

7. Druckluftbedarf

Der erste Schritt zur Auslegung einer Kompressorstation und des dazugehörigen Druckluftnetzes ist die Ermittlung des Druckluftverbrauchs und daraus folgend die benötigte Liefermenge des Kompressors.

Für die Dimensionierung einer Kompressorstation ist zuerst der erwartete Gesamtverbrauch zu ermitteln. Der Druckluftverbrauch der Einzelverbraucher wird addiert und mit Hilfe einiger Multiplikatoren den Betriebsbedingungen angepaßt. Der Kompressor kann dann entsprechend der ermittelten Liefermenge ausgewählt werden.

Bei der Dimensionierung von Rohrleitungen verfährt man ähnlich. Zuerst erfolgt die Festlegung von Art und Anzahl der Druckluftverbraucher an einem bestimmten Leitungsstrang. Der Druckluftverbrauch der einzelnen Geräte wird addiert und mit den entsprechenden Multiplikatoren korrigiert. Auf der Grundlage dieses Ergebnisses kann der Durchmesser des entsprechenden Leitungsstrangs dimensioniert werden.

Auch die Leckverluste sind beim Ermitteln des zu erwartenden Druckluftverbrauchs zu berücksichtigen.

7.1 Druckluftverbrauch von Pneumatikgeräten

Die Ermittlung des Gesamtdruckluftverbrauchs ist aufgrund fehlender Angaben für die einzelnen Geräte oft schwierig. Richtwerte für den Druckluftbedarf einzelner Komponenten werden in diesem Kapitel gegeben.

Bei den hier gemachten Angaben zum Druckluftverbrauch der einzelnen Geräte handelt es sich um Durchschnittswerte. Für genaue Berechnungen benutzen sie bitte die Verbrauchsangaben der einzelnen Hersteller.

7.1.1 Druckluftverbrauch von Düsen

Der Druckluftverbrauch von Düsen verschiedener Bauformen und Nutzungen ist sehr unterschiedlich. Er hängt von verschiedenen Faktoren ab :

- Durchmesser der Düse.
Je größer die Düse ist, desto größer ist der Druckluftverbrauch.
- Arbeitsdruck der Düse.
Je höher der Arbeitsdruck, desto größer der Druckluftverbrauch.
- Form der Düse.
Ein einfaches, zylindrisches Durchgangsloch hat einen wesentlich kleineren Druckluftverbrauch als eine konische oder Laval-Düse (Expansionsdüse).
- Oberflächenqualität der Austrittsöffnung.
Wenn die Oberflächenqualität sehr hoch ist (die Oberfläche ist sehr glatt, ohne Riefen und Unebenheiten), kann mehr Druckluft durch die Austrittsöffnung strömen.
- Spritzen oder Blasen.
Wird die Luft als Transportmedium für Farbe, Sand u.ä. benutzt, steigt der Druckluftverbrauch an.

7.1.1.1 Druckluftverbrauch von zylindrischen Düsen

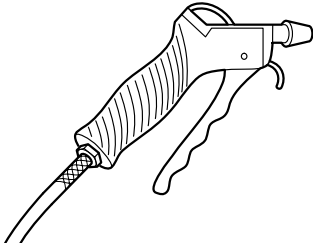


Bild 7.1 :
Ausblaspistole

Düsen mit einfacher, zylindrischer Bohrung (z.B. Ausblaspistole) erzeugen bei der ausströmenden Druckluft starke Verwirbelungen und Turbulenzen. Die Ausströmgeschwindigkeit der Druckluft wird dadurch verringert. Der Druckluftverbrauch ist vergleichsweise niedrig.

Die folgende Tabelle gibt Anhaltswerte für den Druckluftverbrauch von zylindrischen Düsen in Abhängigkeit von Arbeitsdruck und Düsendurchmesser an :

Düsen- Ø [mm]	Arbeitsdruck [bar _ü]						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	8	10	12	15	18	22	28
1,0	25	35	45	55	65	75	85
1,5	60	75	95	110	130	150	170
2,0	105	145	180	220	250	290	330
2,5	175	225	280	325	380	430	480
3,0	230	370	400	465	540	710	790

Die Luftverbrauchswerte in der Tabelle sind in *l/min* angegeben.

