

## 8. Größenbestimmung der Kompressorstation

### 8.1 Die Kompressorbauart

Die grundsätzliche Entscheidung bei der Einrichtung einer Kompressorstation ist die Festlegung der Kompressorbauart. Für fast alle Einsatzbereiche sind Schrauben- oder Kolbenkompressoren die richtige Wahl.

#### 8.1.1 Schraubenkompressoren



Bild 8.1  
BOGE - Schraubenkompressor Baureihe S

Schraubenkompressoren sind für bestimmte Einsatzbereiche besonders geeignet.

- Hohe Einschaltdauer **ED**.  
Schraubenkompressoren sind besonders zum Einsatz bei kontinuierlichem Druckluftverbrauch ohne große Lastspitzen ( ED = 100 % ) vorzusehen. Sie eignen sich hervorragend als Grundlast-Maschinen in Kompressorverbundsystemen.
- Große Liefermengen.  
Bei großen Liefermengen ist der Schraubenkompressor die wirtschaftlichste Variante.
- Pulsationsfreier Volumenstrom.  
Durch die gleichmäßige Verdichtung kann der Schraubenkompressor auch für sehr sensible Druckluftverbraucher verwendet werden.
- Schraubenkompressoren arbeiten bei Verdichtungsendrücken zwischen 5 und 14 bar wirtschaftlich.  
Die üblichen Stufungen der Höchstdrücke  $p_{\max}$  bei Schraubenkompressoren sind 8 bar, 10 bar und 13 bar.

#### 8.1.2 Kolbenkompressoren

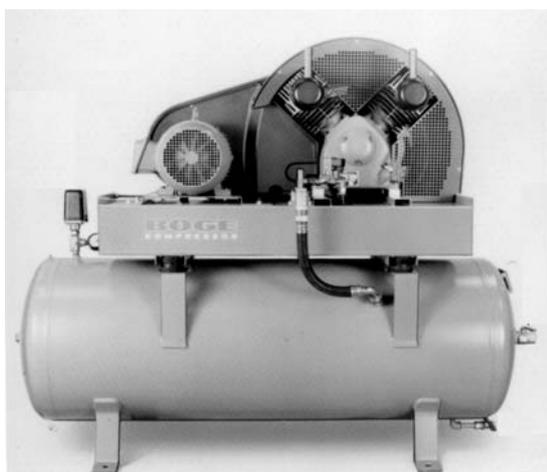


Bild 8.2 :  
BOGE - Kolbenkompressoranlage  
mit liegendem Druckluftbehälter

Kolbenkompressoren haben ebenfalls ihre speziellen Einsatzbereiche. Sie ergänzen sich hervorragend mit denen der Schraubenkompressoren.

- Intermittierender Bedarf.  
Kolbenkompressoren eignen sich für schwankenden Druckluftverbrauch mit Lastspitzen. Sie können als Spitzenlast-Maschinen in einem Kompressorverbundsystem eingesetzt werden. Bei häufigen Lastwechseln sind Kolbenkompressoren die beste Wahl.
- Kleine Liefermengen.  
Bei kleinen Liefermengen arbeitet der Kolbenkompressor wirtschaftlicher als der Schraubenkompressor.
- Kolbenkompressoren können auf hohe Enddrücke verdichten.  
Die üblichen Stufungen der Höchstdrücke  $p_{\max}$  bei Kolbenkompressoren sind 8 bar, 10 bar, 15 bar, 30 bar und 35 bar.

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.2 Höchstdruck $p_{max}$

Der nächste Schritt zur Größenbestimmung eines Kompressors mit Druckluftbehälter und Druckluftaufbereitung ist die Festlegung des Kompressorhöchstdruckes  $p_{max}$ .

Grundlage für den Höchstdruck ( Ausschaltdruck  $p_{max}$  ) ist die Schaltdifferenz (  $p_{max} - p_{min}$  ) der Kompressorsteuerung, der höchste Arbeitsdruck der Druckluftverbraucher und die Summe der Druckverluste im Netz.

### 8.2.1 Einflußgrößen auf den Ausschaltdruck $p_{max}$

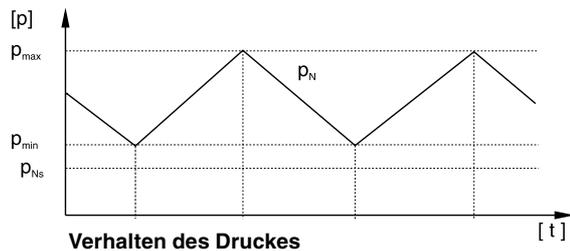


Bild 8.3 : Verhalten des Druckes im Druckluftbehälter

Der Behälterdruck der zwischen  $p_{min}$  und  $p_{max}$  schwankt, muß immer deutlich über den Arbeitsdrücken der Verbraucher im Netz liegen. In Druckluftsystemen kommt es immer zu Druckverlusten. Aus diesem Grund muß man die Druckverluste, die durch die verschiedenen Komponenten eines Druckluftsystems verursacht werden, berücksichtigen.

