- und Netzdruckaufbauphase sicher. Nach dem Ausschalten des Kompressors verhindert das Rückschlagventil, daß die Druckluft aus dem Netz zurückströmt.

### 7 = Druckluft-Nachkühler (luftgekühlt)

Im Druckluft-Nachkühler wird die verdichtete Luft abgekühlt. Dabei kondensiert ein Großteil des in der Luft enthaltenen Wassers aus.

### 8 = Absperrventil

Über das Absperrventil kann der Schraubenkompressor vom Netz getrennt werden.

# Drucklufterzeuger

## 3.4.5 Wärmerückgewinnung

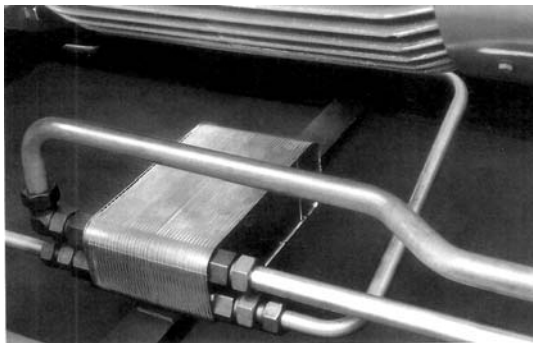


Bild 3.36:  
Wärmeaustauscher BOGE-DUOTHERM

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung nimmt das Öl ca. 85 % der Wärme auf. Über Wärmeaustauscher kann dem Öl die Wärme entzogen und Brauch- oder Heizungswasser erwärmt werden.

Das im Gegenstrom durch den Wärmeaustauscher strömende Wasser wird auf bis zu +70°C erwärmt. Die erhitzte Wassermenge ist dabei von der Temperaturdifferenz abhängig.