7.1.1.2 Druckluftverbrauch von Farbspritzpistolen

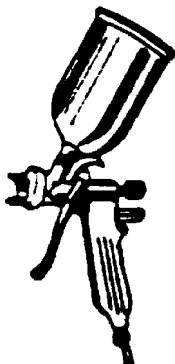


Bild 7.2 :
Farbspritzpistole mit Farbbehälter

Der Farbauftrag einer Spritzpistole muß gleichmäßig und tropfenfrei sein. Aus diesem Grund sind die Düsen von Farbspritzpistolen für einen expandierenden, turbulenzfreien Volumenstrom mit hoher Austrittsgeschwindigkeit konzipiert. Die Folge ist ein Druckluftverbrauch, der deutlich über dem der zylindrischen Düsen liegt.

Die Konsistenz und die gewünschte Auftragsmenge der verwendeten Farbe bestimmt den Arbeitsdruck und Düsendurchmesser der Farbspritzpistole. Diese beide Werte beeinflussen den Druckluftverbrauch maßgeblich.

Man unterscheidet bei Farbspritzpistolen zwischen Flach-, Breit- und Rundstrahldüsen. Durch die verschiedenen Strahlformen wird der Farbauftrag beeinflusst. Sie unterscheiden sich in ihrem Druckluftverbrauch. Vielfach sind die Spritzpistolen zwischen den Strahlformen umstellbar.

Die folgenden Tabellen geben Anhaltswerte für den Druckluftverbrauch von Farbspritzpistolen in Abhängigkeit von Arbeitsdruck, Düsendurchmesser und Strahlform an :

Düsen- Ø [mm]	Arbeitsdruck [bar _a] Flach- und Breitstrahl						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	100	115	135	160	185	–	–
0,8	110	130	155	180	225	–	–
1,0	125	150	175	200	240	–	–
1,2	140	165	185	210	250	–	–
1,5	160	180	200	225	260	–	–
1,8	175	200	220	250	280	–	–
2,0	185	210	235	265	295	–	–
2,5	210	230	260	300	340	–	–
3,0	230	250	290	330	375	–	–

Die Luftverbrauchswerte in der Tabelle sind in *l/min* angegeben.

Düsen- Ø [mm]	Arbeitsdruck [bar _a] Rundstrahl						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	75	90	105	–	–	–	–
0,8	85	100	120	–	–	–	–
1,0	95	115	135	–	–	–	–
1,2	110	125	150	–	–	–	–
1,5	120	140	155	–	–	–	–

Die Luftverbrauchswerte in der Tabelle sind in *l/min* angegeben.

7.1.1.3 Druckluftverbrauch von Strahldüsen

Beim Strahlen muß das Arbeitsmedium mit großer kinetischer Energie, d.h. mit hoher Geschwindigkeit, auf das Werkstück auftreffen. Das ist die Voraussetzung, um die gewünschte Wirkung des Arbeitsvorganges zu erzielen.

Aus diesem Grund werden die Düsen beim Strahlen für eine extrem hohe Austrittsgeschwindigkeit der Druckluft ausgelegt. Das führt zu einem vergleichsweise hohen Druckluftverbrauch.

Die folgenden Tabellen geben Anhaltswerte für den Druckluftverbrauch von Strahldüsen in Abhängigkeit von Arbeitsdruck und Düsendurchmesser an :

Düsen- Ø [mm]	Arbeitsdruck [bar _ü]						
	2	3	4	5	6	7	8
3,0	300	380	470	570	700	–	–
4,0	450	570	700	840	1000	–	–
5,0	640	840	1050	1270	1500	–	–
6,0	920	1250	1600	1950	2200	–	–
8,0	1800	2250	2800	3350	4000	–	–
10,0	2500	3200	4000	4800	6000	–	–

Die Luftverbrauchswerte in der Tabelle sind in *l/min* angegeben.

Druckluftbedarf

7.1.2 Druckluftverbrauch von Zylindern

Druckluftzylinder werden besonders im Bereich der Automation eingesetzt. Für die Ermittlung des Druckluftverbrauchs von Zylindern unterscheidet man zwei Typen:

- Die einfachwirkenden Zylinder erzeugen nur die Bewegung des Arbeitshubes mit Druckluft. Die Zurückstellung erfolgt durch äußere oder Federkraft.
- Die doppeltwirkenden Zylinder erzeugen die Bewegung in beiden Hubrichtungen durch die Druckluft. Bei beiden Hübten wird Kraft ausgeübt. Der Druckluftverbrauch ist entsprechend doppelt so hoch.