Folgende Werte sind bei der Festlegung des Ausschaltdruckes  $p_{max}$  zu berücksichtigen:

- Normale Druckluftnetze **≤ 0,1 bar**  
Das Druckluftnetz sollte so ausgelegt sein, daß die Summe der Druckverluste  $\Delta p$  des gesamten Rohrleitungsnetzes 0,1 bar nicht überschreitet.
- Große Druckluftnetze **≤ 0,5 bar**  
Bei weit verzweigten Druckluftnetzen, z.B. in Bergwerken, Steinbrüchen oder auf Großbaustellen, kann man einen Druckabfall  $\Delta p$  bis 0,5 bar zulassen.
- Druckluftaufbereitung durch Trockner.
 

Membran-Drucklufttrockner mit Filter	<b>≤ 0,6 bar</b>
Kälte-Drucklufttrockner	<b>≤ 0,2 bar</b>
Adsorptions-Drucklufttrockner mit Filter	<b>≤ 0,8 bar</b>
- Druckluftaufbereitung durch Filter und Abscheider.
 

Zyklonabscheider	<b>≤ 0,05 bar</b>
Filter allgemein	<b>≤ 0,6 bar</b>

 Der Druckabfall  $\Delta p$  durch Filter steigt während des Einsatzes durch Verschmutzung. Angegeben ist der Grenzwert, bei dem das Filterelement spätestens ausgetauscht werden muß.
- Die Schaltdifferenz des Kompressors.
 

Schraubenkompressoren	<b>0,5 – 1 bar</b>
Kolbenkompressoren	<b><math>p_{max} - 20 \%</math></b>
- Reserven.  
Während des Betriebes kommt es im Druckluftsystem immer wieder zu unvorhergesehenen Druckverlusten. Aus diesem Grund sollte immer eine ausreichende Druckreserve eingeplant werden um Leistungsverluste zu vermeiden.

## 8.3 Volumenbestimmung eines Druckluftbehälters

Druckluftbehälter dienen zur Druckluftspeicherung, Pulsationsdämpfung und Kondensatabscheidung im Druckluftsystem. Um besonders die Aufgabe der Druckluftspeicherung optimal erfüllen zu können, muß der Druckluftbehälter richtig dimensioniert werden.

### 8.3.1 Empfehlungen für das Druckluftbehältervolumen

Die Bestimmung des Druckluftbehältervolumens  $V_B$  erfolgt in erster Linie durch vielfach bestätigte Erfahrungswerte. BOGE empfiehlt folgende Verhältnisse der Kompressorliefermenge  $\dot{V}$  [ l/min ] zum Behältervolumen  $V_B$  [ l ] :

- Kolbenkompressoren.  $V_B = \dot{V}$   
Aufgrund der Kompressoreigenschaften wird ein intermittierender Lauf angestrebt.
- Schraubenkompressoren  $V_B = \dot{V}/3$   
Aufgrund der Kompressoreigenschaften wird ein gleichmäßiger Lauf angestrebt.

Nach der Festlegung des Druckluftbehältervolumens muß bei Kolbenkompressoren das Schaltintervall des Kompressors, bestehend aus der Kompressorlaufzeit und der Kompressorstillstandszeit, ermittelt werden. Daraus ergibt sich die Anzahl der Schaltspiele des Kompressors.

### 8.3.2 Normreihe und Betriebsdrücke für Druckluftbehältergrößen

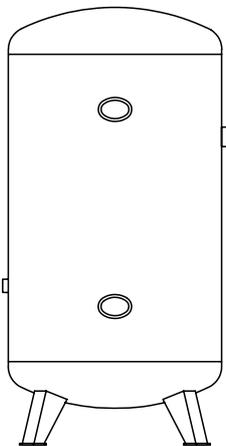


Bild 8.4 :  
Druckluftbehälter, stehend

Druckluftbehälter sind in sinnvollen Volumenstufungen festgelegt. Um keine unnötigen Kosten für Einzelanfertigungen zu verursachen, sollten immer Behälter aus der Normreihe gewählt werden.

Der maximale Druck, für den ein Behälter ausgelegt ist, liegt aus Sicherheitsgründen immer mindestens 1 bar über dem maximalen Kompressorhöchstdruck. 10 bar Kompressoren haben z.B. einen auf 11 bar ausgelegten Druckluftbehälter. Das Sicherheitsventil wird ebenfalls auf 11 bar eingestellt.

Die folgende Tabelle zeigt die bei verschiedenen Betriebsdrücken zu Verfügung stehenden Druckluftbehältergrößen :

Druckluftbehälter- volumen [ l ]	Betriebsdruck bis		
	11 [ bar ]	16 [ bar ]	36 [ bar ]
18	•		
30	•		
50	•	•	
80	•		
150	•	•	•
250	•	•	•
350	•	•	•
500	•	•	•
750	•	•	•
1000	•	•	•
1500	•	•	•
2000	•	•	•
3000	•	•	•
5000	•	•	•

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.3.3 Druckluftbehältervolumen für Kompressoren

Das optimale Speichervolumen eines Druckluftbehälters für einen Kompressor läßt sich mit Hilfe einer Formel genauer definieren.