## 3.4.6 Ansaugregelung

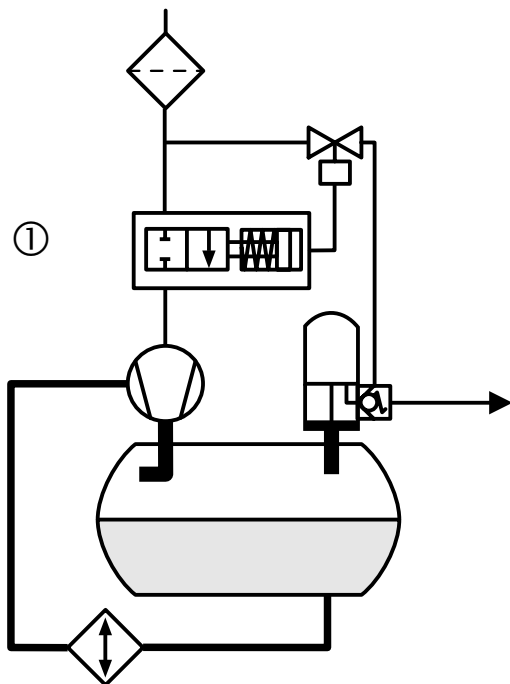


Bild 3.37:  
Ansaugregelung mit Entlüftungs-/ Steuerventil

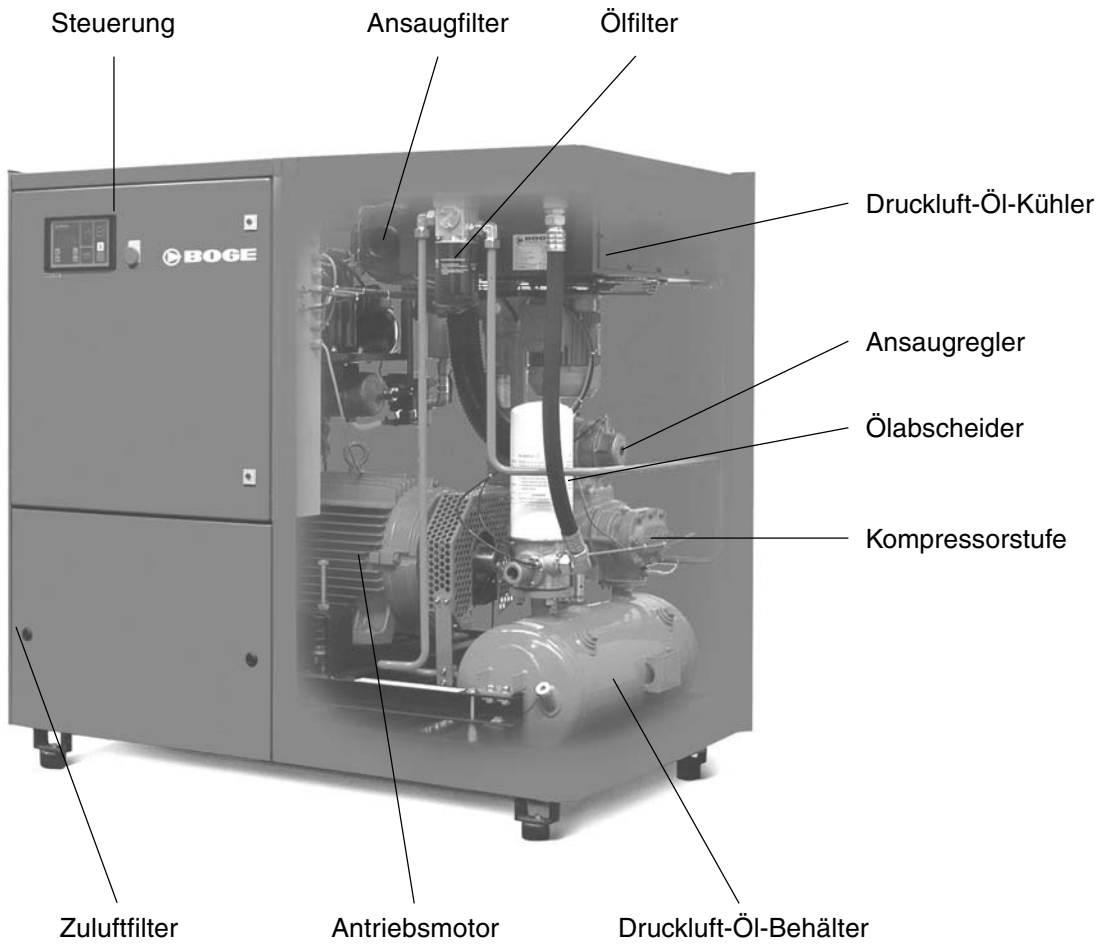
Der Ansaugregler steuert die Saugleitung des Schraubenkompressors.

- Voll entlasteter Anlauf durch geschlossenen Regler.
- Schließt hermetisch bei Leerlauf, Stillstand und Not-Aus.

## 3.4.7 Vorteile von Schraubenkompressoren

- wenn kontinuierlich Druckluft benötigt wird
- ideal als Grundlastmaschine
- wirtschaftlich bei 100 % Einschaltdauer
- stufenlose Leistungsregelung möglich
- ideal für Frequenzregelung

## 3.4.8 Baugruppen eines Schraubenkompressors



*Bild 3.38:  
Baugruppen eines Schraubenkompressors*



## 3.5 Baugruppen

### 3.5.1 Antriebsmotor

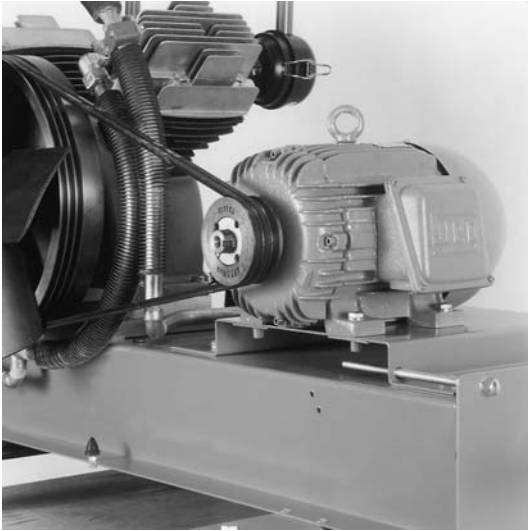


Bild 3.39:  
Antriebsmotor mit Keilriemen und Riemen-  
spannvorrichtung

Die Antriebsmotoren, vorwiegend Drehstrommotoren, arbeiten meist mit einer Drehzahl von  $3.000 \text{ min}^{-1}$ . Die entsprechende Kompressordrehzahl wird durch die Keilriemenübersetzung erreicht.