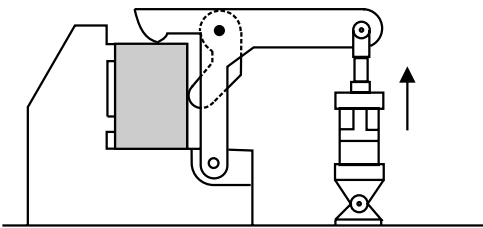


Bild 7.3 :
Klemmvorrichtung mit Pneumatikzylinder

Der Druckluftverbrauch q für Druckluftzylinder wird mit folgender Formel ermittelt :

$$q = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times H \times p \times a \times b$$

q = Druckluftverbrauch (1 bar_{abs} und 20°C) [l/min]

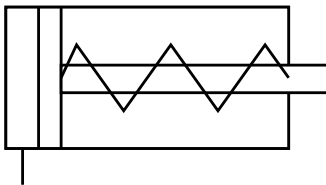
d = Kolbendurchmesser [dm]

H = Länge des Kolbenweges (Hub) [dm]

p = Betriebsdruck [bar_{abs}]

a = Arbeitstakte pro Minute [1/min]

b = 1 bei einfach wirkenden Zylindern
2 bei doppelt wirkenden Zylindern



$d = 100 \text{ mm} \quad \triangleq \quad 1 \text{ dm}$

$H = 130 \text{ mm} \quad \triangleq \quad 1,3 \text{ dm}$

$p = 7 \text{ bar}_{abs}$

$a = 47$

$b = 1$

Beispiel

Ein einfach wirkender Zylinder mit einem Kolbendurchmesser von 100 mm soll bei einem Betriebsdruck von 7 bar_{abs} betrieben werden. Sein Arbeitshub beträgt 120 mm bei 47 Arbeitstakten pro Minute.

$$q = \frac{1^2 \times \pi}{4} \times 1,3 \times 7 \times 47 \times 1$$

$$q = \text{ca. } 336 \text{ l/min}$$

Dieser Druckluftzylinder verbraucht **ca. 336 Liter** Druckluft pro Minute.

7.1.3 Druckluftverbrauch von Werkzeugen

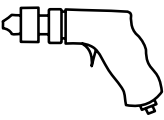
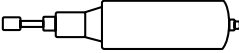
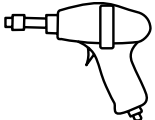
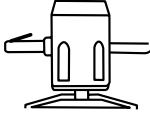

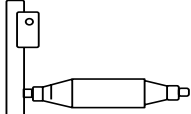
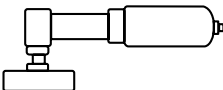



Bild 7.4 :
Schlagschrauber mit Druckluftantrieb

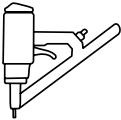
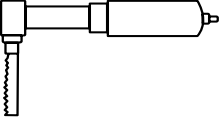

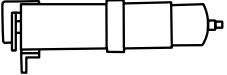

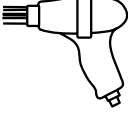
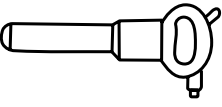
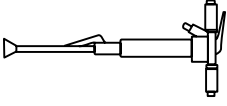
Druckluftwerkzeuge gehören in Industrie und Handwerk zu den häufigsten Druckluftverbrauchern. Sie sind fast überall in großer Zahl zu finden.

Im allgemeinen benötigen sie einen Arbeitsdruck von 6 bar_ü. Je nach Einsatzgebiet und Leistung kommen aber auch Ausführungen mit andere Arbeitsdrücken vor. In diesen Fällen weicht auch der Druckluftverbrauch von den Werten in der Tabelle ab.

Die folgende Tabelle gibt Richtwerte für den Druckluftverbrauch einer Auswahl von Druckluftwerkzeugen an. Sie können von den Angaben der jeweiligen Hersteller abweichen, da es sich um Durchschnittswerte handelt.

Gerät	Arbeitsdruck 6 bar _ü	Luftverbrauch [l/min]
	Bohrmaschine Bohrer bis 4 mm Ø 4 – 10 mm Ø 10 – 32 mm Ø	200 200 – 450 450 – 1750
	Schrauber M3 M4 – M5 M6 – M8	180 250 420
	Schlagschrauber M10 – M24	200 – 1000
	Winkelschleifer	300 – 700
	Vibrationsschleifer 1/4 Blatt 1/3 Blatt 1/2 Blatt	250 300 400
	Bandschleifer	300 – 400
	Handschleifer Spannzangen 6 – 8 mm Ø 8 – 20 mm Ø	300 – 1000 1500 – 3000
	Hefter, Heftzange	10 – 60