Die Formel ist ideal, wenn im Aussetzbetrieb möglichst lange Stillstandszeiten geplant sind. Das Volumen des Druckluftnetzes kann als Teil des Behältervolumens mit berücksichtigt werden.

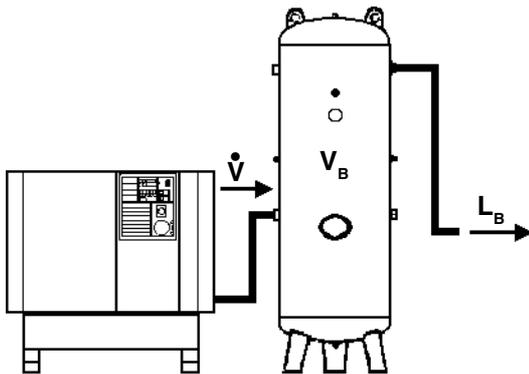


Bild 8.5 : Kompressor und Druckluftbehälter

$$V_B = \frac{\dot{V} \times 60 \times [ \frac{L_B}{\dot{V}} - ( \frac{L_B}{\dot{V}} )^2 ]}{z \times ( p_{max} - p_{min} )}$$

- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [ m<sup>3</sup> ]
- $\dot{V}$  = Liefermenge des Kompressors [ m<sup>3</sup>/min ]
- $L_B$  = Benötigte Liefermenge [ m<sup>3</sup>/min ]
- $z$  = Zulässige Motorschaltspiele/h [ 1/h ]  
( siehe Kapitel 8.4.3 )
- $p_{max}$  = Ausschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]
- $p_{min}$  = Einschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]

Trotz der Berücksichtigung aller Einflußgrößen ist es ratsam, die ermittelte Druckluftbehältergröße anhand der zulässigen Motorschaltspiele des Kompressors zu überprüfen.

Es ist einleuchtend, daß bei kleinerem Behältervolumen  $V_B$  ein Kompressor häufiger ein- und ausschaltet. Der Motor wird dadurch belastet. Im Gegensatz dazu schaltet bei einem großen Behältervolumen  $V_B$  und gleichbleibender Liefermenge der Motor eines Kompressors seltener. Er wird geschont.

### Einfache Faustformeln zur Ermittlung des Druckluftbehältervolumens

Kolbenkompressor	Schraubenkompressor
$V_B = \frac{Q \times 15}{z \times \Delta p}$	$V_B = \frac{Q \times 5}{z \times \Delta p}$

- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [ m<sup>3</sup> ]
- $Q$  = Liefermenge des Kompressors [ m<sup>3</sup>/min ]
- 15 bzw. 5 = Konstanter Faktor
- $z$  = Zulässige Motorschaltspiele/h [ 1/h ]  
( siehe Kapitel 8.4.3 )
- $\Delta p$  = Druckdifferenz EIN/AUS

## 8.4 Schaltintervall des Kompressors

Das Schaltintervall ist eine wichtige Größe in einem Druckluftsystem. Um die richtige Dimensionierung des Druckluftbehälters bezüglich der Liefermenge und des Druckluftverbrauchs zu überprüfen, muß das Schaltintervall ermittelt werden. Dies geschieht durch die Berechnung der Kompressorlaufzeit  $t_L$  und der Kompressorstillstandszeit  $t_S$ , deren Summe das Schaltintervall ergibt.

### 8.4.1 Kompressorstillstandszeit

Während der Kompressor-Stillstandszeit  $t_S$  wird der Druckluftbedarf aus dem Speichervolumen des Druckluftbehälters gedeckt. Dadurch sinkt der Druck im Druckluftbehälter vom Ausschaltdruck  $p_{\max}$  bis zum Einschaltdruck  $p_{\min}$ . Der Kompressor liefert in dieser Zeit keine Druckluft.

Zur Ermittlung der Kompressorstillstandszeit  $t_S$  dient folgende Formel :

$$t_S = \frac{V_B \times (p_{\max} - p_{\min})}{L_B}$$

- $t_S$  = Stillstandszeit des Kompressors [ min ]
- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [ l ]
- $L_B$  = Benötigte Liefermenge [ l/min ]
- $p_{\max}$  = Ausschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]
- $p_{\min}$  = Einschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]

### 8.4.2 Kompressorlaufzeit

Während der Kompressorlaufzeit gleicht der Kompressor den Druckabfall im Druckluftbehälter wieder aus. Gleichzeitig wird weiterhin der aktuelle Druckluftbedarf gedeckt. Die Liefermenge  $\dot{V}$  ist höher als der Druckluftverbrauch  $L_B$ . Der Druck im Druckluftbehälter steigt wieder bis auf  $p_{\max}$  an.