Stand der Technik sind Drehstrommotoren der Schutzart IP 55 und der Isolierstoffklasse F.

### 3.5.2 Keilriemen

Der Antrieb des Kompressors erfolgt über Keilriemen.

Durch das patentierte GM-Antriebssystem bei Schraubenkompressoren arbeiten die Keilriemen praktisch wartungsfrei mit rechnerischen Standzeiten bis 25.000 Betriebsstunden.

### 3.5.3 Riemenspannvorrichtung

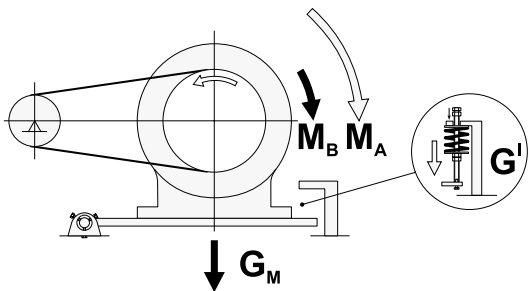


Bild 3.40:  
BOGE-GM-Antriebssystem

Bei Kolbenkompressoren sitzt der Motor auf einer Riemenspannvorrichtung. Zum Nachspannen der Riemen wird der Motor über eine zentrale Gewindespindel bewegt und gleichzeitig parallel geführt. Der Keilriemen kann einwandfrei laufen.

Die BOGE-Schraubenkompressoren sind mit dem patentierten **BOGE-GM-Antriebssystem** ausgerüstet. Durch dieses System entfällt das Nachspannen und das Ausrichten beim Riemenwechsel. Während des Betriebes wird die Riemenspannung in jeder Betriebsphase optimal angepaßt.

## 3.5.4 Saug- und Druckventile

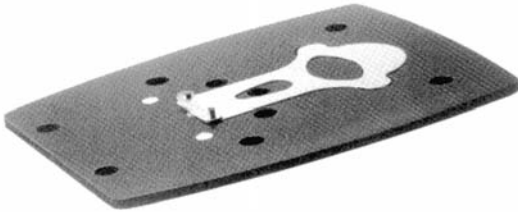


Bild 3.41:  
BOGE-ferax®-Zugventil

Das Zungenventil steuert den Lufteintritt und den Luftaustritt in den Zylinderraum des **Kolbenkompressors**.

BOGE-ferax®-Zugventile haben weniger Bauteile als herkömmliche Ventile. Sie arbeiten reibungsfrei, haben nur kleine schädliche Räume und geringe Strömungswiderstände. Das bedeutet eine höhere Liefermenge, lange Ventilstandzeiten und praktisch keine Ölkohleablagerungen. Ölkohleablagerungen sind Verschmutzungen, die durch hohe Verdichtungs-temperaturen entstehen und sich an den Ventilen ablagern.

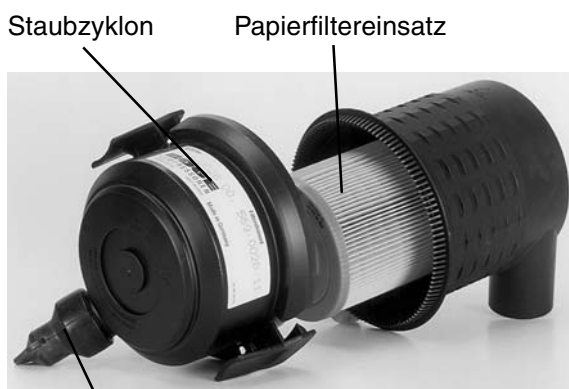
## 3.5.5 Sicherheitsventile



Bild 3.42:  
Sicherheitsventil am Schraubenkompressor

Das Sicherheitsventil muß beim 1,1fachen Nenndruck des Druckluftbehälters die volle Liefermenge des Kompressors abblasen.

## 3.5.6 Ansaugfilter



Automatischer Staubaustrag

Bild 3.43:  
Ansaugfilter mit Papiereinsatz

Die zu verdichtende Luft wird über den Ansaugfilter aus dem Kompressorraum angesaugt. Der Ansaugfilter scheidet feste Verunreinigungen (Staubteilchen) aus der angesaugten Luft aus. Damit wird der Verschleiß des Kompressors minimiert und dem Kunden saubere Druckluft zur Verfügung gestellt.