Druckluftbedarf

Gerät Arbeitsdruck 6 bar _ü		Luftverbrauch [l/min]
	Nagler	50 – 300
	Stichsäge (Holz)	300
	Kunststoff- und Textilschere	250 – 350
	Bleischere Kantenfräse (Holz und Kunststoff) Kantenhobel (Phasen für Schweißnähte)	400 – 900 250 – 400 2500 – 3000
	Rost-Abklopfer	250 – 350
	Nadelentrostler	100 – 250
	leichter Universalhammer Niet-, Meißel- und Stemmhammer leichte Abbau- und Aufbruchhammer schwere Abbau- und Aufbruchhammer Spatenhammer Bohrhammer	150 – 380 200 – 700 650 – 1500 – 3000 900 – 1500 500 – 3000
	Stampfer (Gießereien) Stampfer (Beton und. Erde) Rüttler (Innen- Außen)	400 – 1200 750 – 1100 500 – 2500

7.2 Ermittlung des Druckluftbedarfs

Um den Druckluftbedarf eines Druckluftnetzes zu ermitteln, ist nicht nur der Druckluftverbrauch der einzelnen Geräte zu addieren. Es sind einige Faktoren zu berücksichtigen, die den Druckluftverbrauch beeinflussen.

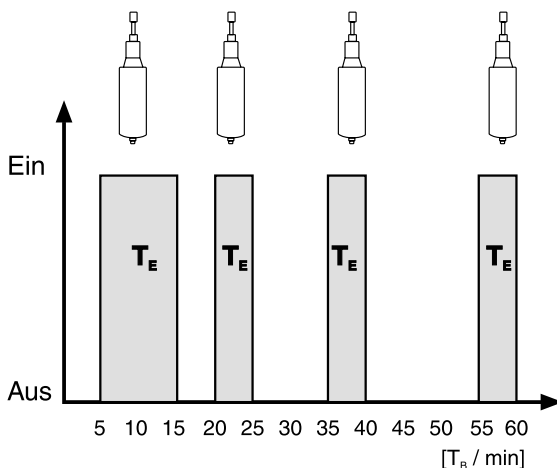
7.2.1 Mittlere Einschaltdauer

Die meisten Druckluftgeräte, wie z.B. Werkzeuge, Farbspritzpistolen und Ausblaspistolen, sind nicht durchgehend im Einsatz. Sie werden je nach Bedarf ein- und wieder ausgeschaltet. Für eine repräsentative Bedarfsermittlung ist es daher wichtig die mittlere Einschaltdauer **ED** zu ermitteln.

Zur Ermittlung der mittleren Einschaltdauer **ED** dient folgende Formel :

$$ED = \frac{T_E}{T_B} \times 100 \%$$

ED = mittlere Einschaltdauer [%]
 T_E = Einsatzzeit [min]
 T_B = Bezugszeit [min]



T_E = 25 min
 T_B = 60 min

Beispiel

Ein halbautomatischer Schrauber ist im Laufe einer Stunde 25 min in Betrieb.

$$ED = \frac{25}{60} \times 100 \%$$

$$ED = 41,6 \%$$

Die Einschaltdauer **ED** des Schraubers beträgt 41,6 %.

Die mittlere Einschaltdauer **ED** einiger verbreiteter Druckluftverbraucher ist in der folgenden Tabelle angegeben. Die Werte basieren auf allgemeinen Erfahrungswerten und können in speziellen Fällen stark abweichen.

Bild 7.5 :
Mittlere Einschaltdauer

Druckluftverbraucher	mittlere Einschaltdauer
Bohrmaschine	30 %
Schleifmaschine	40 %
Meißelhammer	30 %
Stampfer	15 %
Formmaschine	20 %
Ausblaspistole	10 %
Bestückungsmaschine	75 %

7.2.2 Gleichzeitigkeitsfaktor

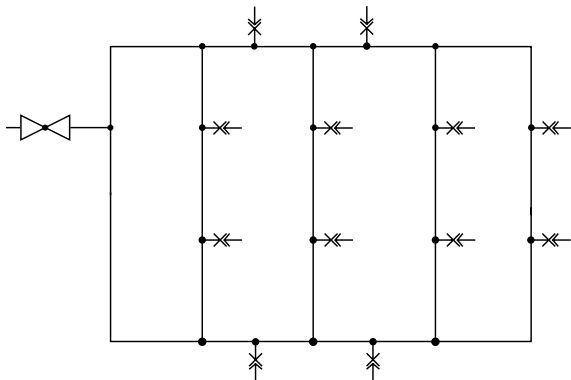


Bild 7.6 :
Versorgung mehrerer Verbraucher
über ein Druckluftnetz

Der Gleichzeitigkeitsfaktor f ist ein empirischer Wert. Ihm liegt die Erfahrung von Druckluftverbrauchern zugrunde, die nicht gleichzeitig im Einsatz sind. Der Gleichzeitigkeitsfaktor f ist ein Multiplikator, der den theoretischen Gesamtverbrauch einer Anzahl Verbraucher den realen Gegebenheiten anpaßt.