Zur Ermittlung der Kompressorlaufzeit  $t_L$  dient folgende Formel :

$$t_L = \frac{V_B \times (p_{\max} - p_{\min})}{(\dot{V} - L_B)}$$

- $t_L$  = Laufzeit des Kompressors [ min ]
- $V_B$  = Volumen des Druckluftbehälters [ l ]
- $L_B$  = Benötigte Liefermenge [ l/min ]
- $\dot{V}$  = Liefermenge des Kompressors [ l/min ]
- $p_{\max}$  = Ausschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]
- $p_{\min}$  = Einschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>ü</sub> ]

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.4.3 Ermittlung der Motorschaltspiele

Die maximal zulässigen Motorschaltspiele sind von der Größe des Antriebsmotors abhängig. Wird die Anzahl der zulässigen Motorschaltspiele überschritten, kann es zu Schäden am Antriebsmotor kommen.

Zur Ermittlung der erwarteten Motorschaltspiele **S** des Kompressors werden die Kompressorlaufzeit  $t_L$  und die Kompressorstillstandszeit  $t_s$  addiert, und die Bezugszeit (üblicherweise 60 min) durch das Ergebnis dividiert.

Liegt das Ergebnis über der Zahl der zulässigen Motorschaltspiele **z**, ist der Druckluftbehälter größer zu dimensionieren.

Eine zweite Möglichkeit wäre eine Vergrößerung der Schaltdifferenz ( $p_{max} - p_{min}$ ).

$$S = \frac{60}{t_s + t_L}$$

S = Schaltspiele [ 1/h ]

$t_L$  = Laufzeit des Kompressors [ min ]

$t_s$  = Stillstandszeit des Kompressors [ min ]

Die folgende Tabelle gibt die zulässigen Motorschaltspiele eines Elektromotors pro Stunde in Abhängigkeit von der Motorleistung an.

Motorleistung [ kW ]	zul. Motorschaltspiele/h z [ 1/h ]
4 – 7,5	30
11 – 22	25
30 – 55	20
65 – 90	15
110 – 160	10
200 – 250	5

## 8.5 Beispiele zur Kompressorauslegung

### 8.5.1 Rechenbeispiel für Kolbenkompressoren

In Kapitel 7.2.5 wurde für eine Anzahl Verbraucher die benötigte Liefermenge von  $L_B = 2035 \text{ l/min}$  ermittelt. Der höchste benötigte Arbeitsdruck liegt in diesem Beispiel bei  $6 \text{ bar}_ü$ . Hier wird für diesen Anwendungsfall ein Kolbenkompressor dimensioniert.

#### 8.5.1.1 Ermittlung des Höchstdruckes $p_{max}$

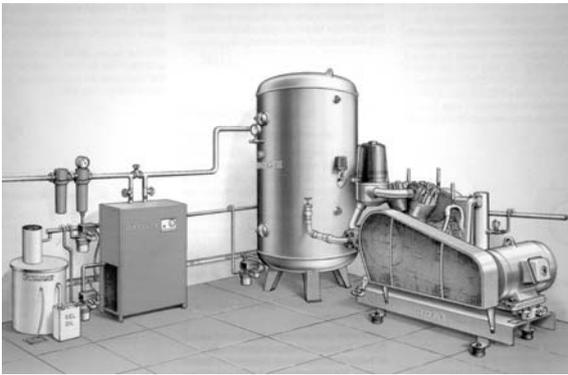


Bild 8.6 :  
Kompressorstation mit Kolbenkompressor,  
Druckluftbehälter, Kälte-Drucklufttrockner und  
Filtersystem

Der Kompressor-Höchstdruck  $p_{max}$  des Druckluftsystems ist zu ermitteln. Ausgehend vom Arbeitsdruck der Verbraucher sind alle Komponenten im Druckluftsystem zu berücksichtigen :

– Höchster Arbeitsdruck im System		$6 \text{ bar}_ü$
– Druckluftnetz	Druckverluste	$0,1 \text{ bar}$
– Filter	Druckverluste	$0,6 \text{ bar}$
– Kälte-Drucklufttrockner	Druckverluste	$0,2 \text{ bar}$

---

**Mindestdruck im Behälter**  **$6,9 \text{ bar}_ü$**

Der Einschaltdruck  $p_{min}$  muß immer über diesem Druck liegen.