Bei staubhaltiger Umgebungsluft (z.B. in Zementbetrieben) werden Papieransaugfilter eingesetzt, die einen höheren Abscheidegrad als übliche Naßluftfilter bzw. Filter mit Schaumstoffeinsatz haben.

Die Filtereinsätze lassen sich bei größeren Kompressoren reinigen. Es besteht die Möglichkeit, die Ansaugfilter auf Differenzdruck zu überwachen. Die Verschmutzung des Filters kann hierdurch frühzeitig erkannt werden.

## 3.6 Kompressorschmier- und kühlmittel

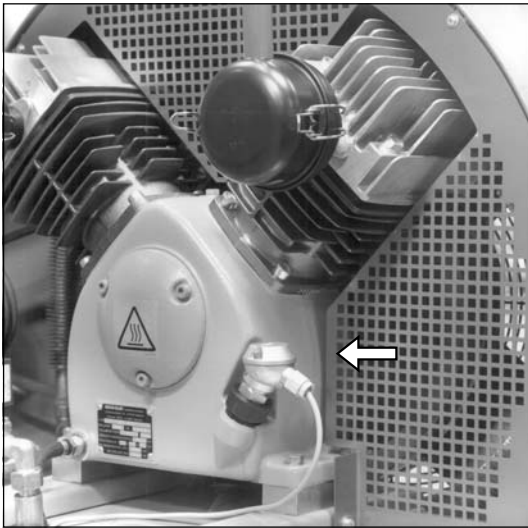


Bild 3.44:  
Ölstandsüberwachung mit Niveausonde

Kompressoröle sind genormt nach DIN 51506. Es dürfen keine HD-Öle zum Schmieren des Kompressors eingesetzt werden. HD-Öle neigen zum Emulgieren und verlieren so schnell ihre Schmierfähigkeit.

Zugelassen sind Mineral- und Synthetische Öle. Mineralöle haben unter normalen Betriebsbedingungen eine Standzeit von ca. 2.000 Betriebsstunden. Synthetische Öle können in längeren Intervallen gewechselt werden.

Der Ölstand des Kompressors ist in regelmäßigen Abständen zu prüfen.

Der erste Ölwechsel ist nach der Einlaufzeit (ca. 300 bis 500 Betriebsstunden) durchzuführen.

Kompressoren dürfen nicht mit zu geringer Ölmenge betrieben werden. Auch ein kurzzeitiger Probelauf ohne Öl (z.B. zur Feststellung der richtigen Drehrichtung) kann zu Schäden führen.

Bei jedem Ölwechsel müssen die Ölfilter gereinigt bzw. ausgetauscht werden.

Kompressoröle und das Kondensat ölgeschmierter Kompressoren dürfen nicht ins Abwasser gelangen. Sie müssen als Altöl entsorgt werden.

Ölhaltiges Kondensat kann über geeignete Geräte aufbereitet werden, um Entsorgungskosten zu sparen.

### Kolbenkompressor

Öle auf synthetischer Basis lassen Kompressorlaufzeiten bis zu 8.000 Betriebsstunden zu.

### Schraubenkompressor

Die Standzeiten von mineralischen Kompressorölen liegen typischerweise bei ca. 3000 Betriebsstunden, von synthetischen Ölen teilweise sogar bei bis zu 9000 Betriebsstunden.

Synthetische Öle haben eine höhere Oxidationsstabilität als mineralische Öle und somit eine weitaus bessere Alterungsbeständigkeit. Daraus ergibt sich die vielfache Laufleistung. Durch die Oxidationsstabilität werden auch schädliche Ablagerungen im Ölkreislauf vermieden.

Als weitere Vorteile von synthetischen Ölen sind die geringere Verdampfungsneigung zu nennen, die, insbesondere bei hohen Betriebstemperaturen, den Ölverbrauch und den Öldampfgehalt in der Druckluft senken kann und das bessere Viskositäts-Temperatur-Verhalten, das zu einer stabileren und gleichmäßigeren Schmierung über einen weiten Temperaturbereich verhilft.

Wenn Druckluft mit Lebensmitteln in Berührung kommt, sind USDA-H1 Öle einzusetzen, die den strengen Anforderungen der Pharma- und Lebensmittelindustrie gerecht werden.