Die folgende Tabelle zeigt die allgemein anerkannten Werte für den Gleichzeitigkeitsfaktor f :

Anzahl der Verbraucher	Gleichzeitigkeitsfaktor f
1	1,00
2	0,94
3	0,89
4	0,86
5	0,83
6	0,80
7	0,77
8	0,75
9	0,73
10	0,71
11	0,69
12	0,68
13	0,67
14	0,66
15	0,64
16	0,63

Der Gleichzeitigkeitsfaktor kommt bei folgenden Druckluftverbrauchern zum tragen :

- Nicht automatische Düsen nach **Kapitel 7.1.2.**
- Nicht automatisch betriebene Druckluftwerkzeuge nach **Kapitel 7.1.3.**
- Werkzeugmaschinen, Produktionsautomaten u.ä., wenn nichts anderes verlangt wird.

7.2.3 Festlegung des Druckluftbedarfs

Zur Festlegung des gesamten Druckluftbedarfs eines Druckluftnetzes sind die Verbraucher in zwei Gruppen aufgeteilt:

- Automatische Druckluftverbraucher.
- Allgemeine Druckluftverbraucher.

7.2.3.1 Automatische Druckluftverbraucher

Die Verbrauchergruppe beinhaltet automatische Pneumatikzylinder, kontinuierlich laufende Maschinen und länger andauernde Arbeitsvorgänge, die Druckluft verbrauchen. Sie müssen mit ihrem vollen Einzelverbrauch q in der Bedarfsberechnung berücksichtigt werden.

Automatische Druckluftverbraucher	Arbeitsdruck [bar _ü]	Anzahl A [St]	Einzelverbrauch q [l/min]	A × q [l/min]
Automatische Druckluftzylinder	6	2	336	672
Arbeitsmaschine	5	1	310	310
Summe Q_A des Druckluftverbrauches aller automatischen Verbraucher			[l/min]	Σ 982 l/min

Druckluftbedarf

7.2.3.2 Allgemeine Druckluftverbraucher

Die meisten Arbeitsvorgänge laufen nur zeitweise ab. Für diese Vorgänge kann eine mittlere Einschaltdauer **ED** ermittelt werden. Zudem sind diese Verbraucher im allgemeinen nur zeitversetzt im Einsatz.

Die mittlere Einschaltdauer **ED** und der Gleichzeitigkeitsfaktor **f** werden bei den allgemeinen Verbrauchern als bedarfsmindernde Multiplikatoren in die Berechnung mit einbezogen.

Allgemeine Druckluftverbraucher	Arbeitsdruck [bar _ü]	Einschalt-dauer ED [%]	Anzahl A [St]	Einzel-verbrauch q [l/min]	A × q × ED / 100 [l/min]
Farbspritzpistole Ø 1,5 mm	3	40	1	180	72
Ausblaspistolen Ø 1,0 mm	6	10	3	65	19,5
Schlagschrauber M10	6	20	3	200	120
Bohrmaschine bis Ø 20 mm	6	30	1	700	210
Winkelschleifer	6	40	2	500	400
Summe Q des Druckluftverbrauches der allgemeinen Verbraucher					Σ 821,5
Gleichzeitigkeitsfaktor f					0,71
Druckluftverbrauch Q_f der allgemeinen Verbraucher				Q_f = f × Q	583,3

7.2.3.3 Gesamtdruckluftverbrauch

Der theoretische Gesamtdruckluftverbrauch \dot{Q} ist die Summe aus dem Druckluftverbrauch der automatischen Verbraucher und der allgemeinen Verbraucher.

$$\dot{Q} = Q_A + Q_f$$

$$\dot{Q} = 982 + 583,3$$

$$\dot{Q} = 1565,3 \text{ l/min} = 1,57 \text{ m}^3/\text{min}$$

Zur Dimensionierung des Kompressors und der Rohrleitungen ist der Gesamtdruckluftverbrauch jedoch noch nicht geeignet. Dafür müssen noch einige Zuschläge berücksichtigt werden.

7.2.4 Zuschläge für Verluste und Reserven

Zuschläge	[%]
Verluste	5 - 25
Reserven	10 - 100
Fehler	5 - 15

Um von dem Gesamtverbrauch einer Anzahl von Verbrauchern auf die tatsächlich benötigte Liefermenge eines Kompressors zu kommen müssen verschiedene Zuschläge berücksichtigt werden :

Verluste v [%]

Verluste **v** durch Leckage und Reibung treten in allen Teilen des Druckluftsystems auf. Bei neuen Druckluftsystemen muß man ca. 5 % der Gesamtliefermenge als Verluste veranschlagen. Da mit zunehmendem Alter die Leckagen und Reibungsverluste in Druckluftsystemen erfahrungsgemäß zunehmen, sollten bei älteren Netzen Verluste bis zu 25 % angenommen werden.