– Schaltdifferenz des Kolbenkompressors		ca. $2 \text{ bar}$
---	--	---------------------

---

Der Ausschaltdruck  $p_{max}$  liegt mindestens bei  **$8,9 \text{ bar}_ü$**

**Gewählter Kompressor-Höchstdruck ( Ausschaltdruck des Kompressors )**  **$10 \text{ bar}_ü$**

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.5.1.2 Bestimmung der Kompressorgröße

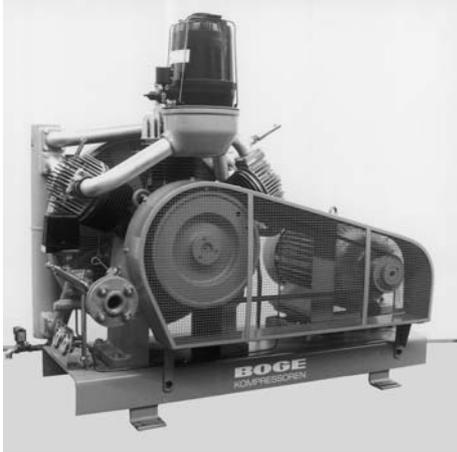


Bild 8.7 :  
BOGE - Kolbenkompressor Typ RM 3650-213

Kolbenkompressoren werden mit Reserven ausgelegt, die in der Größenordnung von ca. 40 % liegen. Reserven werden erfahrungsgemäß angesetzt, um eventuelle Betriebserweiterungen zu berücksichtigen und um den Kompressor intermittierend, d.h. im Aussetzbetrieb zu fahren. Intermittierender Betrieb bedeutet weniger Verschleiß.

Die optimale Einschaltdauer ED eines Kolbenkompressors liegt bei 60 %. BOGE-Kolbenkompressoren sind für 100 % ED = Dauerlauf ausgelegt. Für die Berechnung der Kompressorgröße bedeutet das: die benötigte Liefermenge  $\dot{V}_B$  ist durch 0,6 zu dividieren, um die minimale Liefermenge  $\dot{V}_{min}$  des Kolbenkompressors zu erhalten.

$$\begin{aligned} \dot{V}_{min} &= L_B / 0,6 \\ \dot{V}_{min} &= 2035 / 0,6 \\ \dot{V}_{min} &= 3392 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Gewählt wird :

### Kolbenkompressor Typ RM 4150-213

Höchstdruck  $p_{max}$  : 10 bar

Liefermenge  $\dot{V}$  : 3350 l/min

Motorleistung : 30 kW  $\Rightarrow z = 20$

## 8.5.1.3 Volumen des Druckluftbehälters

Das Volumen des Druckluftbehälters ist entsprechend der BOGE-Empfehlung, Kompressorliefermenge  $\dot{V}$  = Druckluftbehältervolumen  $V_B$ , festzulegen. Dabei muß die Stufung der Druckluftbehältergrößen berücksichtigt werden.

$$\dot{V} = 3350 \text{ l/min} \Rightarrow V_B = 3000 \text{ l}$$

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.5.1.4 Schaltintervall des Kompressors

Nach der Festlegung des Druckluftbehältervolumens folgt die notwendige Ermittlung der Kompressorlauf- und Stillstandszeiten um die Motorschaltspiele **S** zu überprüfen.

Zur Ermittlung der Kompressorstillstandszeit  $t_s$  dient folgende Formel :

$$\begin{aligned}V_B &= 3000 \text{ l} \\p_{\max} &= 10 \text{ bar}_{\bar{u}} \\p_{\min} &= 8 \text{ bar}_{\bar{u}} \\L_B &= 2035 \text{ l/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_s &= \frac{V_B \times (p_{\max} - p_{\min})}{L_B} \\t_s &= \frac{3000 \times (10 - 8)}{2035} \\t_s &= 2,95 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_s &= \text{Stillstandszeit des Kompressors} && [\text{min}] \\V_B &= \text{Volumen des Druckluftbehälters} && [\text{l}] \\L_B &= \text{Benötigte Liefermenge} && [\text{l/min}] \\p_{\max} &= \text{Ausschaltdruck des Kompressors} && [\text{bar}_{\bar{u}}] \\p_{\min} &= \text{Einschaltdruck des Kompressors} && [\text{bar}_{\bar{u}}]\end{aligned}$$

Zur Ermittlung der Kompressorlaufzeit  $t_L$  dient folgende Formel :

$$\begin{aligned}V_B &= 3000 \text{ l} \\p_{\max} &= 10 \text{ bar}_{\bar{u}} \\p_{\min} &= 8 \text{ bar}_{\bar{u}} \\\dot{V} &= 3650 \text{ l/min} \\L_B &= 2035 \text{ l/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_L &= \frac{V_B \times (p_{\max} - p_{\min})}{(\dot{V} - L_B)} \\t_L &= \frac{3000 \times (10 - 8)}{(3650 - 2035)} \\t_L &= 4,56 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_L &= \text{Laufzeit des Kompressors} && [\text{min}] \\V_B &= \text{Volumen des Druckluftbehälters} && [\text{l}] \\L_B &= \text{Benötigte Liefermenge} && [\text{l/min}] \\\dot{V} &= \text{Liefermenge des Kompressors} && [\text{l/min}] \\p_{\max} &= \text{Ausschaltdruck des Kompressors} && [\text{bar}_{\bar{u}}] \\p_{\min} &= \text{Einschaltdruck des Kompressors} && [\text{bar}_{\bar{u}}]\end{aligned}$$

# Größenbestimmung der Kompressorstation

---

## 8.5.1.5 Motorschaltspiele des Kompressors

Aus der Kompressorlaufzeit und der Kompressorstillstandszeit wird die Anzahl der Motorschaltspiele berechnet und mit den zulässigen Motorschaltspielen  $z$  verglichen.

$$t_s = 2,95 \text{ min}$$

$$t_L = 4,56 \text{ min}$$

$$\text{Motorleistung } 22 \text{ kW} \Rightarrow z = 25$$

$S = \frac{60}{t_s + t_L}$
$S = \frac{60}{2,95 + 4,56}$
$S = 8$

$$S = \text{Schaltspiele} \quad [ 1/h ]$$

$$t_L = \text{Laufzeit des Kompressors} \quad [ \text{min} ]$$

$$t_s = \text{Stillstandszeit des Kompressors} \quad [ \text{min} ]$$

Ca. 8 Motorschaltspiele pro Stunde liegen weit unter dem zulässigen Wert des 30 kW Motors ( $z = 20$ ). Das Volumen des Druckluftbehälters ist gut dimensioniert. Aufgrund der hohen Schaltspielreserve könnte der Druckluftbehälter sogar etwas kleiner sein.

### Hinweis

Wenn der genaue Druckluftverbrauch nicht festliegt, können bei der Ermittlung der Schaltspiele des Motors 50 % der Liefermenge des Kompressors als Verbrauch angenommen werden. In diesem Fall sind die Stillstand- und Laufzeiten des Kompressors gleich. Dadurch ergibt sich die höchste Anzahl an Motorschaltspielen.

## 8.5.2 Rechenbeispiele für Schraubenkompressoren

In Kapitel 7.2.5 wurde für eine Anzahl Verbraucher die benötigte Liefermenge  $L_B = 2,04 \text{ m}^3/\text{min}$  ermittelt. Der höchste benötigte Arbeitsdruck liegt in diesem Beispiel bei  $6 \text{ bar}_u$ . Hier wird für diesen Anwendungsfall ein Schraubenkompressor dimensioniert.

### 8.5.2.1 Beispiel zur Ermittlung des Höchstdruckes $p_{\max}$



Bild 8.8 : Kompressorstation mit Schraubenkompressor, Kälte-Drucklufttrockner, Druckluftbehälter und Filtersystem

Der Kompressor-Höchstdruck  $p_{\max}$  des Druckluftsystems soll ermittelt werden. Ausgehend vom Arbeitsdruck der Verbraucher sind alle Komponenten im Druckluftsystem zu berücksichtigen :

– Höchster Arbeitsdruck im System		6 bar <sub>u</sub>
– Druckluftnetz	Druckverlust	0,1 bar
– Filter	Druckverlust	0,6 bar
– Kälte-Drucklufttrockner	Druckverlust	0,2 bar

**Mindestdruck im Behälter** **6,9 bar<sub>u</sub>**

Der Einschaltdruck  $p_{\min}$  muß immer über diesem Druck liegen.

– Schaltdifferenz des Schraubenkompressors		1 bar
--	--	-------

Der Ausschaltdruck  $p_{\max}$  liegt mindestens bei **7,9 bar<sub>u</sub>**

**Gewählter Kompressor-Höchstdruck ( Ausschaltdruck des Kompressors )** **8 bar<sub>u</sub>**

### 8.5.2.2 Bestimmung der Kompressorgröße

Die optimale Einschaltdauer **ED** eines Schraubenkompressors liegt bei 100 %. Das heißt, die benötigte Liefermenge  $L_B$  wird mit der minimale Liefermenge  $\dot{V}_{\min}$  des Kompressors gleichgesetzt.

$$L_B = 2,04 \text{ m}^3/\text{min} = \dot{V}_{\min} = \text{ca. } 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Gewählt wird :

#### Schraubenkompressor Typ S 21

Höchstdruck $p_{\max}$ :	8	bar
Liefermenge $\dot{V}$ :	2,42	m <sup>3</sup> /min
Motorleistung :	15	kW ⇒ z = 25



Bild 8.9 : BOGE-Schraubenkompressor

# Größenbestimmung der Kompressorstation

## 8.5.2.3 Dimensionierung des Druckluftbehälters

- $\dot{V} = 2,42 \text{ m}^3/\text{min}$
- $L_B = 2,04 \text{ m}^3/\text{min}$
- $L_B/\dot{V} = 0,843$
- $z = 25 \text{ 1/h}$
- $p_{\max} = 9 \text{ bar}_u$
- $p_{\min} = 8 \text{ bar}_u$

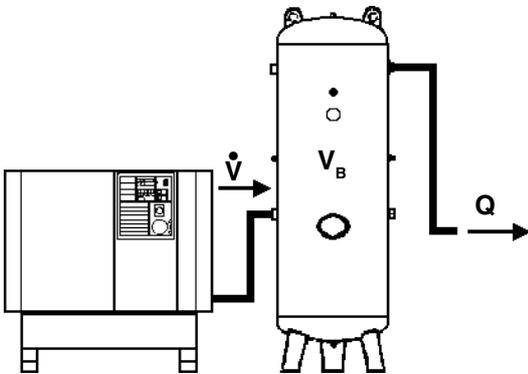


Bild 8.10 : Kompressor und Druckluftbehälter

Das Volumen des Druckluftbehälters wird bei Schraubenkompressoren mit Hilfe der folgenden Berechnung ermittelt. Bei der Auswahl ist die übliche Stufung der Druckluftbehältergrößen zu berücksichtigen.