Reserven r [%]

Die Dimensionierung eines Druckluftsystems erfolgt aufgrund der aktuellen Einschätzung des Druckluftverbrauchs. Erfahrungsgemäß steigt der Verbrauch in der Zukunft an. Es ist ratsam, kurz- und mittelfristige Erweiterungen des Netzes bei der Dimensionierung des Kompressors und der Hauptleitungen zu berücksichtigen. Geschieht dies nicht, kann die spätere Erweiterung unnötige Kosten mit sich bringen. Je nach Perspektiven können bis zu 100 % für die Reserve **r** veranschlagt werden.

Fehleinschätzungen f [%]

Der zu erwartende Druckluftverbrauch ist trotz sorgfältiger Bestimmung meist noch mit Fehlern behaftet. Einen exakten Wert kann man aufgrund der meist unklaren Randbedingungen selten bestimmen. Da ein zu klein ausgelegtes Druckluftsystem später ausgebaut werden muß, und damit Kosten (Stillstandszeiten) verursacht, ist ein Zuschlag **f** von 5 – 15 % für Fehleinschätzungen ratsam.

7.2.5 Benötigte Liefermenge L_B

Zur Berechnung der benötigten Liefermenge **L_B** werden zum ermittelten Gesamtverbrauch **Q̇** 5 % für Verluste, 10 % für Reserven und 15 % für Fehleinschätzungen zugeschlagen.

- Q̇** = 1826 l/min
- v** = 5 %
- r** = 10 %
- e** = 15 %

$$L_B = \frac{\dot{Q} \times (100 + v + r + e)}{100}$$

$$L_B = \frac{1565 \times (100 + 5 + 10 + 15)}{100}$$

$$L_B = 2035 \text{ l/min} = 2,04 \text{ m}^3/\text{min}$$

Die Liefermenge **L_B**, die benötigte wird um die Verbraucher ausreichend mit Druckluft zu versorgen, liegt bei ca. 2035 l/min. Dieser Wert liegt der Dimensionierung des Kompressors und der Hauptleitung zu Grunde.

7.3 Druckluftverluste

Der Druckluftverlust ist der Verbrauch von Druckluft (Leckage) im Rohrleitungsnetz ohne geleistete Arbeit. Die Summe dieser Verluste kann in ungünstigen Fällen bis zu 25 % der gesamten Liefermenge des Kompressors erreichen.

Die Ursachen sind vielfältig :

- Undichte Ventile.
- Undichte Schraub- und Flanschverbindungen.
- Undichte Schweißnähte oder Lötstellen.
- Defekte Schläuche und Schlauchkupplungen.
- Defekte Magnetventile.
- Festsitzende Schwimmerableiter.
- Falsch installierte Trockner, Filter und Wartungseinrichtungen.
- Korrodierte Leitungen.

7.3.1 Kosten der Druckluftverluste

Leckstellen in einem Leitungsnetz wirken wie Düsen, aus denen die Druckluft mit hoher Strömungsgeschwindigkeit austritt. Diese Leckstellen sind Dauerverbraucher. 24 Stunden pro Tag strömt die Druckluft aus. Der Energieaufwand zum Ausgleich der dadurch entstehenden Druckluftverluste ist beträchtlich. Zwar kommt niemand zu Schaden, aber die entstehenden Folgekosten beeinträchtigen die Wirtschaftlichkeit des Druckluftsystems erheblich.

Ein Beispiel verdeutlicht die Größenordnung der Zusatzkosten :

Bei einem Netzdruck von 8 bar_ü entweichen ca. 75 l/min = 4,5 m³/h aus einem Leck von 1 mm Durchmesser. Für diesen Volumenstrom muß eine Motorleistung von 0,6 kW aufgebracht werden. Bei einem Arbeitspreis von 0,10 €/kWh ergeben sich je nach Wirkungsgrad des Motors bei 8000 Betriebsstunden Mehrkosten von ca. € 480,- pro Jahr.

Undichtigkeit Loch - Ø		ausströmende Luftmenge bei 8 bar _ü [l/min]	Verluste	
[mm]	Größe		Energie [kW]	Geld [€/J]
1	•	75	0,6	480
1,5	◦	150	1,3	1040
2	◌	260	2,0	1600
3	◯	600	4,4	3520
4	◯	1100	8,8	7040
5	◯	1700	13,2	10580

7.3.2 Bestimmung der Leckagemenge

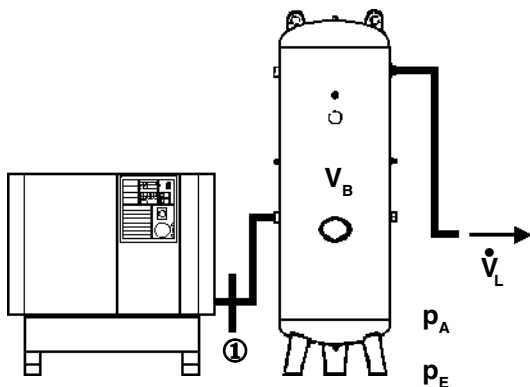
Der erste Schritt zur Minimierung der Druckluftverluste ist die Bestimmung der Leckagemenge \dot{V}_L . Dabei kommen zwei Verfahren in Frage :

7.3.2.1 Leckagebestimmung durch Behälterentleerung

Der einfachste Weg zur Bestimmung der Leckagemenge \dot{V}_L ist der über die Entleerung des Druckluftbehälters.

Die Zuleitung zum Druckluftbehälter wird gesperrt ①. Alle Druckluftverbraucher am Netz müssen außer Funktion sein. Der Behälterdruck p_A sinkt durch die Leckage auf den Druck p_E . Die Zeit t wird gemessen.

Mit der folgenden Formel ist die Leckagemenge \dot{V}_L näherungsweise zu bestimmen:



$$\begin{aligned} V_B &= 1000 \text{ l} \\ p_A &= 8 \text{ bar} \\ p_E &= 7 \text{ bar} \\ t &= 2 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \times (p_A - p_E)}{t}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_L &= \text{Leckagemenge} && [\text{l/min}] \\ V_B &= \text{Druckbehältervolumen} && [\text{l}] \\ p_A &= \text{Druckbehälteranfangsdruck} && [\text{bar}_u] \\ p_E &= \text{Druckbehälterenddruck} && [\text{bar}_u] \\ t &= \text{Meßzeit} && [\text{min}] \end{aligned}$$

Beispiel

Ein Druckluftbehälter mit einem großen Leitungsnetz hat ein Volumen von 1000 l. Innerhalb von 2 min sinkt der Behälterdruck von 8 auf 7 bar_u.

$$\begin{aligned} \dot{V}_L &= \frac{1000 \times (8 - 7)}{2} \\ \dot{V}_L &= 500 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Die Leckagemenge des Druckluftsystems beträgt **ca. 500 l/min**.

Hinweis

Diese Meßmethode eignet sich nur für Druckluftsysteme, bei denen das Rohrleitungsnetz weniger als 10 % des Behältervolumen beträgt. Anderenfalls ist die Meßungenauigkeit zu groß.

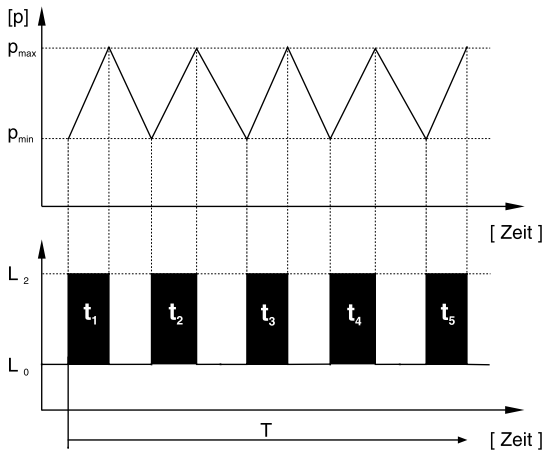
7.3.2.2 Leckagebestimmung durch Einschaltdauermessung

Die zweite Methode zur Bestimmung der Leckagemenge \dot{V}_L ist die über die Einschaltdauermessung des Kompressors. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar.

Die Verbraucher am Netz sind abgeschaltet. Durch die Leckage im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Kompressor muß diese Leckagemenge ersetzen.

Über eine Meßzeit T wird die Gesamtlaufzeit Σt des Kompressors gemessen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sollte die Meßzeit T wenigstens 5 Schaltintervalle des Kompressors umfassen.