$$V_B = \frac{\dot{V} \times 60 \times [L_B/\dot{V} - (L_B/\dot{V})^2]}{z \times (p_{\max} - p_{\min})}$$

$$V_B = \frac{2,42 \times 60 \times [0,843 - 0,843^2]}{25 \times (9 - 8)}$$

$$V_B = 0,77 \text{ m}^3$$

**Gewähltes Druckluftbehältervolumen :**

$$V_B = 0,75 \text{ m}^3 = 750 \text{ l}$$

- $V_B =$  Volumen des Druckluftbehälters [ m<sup>3</sup> ]
- $\dot{V} =$  Liefermenge aller Kompressoren [ m<sup>3</sup>/min ]
- $L_B =$  Benötigte Liefermenge [ m<sup>3</sup>/min ]
- $z =$  Zulässige Motorschaltspiele [ 1/h ]
- $p_{\max} =$  Ausschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>u</sub> ]
- $p_{\min} =$  Einschaltdruck des Kompressors [ bar<sub>u</sub> ]

Das Volumen des Druckluftbehälters kann auch entsprechend der BOGE-Empfehlung, Kompressorliefermenge zu Druckluftbehältervolumen  $V_B = V_3$ , festgelegt werden.

$$\dot{V} = 2,46 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow V_B = 0,82 \text{ m}^3$$

## 8.5.2.4 Schaltintervall des Kompressors

Die Schaltintervalle und die maximal zulässigen Schaltspiele des Motors müssen bei BOGE-Schraubenkompressoren nicht überprüft werden, da die BOGE ARS-Steuerung über ihren Microcontroller ein Überschreiten der zulässigen Motorschaltspiele nicht zulässt.

### 8.5.3 Resümee zur Kompressorauswahl

Wenn ein Betrieb mit schwankendem Druckluftverbrauch rechnet und spätere Erweiterungen plant, wird er einen Kompressor benötigen, der für stark intermittierenden Betrieb ausgelegt ist. Hier bietet sich ein Kolbenkompressor an. Kann die Liefermenge des Kompressors den konstanten Druckluftbedarf decken, sollte ein Schraubenkompressor eingesetzt werden.

Beide Verdichtersysteme sind komplett schallgedämmt lieferbar. Beide sind anschlussfertig.

Die Wahl des richtigen Systems sollte nicht vom Kaufpreis abhängig sein, denn dieser amortisiert sich schnell, wenn laufende Betriebskosten gespart werden. Laufende Betriebskosten sind nicht nur die Energiekosten für die Druckluftherzeugung, sondern auch die Leerlaufkosten.

Kolbenkompressoren arbeiten im Aussetzbetrieb. Sie haben keinen Leerlauf. Schraubenkompressoren müssen durch ihre geringe Schaltdifferenz und den relativ kleinen Druckluftbehälter automatisch im Leerlaufbetrieb fahren, um viele Motorschaltspiele zu vermeiden.

Durch die ARS-Steuerung wird der Aussetzbetrieb mit minimaler Leerlaufzeit angestrebt.

## 8.6 Hinweise zur Kompressorauslegung

### 8.6.1 Leistung und Arbeitsdruck



Bild 8.11 : Schlagschrauber mit Druckluftantrieb

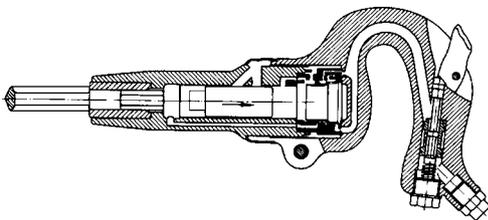


Bild 8.12 : Ventilloser Drucklufthammer

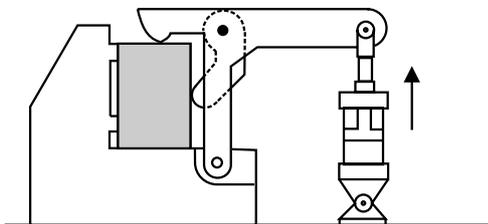


Bild 8.13 : Pneumatische Klemmvorrichtung

Der Arbeitsdruck von Druckluftverbrauchern sollte immer eingehalten werden. Die Leistung eines Druckluftverbrauchers nimmt überproportional ab, wenn der Netzdruck  $p_N$  unter seinen Arbeitsdruck sinkt.

Die folgende Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Leistung vom Arbeitsdruck am Beispiel von durchschnittlichen Druckluftwerkzeugen und Bohrhämmern :

Effektiver Druck [ bar ] am Anschluß	Relative Leistung [ % ]		Relativer Luftverbrauch [ % ]	
	Werkzeug	Bohrhammer	Werkzeug	Bohrhammer
7	120	130	115	120
6	100	100	100	100
5	77	77	83	77
4	55	53	64	56

### Beispiel

Am Beispiel eines Pneumatikzylinders können die Folgen zu geringen Netzdruckes gut demonstriert werden.

Der Pneumatikzylinder einer Klemmvorrichtung wird nicht mehr mit dem erforderlichen Arbeitsdruck versorgt. Die Klemmkraft des Zylinders nimmt ab und das Werkstück wird nicht mehr mit der notwendigen Haltekraft fixiert.

Während der Bearbeitung durch eine Werkzeugmaschine löst sich das Werkstück aus der Klemmvorrichtung. Die Folgen können von der Zerstörung des Werkzeuges bis zur Verletzung des Maschinenführers reichen.

## 8.6.2 Variierender Arbeitsdruck der Verbraucher

Wenn der Arbeitsdruck der verschiedenen Verbraucher stark variiert, sollte dies einer näheren Untersuchung unterzogen werden.

Einige Verbraucher mit geringem Druckluftbedarf, benötigen einen deutlich höheren Arbeitsdruck als der Rest.

In diesem Fall sollte man eine zweite, kleine Kompressorstation mit einem separaten Druckluftnetz und entsprechend höherem Ausschaltdruck  $p_{\max}$  einrichten.

Die unnötige Überverdichtung des Hauptvolumenstroms des Druckluftsystems verursacht erhebliche Kosten. Diese zusätzlichen Kosten rechtfertigen in den meisten Fällen die Installation eines zweiten Druckluftnetzes.

Das separate Netz amortisiert sich durch die Reduzierung der Betriebskosten normalerweise schnell.

## 8.6.3 Kompressorverbundsysteme

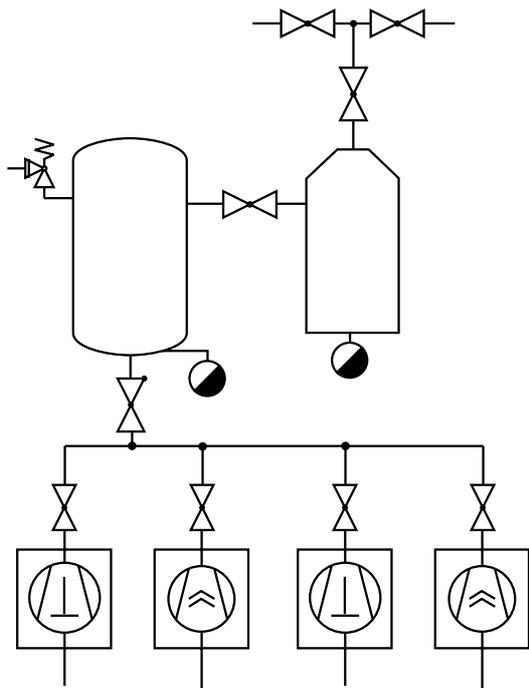


Bild 8.14 :  
Schema eines Kompressorverbundsystems

Für Druckluftanwender mit hohem, stark schwankendem Verbrauch ist es ungünstig, einen einzelnen Großkompressor zu installieren. In diesen Fällen ist die Alternative ein Kompressorverbundsystem, das aus mehreren Kompressoren besteht. Dafür spricht eine größere Betriebssicherheit und die höhere Wirtschaftlichkeit.

Ein oder mehrere Kompressoren decken den kontinuierlichen Grundbedarf an Druckluft (Grundlast). Steigt der Bedarf, werden nacheinander weitere Kompressoren zugeschaltet (Mittelast und Spitzenlast), bis die Liefermenge den Bedarf wieder deckt. Sinkt der Bedarf, werden die Kompressoren nacheinander wieder abgeschaltet.

Die Zusammenstellung der einzelnen Kompressoren (Liefermenge) eines Kompressorverbundsystems ist individuell so verschieden, daß darüber keine allgemeingültige Aussage gemacht werden kann. Sie hängt vom Druckluftverhalten aller Verbraucher ab, die am Netz angeschlossen sind.

### Vorteile

- Betriebssicherheit.  
Betriebe, die stark von Druckluft abhängig sind, können durch ein Kompressorverbundsystem ihre Versorgung zu jeder Zeit sicherstellen. Fällt ein Kompressor aus, oder sind Wartungsarbeiten nötig, übernehmen die anderen Kompressoren die Versorgung.
- Wirtschaftlichkeit.  
Mehrere kleine Kompressoren können leichter dem Druckluftverbrauch angepaßt werden als ein großer Kompressor. Aus dieser Tatsache ergibt sich die höhere Wirtschaftlichkeit. Wird nur im Teillastbetrieb gearbeitet, fallen nicht die hohen Leerlaufkosten eines großen Kompressors an, sondern niedrige Leerlaufkosten des kleinen Bereitschaftskompressors des Verbundsystems.