Mit der folgenden Formel ist die Leckagemenge \dot{V}_L näherungsweise zu bestimmen:



$$\dot{V} = 1,65 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Sigma t = 30 \text{ s}$$

$$T = 180 \text{ s}$$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V} \times \Sigma t \times 1000}{T}$$

$$\text{l/min} = \frac{\text{m}^3/\text{min} \times \text{s} \times 1000 \text{ l}}{\text{s} \times \text{m}^3}$$

$$\dot{V}_L = \text{Leckagemenge} \quad [\text{l/min}]$$

$$\dot{V} = \text{Liefermenge des Kompressors} \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

$$\Sigma t = \text{Gesamtlaufzeit des Kompressors} \quad [\text{s}]$$

$$\Sigma t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

$$T = \text{Meßzeit} \quad [\text{s}]$$

Beispiel

Ein Kompressor mit einer effektiven Liefermenge \dot{V} von 1,65 m³/min hat während einer Meßzeit $T = 180$ s fünf Schaltspiele. Seine Gesamtlaufzeit Σt liegt während der Meßzeit T bei 30 s.

$$\dot{V}_L = \frac{1,65 \times 30 \times 1000}{180}$$

$$\dot{V}_L = 275 \text{ l/min}$$

Die Leckagemenge des Druckluftsystems beträgt **ca. 275 l/min**.

7.3.3 Grenzwerte für Leckagemengen

Druckluftverluste durch Leckage sind in den üblichen Druckluftsystemen leider unvermeidlich. Die Zusatzkosten durch die Leckage mindern die Wirtschaftlichkeit des Druckluftsystems erheblich. Zur Reduzierung dieser Verluste können Maßnahmen ergriffen werden, die ihrerseits natürlich Kosten verursachen. Diese Kosten übersteigen allerdings irgendwann die Einsparungen durch die Minderung der Druckluftverluste. Das Ziel muß es also sein, die Druckluftverluste bei akzeptablem Aufwand zu minimieren.

Daraus ergeben sich Leckagemengen, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten :

- max. 5 % bei kleineren Netzen.
- max. 7 % bei mittleren Netzen.
- max. 10 % bei größeren Netzen.
- max. 13 – 15 % bei sehr großen Netzen.
z.B. Gießereien, Stahlwerke, Werften u.ä.

7.3.4 Maßnahmen zur Minimierung der Druckluftverluste

Die Mitarbeiter sollten dazu angehalten werden, Leckstellen und Schäden am Netz bei den verantwortlichen Stellen zu melden. Diese Schäden sind umgehend zu beheben. Bei kontinuierlicher Pflege ist eine kostenintensive Sanierung des Druckluftnetzes normalerweise überflüssig. Die Druckluftverluste bleiben im akzeptablen Rahmen.

Leckstellen

Die Ermittlung von Leckstellen ist in den meisten Fällen relativ einfach. Große Undichtigkeiten machen sich durch Zischen bemerkbar.

Kleine und sehr kleine Lecks sind schwieriger zu finden. Sie sind durch Abhören meist nicht zu lokalisieren. In diesen Fällen werden die Verbindungselemente, Abzweigungen, Ventile usw. mit einem Dichtheitsprüfmittel oder mit Seifenwasser abgepinselt. An undichten Stellen bilden sich sofort Blasen.

7.3.5 Sanierung eines Druckluftnetzes

Liegen ermittelte Leckagemengen eines Druckluftnetzes deutlich über den in **Kapitel 7.3.3** genannten Werten, sollte eine Sanierung des Netzes in Erwägung gezogen werden.

Bei der Sanierung eines Druckluftnetzes sind folgende Maßnahmen zu ergreifen, um die Druckluftverluste zu reduzieren:

- Undichte Verbindungselemente nachziehen oder neu abdichten.
- Undichte Ventile und Schieber ersetzen.
- Undichte Schläuche und Schlauchkupplungen austauschen.
- Leckstellen an Rohrleitungen verschweißen.
- Kondensatableiter modernisieren.
Mechanische Schwimmerableiter und zeitgesteuerte Magnetventile durch niveaugeregelte Kondensatableiter ersetzen.
- Druckluftaufbereitung modernisieren.
Schädliche Verunreinigungen wie Wasser, Öl und Staub aus der Druckluft entfernen.
- Magnetventile überprüfen.
Falls möglich, stromlos geschlossene Ventile installieren.
- Alte Rohrleitungen spülen oder ersetzen.
Der Innendurchmesser von alten Rohren ist häufig durch Ablagerungen reduziert. Das führt zu Druckabfall.
- Kupplungen und Rohranschlüsse überprüfen.
Querschnittsverengungen führen zu Druckabfall.
- Zeitweise Verkleinerung des Netzes.
Teilbereiche großer Netze bei Betriebsruhe durch Absperrschieber abtrennen.